UZAKDOĞU 6. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ

17 - 22 NİSAN 2026

TOKYO

UZAKDOĞU 6. ULUSLARARASI UYGULAMALI BİLİMLER KONGRESİ



KONGRE TAKVİMİ

Özetlerin gönderileceği son tarih: 12 Nisan 2026

Kongre kitabı yayın tarihi: 20 Mayıs 2026

YÜZYÜZE ve ONLİNE OTURUMLAR KESİNDİR

IJASJOURNAL
ijasjournal.com

ACADEMY

ARTDERGİ
www.artdergi.com

LIMHSS
INTERNATIONAL JOURNAL OF MEDICAL, HEALTH AND SPORT SCIENCES

ESTD 2022
JOURNAL OF ADVANCES IN ENGINEERING, ARCHITECTURE AND MATHEMATICS

ULUSLARARASI İLAHİYAT ARAŞTIRMALARI DERGİSİ

www.afeacon.org

FAR EAST ASIA 6TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
APRIL 17 – 22, 2026
TOKYO

Edited By
PROF. DR. NAILE BILGILI

Issued: 20.05.2026
ISBN: 978-625-8795-05-9

ASSOCIATION & ACADEMIC INCENTIVES :
In the conference 57 papers have been presented by Turkish participants and 72 papers by international participants.
Members of the organizing committees of the conference perform their duties with an "official assignment letter"

The Contents Of This Book Are Solely Those Of The Authors.
Bu Kitabın içeriğinin tüm sorumluluğu yazarlarına aittir.

Web: www.afeacon.org Contact: afeacon@gmail.com

CONFERENCE ID

FAR EAST ASIA 6TH INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES

DATE – PLACE
APRIL 17 – 22, 2026
TOKYO

ORGANIIZATION
ACADEMY GLOBAL CONFERENCES & JOURNALS

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

PARTICIPATING COUNTRIES
Turkey – Tunisia – Singapore- Malaysia – Bangladesh – Kazakhstan – Oman- Pakistan- Armenia – I*ndia* – Thailand - Czech Republic – Nigeria- China- Germany – Japan – Indonesia – Ethiopia- Malaysia – Serbia - North Macedonia- Morocco - Mauritania- Azerbaijan – Iran – Egypt -

PRESENTATION
Oral presentation

No part of this book may be reprinted or reproduced or utilized in any form or by any electronic, mechanical or any other means, now known or hereafter invented, including photocopying and recording, or in any form of information storage or retrieval systems, without permission from the publishers.
Academy Global–2026©

CONGRESS ORGANIZING BOARD

Head of Conference : Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran

Prof. Dr. Hülya Çiçek - Gaziantep Universitesi

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 Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Munzur Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Dicle Üniversitesi

Assoc. Prof. Dody Hartanto - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Dr. Rungchacadaporn - Ahmad Dahlan University

Assoc. Prof. Nazile Abdullazade - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

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

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

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

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - New Bulgarian Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari - Tebriz Universitesi

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş - Gazi Üniversitesi

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

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

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - İnönü Üniversitesi

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

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları

Assist. Prof. Ihwan Ghazali - Technic University of Malaysia

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

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

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan- Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Dicle Üniversitesi

Lecturer Mehmet Nuri Ödük - Selçuk Üniversitesi

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden - Selçuk Üniversitesi

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heydarlou –

Dr. Dadash Mehravari - Tebriz Universitesi

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan Devlet Pedagoji Üniversitesi

Dr. Gültekin Gürçay

Dr. Amaneh Manafidizajı

Scientific & Review Committee

Prof. Dr. Hülya Çiçek – Turkiye

Prof. Dr. Emine Koca – Turkiye

Prof. Dr. Fatma Koç – Turkiye

Prof. Dr. Valide Paşayeva - Türkiye

Prof. Dr. Ali Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Naile Bilgili - Turkiye

Prof. Dr. Başak Hanedan – Turkiye

Prof. Dr. Aysel Güven - Turkiye

Prof Dr. Bülent Kurtişoğlu – Turkiye

Prof. Dr. Hajar Huseynova – Azerbaijan

Prof. Dr. Dwi Sulisworo – Indonesia

Prof. Dr. Natalia Latygina – Ukraina

Prof. Dr. Yunir Abdrahimov – Russia

Prof. Muntazir Mehdi – Pakistan

Prof. Dr. T.Venkat Narayana Rao – India

Prof. Dr. İzzet Gümüş – Turkiye

Prof. Dr. Mustafa Bayram – Turkiye

Prof. Dr. Saim Zeki Bostan – Turkiye

Prof. Dr. Hyeonjin Lee – China

Prof. Yakup Babayev - Azerbaijan

Prof. Dr. Suyatno – Indonesia

Prof. Dr. Zain Musa – Cambodia

Prof. Dr. Sameer Jain – India

Prof. Mehdi Mohammadzade – Iran

Prof. Dr. Ika Maryani – Indonesia

Prof. Dr. Guler Yenice – Turkiye

Prof. Dr. Elif Akpınar Külekçi – Turkiye

Prof. Dr. Mavlonova Ugiloy Khamdamovna – Uzbekistan

Prof. Dr. Mehtap Kavurmacı – Türkiye

Prof. Dr. Belkıs Özkara – Türkiye

Prof. Dr. Al-Rashiff Hamjilani Mastul – Philipinnes

Prof. Dr. Alhisan U. Jemsy – Philippines

Assoc. Prof. Dr. Aysel Arslan - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sıddık Bakır – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Meryem Öztürk - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yeliz Çakır Sahilli - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Berna Koçak - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dhesi Ari Astuti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Aydın - Turkiye

Assoc Prof. Dr. Feran Aşur – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Yasemin Taş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Bülent Işık - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nurkan Yılmaz - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sevra Fırıncıoğulları - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulsemet Aydın – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mehmet Fırat Baran - Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Dilorom Hamroeva - Ozbekistan

Assoc. Prof. Dr. Abbas Ghaffari – Iran

Assoc. Prof. Ivaylo Staykov - Bulgaria

Assoc. Prof. Dr. Dini Yuniarti – Indonesia

Assoc. Prof. Dr. Ümit Ayata – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Həmzə Əliyev - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Okan Sarıgöz – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Eda Bozkurt – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Ahmet Topal – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Abdulkadir Kırbaş – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mesut Bulut – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Fahriye Emgili – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Sandeep Gupta – India

Assoc. Prof. Dr. Veysel Parlak – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Mahmut İslamoğlu – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Nazile Abdullazade – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Irade Kerimova - Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Yeganə Qəhrəmanova – Azerbaijan

Assoc. Prof. Dr. Ali Vandshoari – İran

Assoc. Prof. Dr. Dinara Fardeeva – Rusya

Assoc. Prof. Dr. Göksel Ulay – Turkiye

Assoc. Prof. Dr. Erkan Efilti - Kirgizhstan

Assist. Prof. K. R. Padma – India

Assist. Prof. Dr. Omid Afghan - Afghanistan

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

Assist. Prof. Dr. Dzhakipbek Altaevich Altayev - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Amina Salihi Bayero – Nigeria

Assist. Prof. Dr. Ahmad Sharif Fakheer - Jordania

Assist. Prof. Dr. Dody Hartanto - Indonesia

Assist. Prof. Dr. Ihwan Ghazali - Malaysia

Assist. Prof. Dr. Mehdi Meskini Heyladou – Iran

Assist. Prof. Dr. Bazarhan İmangalieva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Keles Nurmaşulı Jaylıbay - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Mamatkuli Juraev – Ozbekistan

Assist. Prof. Dr. Kalemkas Kalibaeva – Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Bouaraour Kamel – Algeria

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

Assist. Prof. Dr. Amanbay Moldibaev - Kazakhstan

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

Assist. Prof. Dr. Bhumika Sharma - India

Assist. Prof. Dr. Gulşat Şugaeva – Kazakhstan

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

Assist. Prof. Dr. Cholpon Toktosunova – Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Hoang Anh Tuan – Vietnam

Assist. Prof. Dr. Songül Atak - Türkiye

Assist. Prof. Dr. Botagul Turgunbaeva - Kazakhstan

Assist. Prof. Dr. Dinarakhan Tursunalieva - Kirgizia

Assist. Prof. Dr. Yang Zitong – China

Assist. Prof. Dr. Gulmira Abndirasulova – Kazakhstan

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

Assist. Prof. Dr. Murat Genç – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Monisa Qadiri – India

Assist. Prof. Dr. Vaiva Balciuniene – Lithuania

Assist. Prof. Dr. Meltem Avan – Turkiye

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

Assist. Prof. Dr. Mahrukh Dovlatzade – Azerbaijan

Assist. Prof. Dr. Naci Büyükkaracığan – Turkiye

Assist. Prof. Dr. Raihan Yusoph – Philippines

Dr. Que-Nhu Duong - Vietnam

Dr. Fatih İ. Kurşunmaden – Turkiye

Dr. Mehmet Nuri Ödük – Turkiye

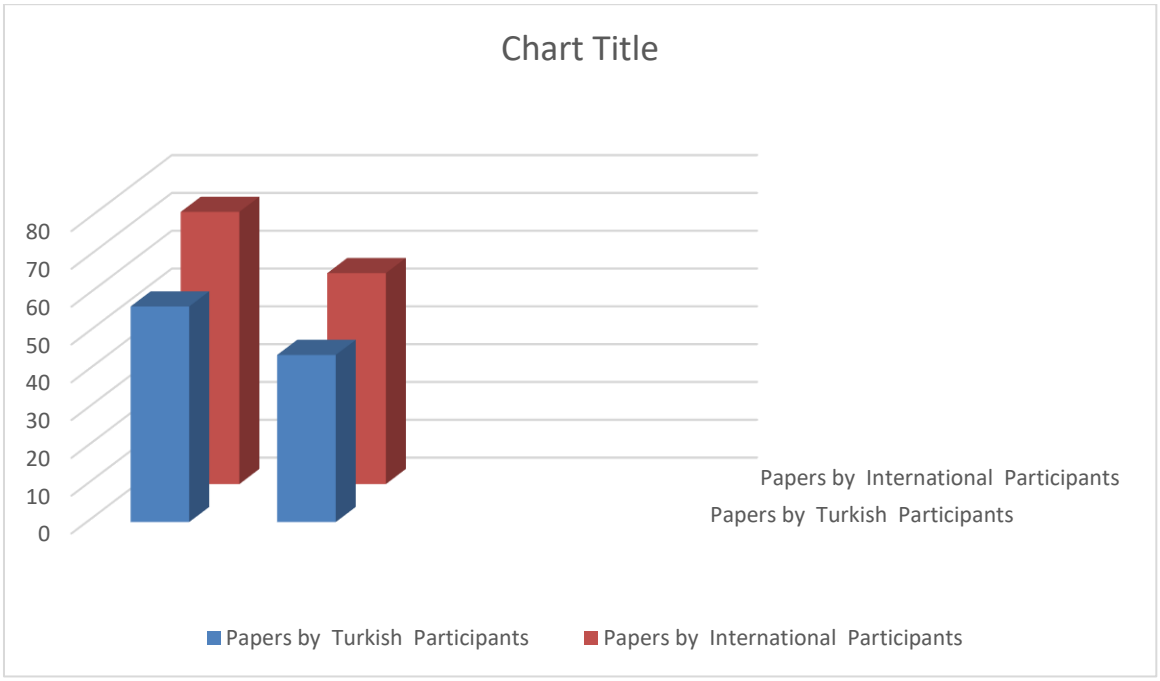
Dr. Ayşe Baran - Turkiye

Dr. Aynurə Əliyeva - Azerbaijan

Dr. Sonali Malhotra – India

Dr. Amaneh Manafidizaji – Iran

	Number of paper	*%*
Papers by Turkish Participants	57	44,19
Papers by International Participants (26 Countries)	72	55,81



T.C.
GAZİ ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Hemşirelik Fakültesi Dekanlığı

Sayı : E-98978265-100-1174800 19.02.2025
Konu : Dilekçe(Prof. Dr. Naile BİLGİLİ)

Sayın Prof. Dr. Naile BİLGİLİ
Halk Sağlığı Hemşireliği Anabilim Dalı Başkanlığı - Öğretim Üyesi

İlgi : 17.02.2025 tarihli ve E-87008936-100- 1173474 sayılı yazı.

İlgi dilekçenizde belirttiğiniz "Yükseköğretim Kurulu'nun 15.06.2023 tarihli oturumunda doçentlik başvuruları şartları ile ilgili değişiklik önerileri kapsamında Sağlık Bilimleri Temel Alanı'nda gerçekleştirilecek olan madde 8'in Bilimsel Toplantı başlığı altındaki b bendi" uyarınca, Academy Global Conferences & Publishing (https://www.akademikongre.org/registration) tarafından 2025 yılında düzenlenecek olan bilimsel etkinliklerde görev alma talebiniz konusunda bilgilendirildim.

Bilgilerini ve gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Sultan AYAZ ALKAYA
Dekan

Bu belge, güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.
Belge Doğrulama Kodu :BSCMHSP653 Belge Takip Adresi : https://www.turkiye.gov.tr/gazi-universitesi-ebys

Emniyet Mahallesi Bandırma Caddesi No :6/1 06560 Yenimahalle/ANKARA
Tel:0 (312) 202 20 00 Faks:0 (312) 221 32 02
İnternet Adresi :http://gazi-universitesi.gazi.edu.tr/
Kep Adresi: gaziuniversitesi@hs01.kep.tr
Bilgi için :Onur Akın
Bilgisayar İşletmeni
Telefon No:0312 216 26 27

Bu belge,güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.

FAR EAST ASIA
6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES
FAR EAST ASIA
6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
FAR EAST ASIA
6TH INTERNATIONAL GROUP EXHIBITION
April 17 – 22, 2026
TOKYO

Kongre Bağlantı Linki :

Join Zoom Meeting

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

Meeting ID: 885 7151 8350

Passcode: 202224



ÖNEMLİ AÇIKLAMA (Lütfen okuyunuz)

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

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

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

TECHNICAL INFORMATION

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

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr., ÇAĞIN KANDEMİR ÇAVAŞ**	1	OTOMATİK MODÜLASYON SINIFLANDIRMASI İÇİN HAFİF VE VERİMLİ BİR DERİN ÖĞRENME MODELİ	Umut İNCESU Prof. Dr. Ali KARA
		2	GÖRSEL İLETİŞİM TASARIMINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) ENTEGRASYONU: KULLANICI DENEYİMİ (UX) ÜZERİNE BİR İNCELEME	Öğr. Gör. Ebubekir KOÇAK
		3	VERİ GÖRSELLEŞTİRMESİNDE YAPAY ZEKA DESTEKLİ 3B İNFOGRAFİK MODELLERİN KULLANIMI	Öğr. Gör. Ebubekir KOÇAK
		4	KONTRASTLI BT GÖRÜNTÜLERİNDE DICOM-SEG REHBERLİ SEGMENTASYON VE AÇIKLANABİLİR MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE GEOMETRİK ÖZELLİK TABANLI BÖBREK TÜMÖRÜ ANALİZİ	Öğr. Gör. Abdulaziz CEYLAN Dr. Öğr. Üyesi Kadir Sercan BAYRAM
		5	ALIGNMENT-FREE GENOMIC CLUSTERING USING K-MER DESCRIPTORS	Prof. Dr., ÇAĞIN KANDEMİR ÇAVAŞ
		6	STATISTICAL ANOMALY DETECTION IN DNA SEQUENCES	Prof. Dr., ÇAĞIN KANDEMİR ÇAVAŞ
		7	YAPAY ZEKÂ İLE OTONOM DRON DAVRANIŞLARININ MODELLEMESİ	Dr. Öğr. Üyesi Ercüment ÖZTÜRK
		8	AN EXAMPLE TO THE ENCRYPTION AND DECRYPTION ALGORITHMS IN CONTROLLED METRIC TYPE SPACES	BUSE OCAK ASSOC. PROF. DR. NİHAL TAŞ

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Prof.Hajar Hüseynova**	1	Micro-Narratives of Conflict through Folklore in Jaunsar-Bawar Region of Uttarakhand	Akshita Chaudhary Dr. Shweta Verma Dr. Nagendra S. Rawat
			The history of the development of military terms	Prof.Hajar Hüseynova
		2	TÜRK KÜLTÜRÜNDE ÜÇ BOYNUZLU BAŞLIK: SEMBOLİZM, STATÜ VE İNANÇ BAĞLAMINDA BİR DEĞERLENDİRME	Prof. Dr. Mehmet ÖZMENLİ Öğr. Görevlisi, Gökhan HAMZAÇEBİ
		3	DOĞU KARADENİZ BÖLGESİNİN GELENEKSEL KADIN VE ERKEK BAŞLIKLARINA TARİHSEL BAKIŞ	Öğr. Görevlisi, Gökhan HAMZAÇEBİ Prof. Dr. Mehmet ÖZMENLİ
		4	The Child Within the Social System in Charles Dickens' "Oliver Twist"	Doç. Dr. Sevra FIRINCIOĞULLARI
		5	READING JOHN STEINBECK'S "THE PEARL" THROUGH THE DICHOTOMY OF NATURE AND CULTURE	Doç. Dr. SEVRA FIRINCIOĞULLARI
		6	FRANSZ KAFKA'NIN ROMANLARINDA FARKLI OTORİTE BİÇİMLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Ragıp ERGÜN
		7	MODERN DÖNEMDE YABANCILAŞMA BAĞLAMINDA İKİ İNSAN İKİ MEDENİYET: TANPINAR VE KAFKA ÜZERİNE BİR İNCELEME	Dr. Öğr. Üyesi Ragıp ERGÜN
		8	POTRAYAL OF WOMEN AND THEIR ATTEMPT TO SURVIVE IN THE HANDS OF HUSBANDS	Selin CEYLAN

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Doç. Dr., MEHMET ÜNAL**	1	Religious and Scientific Life in Tımbuktu, Africa's Center of Science and Culture	Prof. Dr. Ramazan BİÇER
		2	The Wisdom of Hajj and Fasting According To Imam Maturidi	Prof. Dr. RAMAZAN BİÇER
		3	CULTURAL HERITAGE BURIED IN THE ILISU DAM: BATMAN HASANKEYF EXAMPLE	Master's Student. RUKEN SAYHAN Prof. Dr. RÜŞTÜ ILGAR
		4	FAİL VE NAİBU'L-FAİLİN DİLBİLGİSEL İŞLEVİ VE KULLANIM ÖZELLIKLERİ İLE TÜRKÇEDEKİ KARŞILIĞI	Prof. Dr. HALİL AKÇAY Abdulhaluk TARHAN
		5	MUHAMMED B. KÂSIM EL-GAZZÎ VE İLMÎ MİRASI	Prof. Dr. HALİL AKÇAY ŞEYMA KAYA
		6	THE LITERARY MILIEU IN THE WORK MAHFUZAT-I EDEBIYE	Doç. Dr., MEHMET ÜNAL
		7	THE USE OF PROPHETIC NARRATIVES AND THE NARRATIVE TRADITION IN ISLAMIC LITERATURE	Doç. Dr., MEHMET ÜNAL

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Dr. Öğr. Üyesi ,FEYZULLAH ESAD ŞEKKELİ**	1	AUDİT MATURİTY OF SUSTAİNABİLİTY REPORTS: AN INVESTİGATİON ON BIST30 COMPANİES	Ali Hüray GÜRKAN Dr. Esra SATICI
		2	RELATIONSHIPS BETWEEN DIGITAL TRANSFORMATION, INNOVATION, AND FIRM PERFORMANCE	Araş. Gör. Veciye TAŞCI Prof. Dr. Salih Zeki İMAMOĞLU Prof. Dr. Hüseyin İNCE Doç. Dr. Serhat ERAT
		3	THE MEDIATING ROLE OF EMPLOYEE HAPPINESS IN THE RELATIONSHIP BETWEEN WORK ENGAGEMENT AND TASK PERFORMANCE	Yüksek Lisans Öğrencisi Aysu AYDEMİR Doç. Dr. Serhat ERAT Prof. Dr. Salih Zeki İMAMOĞLU
		4	REDDIT VERİLERİ ÜZERİNDEN TÜRKİYE'YE YÖNELİK ALGININ ÇOK KATMANLI ANALİZİ: DENEYİM, ÇELİŞKİ VE DUYGU DİNAMİKLERİ	Ön Lisans Öğrencisi DİLA BATMAZ Ön Lisans Öğrencisi IRMAK SERSAM Öğr. Gör. Dr. Bahar BALCI AYDOĞAN
		5	2021 YILINDA TÜRKİYE'DE HALKA ARZ PERFORMANSI VE RİSK DİNAMİKLERİ	Öğretim Görevlisi, Dr., FEVZİYE GÖZDE GÖKPINAR
		6	İHRACATTA KATMA DEĞER VERGİSİ TECİL TERKİN İŞLEMLERİNİN ÖRNEK UYGULAMALARLA İNCELENMESİ	Doç.Dr. ALİ ANTEPLİ Öğr. Gör. MEMİŞ KARAER
		7	ADLİ MUHASEBEDE TİCARİ DEFTERLERİN DELİL NİTELİĞİ TAŞIMASI KONUSUNDA YASAL DÜZENLEMELER	Öğr. Gör. MEMİŞ KARAER Doç. Dr. ALİ ANTEPLİ
		8	GREEN MONETARY POLICY AND CLIMATE-RELATED FINANCIAL RISKS: A THEORETICAL FRAMEWORK FOR TÜRKIYE IN THE RUN-UP TO COP31	Asst. Prof. Serkan Cantürk
		9	MİKROFİNANS KURULUŞLARININ FİNANSAL PERFORMANSI: FAS ÖRNEĞİ	Yüksek Lisans Öğrencisi, NOHAYLA ZIANI Dr. Öğr. Üyesi Feyzullah Esad ŞEKKELİ
		10	KATILIM BANKALARININ FİNANSAL PERFORMANSININ ENTROPİ TABANLI PES YÖNETMİYLE ANALİZİ	Dr. Öğr. Üyesi ,FEYZULLAH ESAD ŞEKKELİ

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Prof. Dr. Yusuf Bayraktutan**	1	21. YÜZYILDA HEGEMONYA VEYA BÜYÜK GÜÇ REKABETİNDE UÇAK GEMİLERİNİN ÖNEMİ	Dr., Cenk TAMER
		2	ZENGEZUR KORİDORU'NUN MAKROEKONOMİK ETKİLERİ: HAZAR–AKDENİZ ULAŞIM ENTEGRASYONU VE BÖLGESEL BÜYÜME DİNAMİKLERİ	Dr. Öğr. Üyesi Nedim DİKMEN
		3	DETERMINANTS OF UNEMPLOYMENT IN OECD COUNTRIES: A PANEL DATA ANALYSIS (2001–2023)	Prof.Dr. Abdullah ÖZDEMİR Prof.Dr. HATİCE EROL
		4	FINANCIAL DEVELOPMENT and ECONOMIC GROWTH in OECD COUNTRIES: A PANEL DATA ANALYSIS (2001–2023)	Prof.Dr. Abdullah ÖZDEMİR Dr.Öğr.Üyesi HATİCE BAŞKAYA
		5	EVALUATION OF CULTURAL ECONOMY AND CULTURAL EMPLOYMENT IN TÜRKİYE	Dr. Tuğba İBİK Prof. Dr. Serdar ÖZTÜRK
		6	EVALUATION OF HEALTH ECONOMICS AND PHARMACEUTICAL PRODUCTS TRADE IN TÜRKİYE	Prof. Dr. Serdar ÖZTÜRK Dr. Tuğba İBİK
		7	Economıc Effects of Organized Industrial Zones: The Case of Türkiye	Prof. Dr. Yusuf BAYRAKTUTAN Mehmet BAYRAM
		8	Development of Turkish Defense Industry and Its Economic Effects	Prof. Dr. Yusuf Bayraktutan Zeynep Değirmenci
		9	BEFORE and AFTER MARSHALL: WHAT CHANGED in ECONOMICS?	Asst. Prof. Dr. Aras Yolusever
		10	İNŞACI PERSPEKTİFTEN GÜVENLİKLEŞTİRİLMİŞ KİMLİKLER: BATI TRAKYA TÜRKLERİ VE TÜRKİYE'DEKİ RUM ORTODOKS AZINLIKLAR KARŞILAŞTIRMASI	Prof. Dr. MERAL BALCI Doktora Öğrencisi OZAN ÇELİK
		11	TÜRK REKABET HUKUKUNDA GATEKEEPER BENZERİ MÜDAHALELER: REKABET KURUMU KARARLARI ÜZERİNDEN BİR DEĞERLENDİRME	Prof. Dr. MERAL BALCI Araştırma Görevlisi AYTEN SILA BÜYÜKER

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
April 17 – 22, 2026
TOKYO
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr., HAMİT ALYAR**	1	DATA PREPARATION PROCESS FOR ARTIFICIAL INTELLIGENCE-BASED MEDICAL IMAGE ANALYSIS: A SPINE MRI CASE STUDY	ELEN BABAYEVA Prof. Dr. HAKAN YAKUT Dr. ELİF KEMAH Specialist Dr. ÜMİT ÇELAKIL
		2	A COMPARATIVE STUDY OF AI APPROACHES FOR PIN-FIN CHANNEL SURROGATE MODELING	Mehmed Sinan KÖMEK Peyman MAHOUTİ Zafer GEMİCİ
		3	FOTOVOLTAİK JENERATÖRLERİN P-V KARAKTERİSTİKLERİNİN YENİ BİR YÖNTEMLE ÇİZİLMESİ	Dr. Öğr. Üyesi NURETTİN GÖKŞENLİ
		4	FOTOVOLTAİK GÜNEŞ HÜCRESİ JENERATÖRLERİNİN P-V KARAKTERİSTİKLERİNİN ÇİZİLMESİ	Dr. Öğr. Üyesi NURETTİN GÖKŞENLİ
		5	DFT-BASED INVESTIGATION OF ELECTRONIC STRUCTURE AND NONLINEAR OPTICAL PROPERTIES OF 2-(4-FLUOROPHENYL)QUINOXALINE	Prof. Dr., HAMİT ALYAR Prof. Dr., SALİHA ALYAR
		6	COMPUTATONAL STUDY ON THE SPECTROSCOPİC, ELECTRONİC AND NLO PROPERTİES OF 2,3-DİFURYLQUİNOXALİNE	Prof. Dr., HAMİT ALYAR Prof. Dr., SALİHA ALYAR
		7	SOLVENT-ASSISTED INTERCALATION AND SONOCHEMICAL EXFOLIATION FOR THE FABRICATION OF EVA/GRAPHENE THERMOPLASTIC NANOCOMPOSITE	KAMRAN MUSTAFAZADA Dr. ELVIN MALIKOV
		8	TUNGSTATE-MODİFİED G-C_3N_4 AS AN EFFİCİENT PHOTOCATALYST FOR RHODAMİNE B AND SUNSET YELLOW DEGRADATİON	Doç. Dr. ÖZLEM TUNA Doç. Dr. MEHMET BUĞDAYCI Doç. Dr. ŞEYDA KARADİREK
		9	UNVEILING THE ROLE OF METAL CATIONS IN PEROVSKITE PHOTOCATALYSTS FOR MULTI-POLLUTANT DEGRADATION	Doç. Dr. ÖZLEM TUNA Doç. Dr. MEHMET BUĞDAYCI Prof. Dr. PELİN BARAN

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Doç. Dr. AYSEL ARSLAN**	1	KARİYER MERKEZLERİNİN ÖĞRETMEN ADAYLARININ KARİYER PLANLAMA KATKISI ÜZERİNE NİTEL BİR ARAŞTIRMA	Dr. Tülin HÜNDÜR
		2	LİSANS ÖĞRENCİLERİNİN YAPAY ZEKA DESTEKLİ TEKNOLOJİ KULLANIMININ KARİYER BAŞARISINA KATKISINA İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ	Dr. Tülin HÜNDÜR
		3	MY SCENE: STEP BY STEP	Öğretmen, GÜLTEN AKGÜL Öğretmen, ÖZCAN ÇELİK Öğretmen, HAVVA TAŞTEMEL Öğretmen, ASLI ÇAKAR KARAGÖZ Öğretmen, EMİNE ERKAN Öğretmen, GÜLBAHAR ÇİĞDEM
		4	THE CITY OF ANIMAL SOUNDS	Öğretmen, GÜLTEN AKGÜL Öğretmen, İSMAİL BACAKSIZ Öğretmen, HÜLYA GÖKGÖZ Öğretmen, CAN GÖRKEM KARAYEL Öğretmen, ERSAN AKARSU Öğretmen, SERHAT ERGİNLİ
		5	A META-EVALUATION OF STUDIES INCLUDING ILLUMINATIVE EVALUATION	Öğretmen, NAZLI SILA YERLİYURT Prof. Dr., ŞENEL ELALDI
		6	EĞİTİMDE SOSYAL ADALET: TEK BOYUTLU YAKLAŞIMLARDAN ÇOK BOYUTLU YAKLAŞIMLARA	Yüksek Lisans Öğrencisi Gülistan ASLAN
		7	LİSE ÖĞRENCİLERİNİN TÜRK DİLİ VE EDEBİYATI DERSİNE YÖNELİK TUTUMLARI	Yüksek Lisans Öğrencisi MERVE NUR ÖZDEMİR Doç. Dr. AYSEL ARSLAN Yüksek Lisans Öğrencisi SONGÜL KİMSESİZ
		8	LİSE ÖĞRENCİLERİNİN YAPAY ZEKÂ TEKNOLOJİLERİNE YÖNELİK TUTUMLARI	Yüksek Lisans Öğrencisi SONGÜL KİMSESİZ Doç. Dr. AYSEL ARSLAN Yüksek Lisans Öğrencisi Merve Nur ÖZDEMİR

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Öğr. Üy., Mukadder ÖZKAN BARDAKCI**	1	Türkiye Ve İngiltere'de Sosyal Politikalarda Bağımsız Yaşlı Temsili: Barınma Modelleri Üzerinden Karşılaştırmalı Bir Analiz	Yüksek Lisans Öğrencisi Nazlı SAL Doç. Dr. Sevim KOÇER
		2	TELEVİZYON DİZİLERİNDE TOPLUMSAL ROLLER VE ALGI YÖNETİMİ	Prof. Dr. Mustafa İNCE İrem İNCE
		3	MUHABİRLİKTEN İÇERİK ÜRETİCİLİĞİNE: DEĞİŞEN GAZETECİLİK PRATİKLERİ	Prof. Dr. Mustafa İNCE İrem İNCE
		4	THE SOCIAL, PSYCHOLOGICAL, AND ECONOMIC DIMENSIONS OF TECHNOLOGY ADDICTION: A LITERATURE-BASED ANALYSIS	Assoc. Prof. Dr., Alper GEDİK Lec., Şükrü GÜVEN
		5	MISCOMMUNICATION ON SOCIAL MEDIA: CAUSES, CONSEQUENCES AND SOCIAL EFFECTS	Lec., Şükrü GÜVEN Assoc. Prof. Dr., Alper GEDİK
		6	THE ALGORITHMIC CONSTRUCTION OF TRUTH: AN ANALYSIS OF MEDIA ETHICS AND DISINFORMATION	Dr. Aslı Kaprol
		7	TÜRKİYE'DE SANAL KUMAR BAĞIMLILIĞI ÜZERİNE YAPILAN LİSANSÜSTÜ TEZLERİN İNCELENMESİ	Dr. Öğr. Üy., Mukadder ÖZKAN BARDAKCI

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES
April 17 – 22, 2026
TOKYO
Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224

17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)

Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Prof. Dr. MEHMET DALKILIÇ**	1	SPORDA YAPAY ZEKA KARARLARININ ETİK BOYUTLARI	Doktora Öğrencisi, Abdullah KAYABAŞ Mehmet DALKILIÇ
		2	SPOR EKONOMİSİ VE FİNANS YÖNETİMİ	Doktora Öğrencisi, MUHAMMET KÜÇÜKKORAŞ Prof. Dr. MEHMET DALKILIÇ
		3	SPOR TURİZMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR DESTİNASYON GELİŞİMİ	Mine Nur DURSUN Prof. Dr. Mehmet DALKILIÇ
		4	SPORDA BEYİN SARSINTISININ CONCUSSİON ETKİLERİ	ESRA ALTUN Prof. Dr. Mehmet DALKILIÇ
		5	E-Spor ve Geleneksel Spor Yönetiminde Liderlik Yaklaşımlar	ESRA ALTUN Dr. Mehmet DALKILIÇ

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:00 – 11:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10		1	TÜRKİYE'DE SPOR HUKUKUNUN GELİŞİMİ	Doktora Öğrencisi, Abdullah KAYABAŞ, Mehmet DALKILIÇ
		2	DİJİTALLEŞME ÇAĞINDA SPOR PAZARLAMASI VE SPONSORLUK STRATEJİLERİNİN DÖNÜŞÜMÜ	AYŞENUR ÖZDOĞAN Prof.Dr. MEHMET DALKILIÇ
		3	SPOR TURİZMİ	Doktora Öğrencisi, MUHAMMET KÜÇÜKKORAŞ Prof. Dr. MEHMET DALKILIÇ
		4	LİDERLİK ve MOTİVASYON	Doktora Öğrencisi, MUHAMMET KÜÇÜKKORAŞ Prof. Dr. MEHMET DALKILIÇ
		5	SPOR ORGANİZASYONLARINDA ŞEFFAFLIK VE HESAP VEREBİLİRLİK	Mine Nur DURSUN Prof. Dr. Mehmet DALKILIÇ
		6	TÜRKLERDE SPOR	Yüksek Lisans Öğrencisi ESRA ALTUN Dr. Mehmet DALKILIÇ
		7	NETFILIX'İN SPOR YAYINCILIĞINA GİRİŞİ VE GELENEKSEL MEDYA İLE REKABETİ	Yüksek Lisans Öğrencisi ESRA ALTUN Dr. Mehmet DALKILIÇ

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Dr. Ioana Marinescu**	1	EDUCATIONAL LEADERSHIP AND TEACHER DEVELOPMENT IN DIGITAL TRANSFORMATION ERA	Prof. Dr. Amira Ben Youssef Dr. Salma Khelifi Dr. Hichem Trabelsi Rim El Amri
		2	INCLUSIVE CLASSROOM PRACTICES AND STUDENT ENGAGEMENT IN HIGHER EDUCATION SETTINGS	Assoc. Prof. Dr. Nizar Ben Ali Dr. Marwa Jaziri
		3	ASSESSMENT REFORM AND COMPETENCY-BASED LEARNING IN ROMANIAN SECONDARY EDUCATION	Dr. Ioana Marinescu
		4	DIGITAL PEDAGOGY AND CURRICULUM INNOVATION IN ROMANIAN UNIVERSITIES	Prof. Dr. Mihai Ionescu Dr. Alina Dumitrescu Dr. Radu Georgescu
		5	ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS AND ACADEMIC INTEGRITY IN INDIAN HIGHER EDUCATION	Assis. Prof. Dr. Ananya Sharma Assoc. Prof. Dr. Vikram Mehta Dr. Neha Khanna
		6	PROJECT-BASED LEARNING AND STUDENT MOTIVATION IN INDIA'S RURAL SCHOOLS	Dr. Priya Nair Dr. Suresh Iyer Dr. Kavita Reddy
		7	EDUCATIONAL REFORM AND QUALITY ASSURANCE IN KAZAKHSTANI TEACHER TRAINING SYSTEMS	Dr. Aigerim Sadykova Assoc. Prof. Dr. Timur Zhandosov Dr. Aisulu Nurlan
		8	MULTILINGUAL EDUCATION AND LEARNING OUTCOMES IN KAZAKHSTAN	Dr. Marat Ospanov Dr. Gulnaz Karimova
		9	STEM COMPETENCY DEVELOPMENT AND FUTURE SKILLS IN KAZAKHSTANI SCHOOLS	Assoc. Prof. Dr. Almas Zhumabayev Dr. Saule Tulegen Dr. Yerlan Aitbayev

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Aleksandar Petrov**	1	DIGITAL TRANSFORMATION AND DATA-DRIVEN DECISION MAKING IN SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES	Prof. Dr. Wei-Han Lin Assoc. Prof. Dr. Chia-Yu Chen Ming-Jen Hsu
		2	SUSTAINABLE SUPPLY CHAIN INTEGRATION AND RESILIENCE STRATEGIES IN GLOBAL BUSINESS ENVIRONMENTS	Dr. Yu-Ting Wang Prof. Dr. Po-Chun Li Hui-En Tsai
		3	DIGITAL ENTREPRENEURSHIP, INNOVATION ECOSYSTEMS, AND MARKET ADAPTATION IN EMERGING ECONOMIES	Assoc. Prof. Dr. Elena Markoska Dr. Nikola Stojanov Petar Velkov
		4	CORPORATE GOVERNANCE PRACTICES AND FINANCIAL PERFORMANCE IN FAMILY-OWNED BUSINESSES	Prof. Dr. Marina K. Dimitrova Assoc. Prof. Dr. Aleksandar Petrov Dr. Stefan Trajkov
		5	CUSTOMER EXPERIENCE MANAGEMENT AND BRAND LOYALTY IN THE DIGITAL RETAIL SECTOR	Prof. Dr. Ananya Iyer Dr. Rohan Menon Dr. Priya Nair Kavya Sharma
		6	STRATEGIC LEADERSHIP, ORGANIZATIONAL RESILIENCE, AND POST-CRISIS BUSINESS RECOVERY MODELS	Assoc. Prof. Dr. Arjun Mehra Prof. Dr. Neha Kulkarni Vikram Joshi
		7	SUSTAINABILITY REPORTING, ESG DISCLOSURE, AND LONG-TERM VALUE CREATION IN CORPORATE SECTORS	Prof. Dr. Amira Ben Salem Assoc. Prof. Dr. Sami Khelifi Dr. Yasmine Trabelsi Nour Chaker

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Nitin Kulkarni**	1	MACROECONOMIC RESILIENCE AND INFLATION MANAGEMENT IN POST-PANDEMIC TAIWAN	Prof. Dr. Wei-Hao Lin Dr. Meng-Ting Chen Dr. Yu-Chen Huang Dr. Hsin-Yu Kuo
		2	DIGITAL TRANSFORMATION, TRADE ADAPTATION, AND SMALL BUSINESS SURVIVAL IN TAIWAN'S URBAN ECONOMY	Assoc. Prof. Dr. Chia-Ling Tsai Dr. Po-Han Wu
		3	PUBLIC DEBT SUSTAINABILITY AND FISCAL REFORM PATHWAYS IN NORTH MACEDONIA	Dr. Elena Stojanova Dr. Nikola Petrov Dr. Marija Ivanova Assoc. Prof. Dr. Stefan Dimitrov
		4	LABOR MARKET FLEXIBILITY, YOUTH EMPLOYMENT, AND REGIONAL GROWTH IN NORTH MACEDONIA	Dr. Ana Trajkovska
		5	INCLUSIVE FINANCE, RURAL CREDIT ACCESS, AND ENTREPRENEURSHIP GROWTH IN INDIA	Prof. Dr. Rajesh Varma Dr. Ananya Deshmukh Dr. Kavita Iyer
		6	SUSTAINABLE INDUSTRIAL POLICY AND EXPORT COMPETITIVENESS IN INDIA'S EMERGING ECONOMY	Assoc. Prof. Dr. Nitin Kulkarni
		7	ENERGY PRICE SHOCKS, HOUSEHOLD WELFARE, AND FOOD SECURITY IN TUNISIA	Prof. Dr. Salma Ben Ali Dr. Youssef Khelifi Dr. Mariem Trabelsi
		8	TOURISM RECOVERY, MACROECONOMIC STABILITY, AND REGIONAL DEVELOPMENT IN TUNISIA	Assoc. Prof. Dr. Hichem Bouazizi Dr. Noura Slim Dr. Firas Ferchichi
		9	GREEN FINANCE, PUBLIC INVESTMENT, AND LONG-TERM GROWTH DYNAMICS IN TUNISIA	Dr. Amira Jaziri Dr. Mehdi Ouerfelli Dr. Lina Karray

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assis. Prof. Dr. Desta Tadesse**	1	THE TRANSFORMATION OF SAFAVID COURT POLITICS AND IMPERIAL IDEOLOGY IN EARLY MODERN IRAN	Prof. Dr. Arman Khosravi Soraya Javad Nima Farrokhzad
		2	BORDERLAND DIPLOMACY AND THE RED SEA ROUTES IN OTTOMAN-EGYPTIAN RELATIONS, 1517–1805	Assoc. Prof. Dr. Leila Hassan Mariam Abdel-Rahman Youssef El-Sayed
		3	URBAN MEMORY, NATIONALISM, AND ARCHAEOLOGICAL PRACTICE IN MODERN EGYPTIAN HISTORIOGRAPHY	Assoc. Prof. Dr. Omar El-Masry Dalia Fahmy Dr. Karim Naguib
		4	THE POLITICAL ECONOMY OF THE NILE VALLEY: TAXATION, LAND, AND POWER IN OTTOMAN EGYPT	Assoc. Prof. Dr. Hoda Abdallah Tarek Soliman Mona Ibrahim Dr. Salma Hassan
		5	CHRONICLES OF KINGDOMS: ORAL TRADITION AND STATE FORMATION IN ETHIOPIAN HISTORICAL NARRATIVES	Assis. Prof. Dr. Desta Tadesse
		6	MONASTIC NETWORKS, TRADE CORRIDORS, AND RELIGIOUS AUTHORITY IN ETHIOPIAN HIGH-PLATEAU HISTORY	Assoc. Prof. Dr. Meron Kidane Sisay Fikru Dr. Yared Amanuel Hana Wolde
		7	COASTAL SULTANATES, SWAHILI CHRONICLES, AND INDIAN OCEAN CONNECTIVITY IN TANZANIAN HISTORY	Juma Salum Neema Mussa Ibrahim Hamisi
		8	COLONIAL ENCOUNTERS, RESISTANCE, AND STATE FORMATION IN TANZANIA'S MODERN HISTORICAL MEMORY	Assoc. Prof. Dr. Said Khamis Rehema Ally Abdallah Omar Zainab Said

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. Tesfaye Belay**	1	THE ROLE OF EARLY ATTACHMENT PATTERNS IN SHAPING ADOLESCENT EMOTIONAL REGULATION AND INTERPERSONAL TRUST	Prof. Dr. Samira El-Hadi Dr. Youssef Benali Dr. Nadia Ait Karim Assoc. Prof. Dr. Rania Boussif
		2	COGNITIVE FLEXIBILITY, ACADEMIC STRESS, AND COPING STRATEGIES AMONG UNIVERSITY STUDENTS DURING TRANSITIONAL PERIODS	Dr. Karim El Mansouri
		3	EMOTION PROCESSING, SOCIAL SUPPORT, AND RESILIENCE TRAJECTORIES IN POST-CONFLICT YOUTH POPULATIONS	Mekdes Gebre Assoc. Prof. Dr. Tesfaye Belay Dr. Hana Woldemariam
		4	MINDFULNESS-BASED INTERVENTIONS AND THEIR IMPACT ON ACADEMIC PROCRASTINATION AND SELF-REGULATION	Prof. Dr. Laura Ciobanu Dr. Ilie Rusu Dr. Ana Maria Popescu
		5	TRAUMA, IDENTITY FORMATION, AND PSYCHOLOGICAL WELL-BEING IN MIGRANT ADOLESCENTS	Prof. Dr. Amina Salim Assoc. Prof. Dr. Dawit Kassa Dr. Selamawit Ayele
		6	THE INTERPLAY BETWEEN PERFECTIONISM, ANXIETY, AND ACHIEVEMENT MOTIVATION IN HIGH-ACHIEVING STUDENTS	Prof. Dr. Elvin Mammadov Dr. Nigar Huseynova Dr. Kamran Aliyev
		7	SOCIAL COMPARISON, SELF-ESTEEM, AND DIGITAL WELL-BEING IN CONTEMPORARY ADOLESCENTS	Assoc. Prof. Dr. Leyla Rahimova Dr. Tural Hasanov Dr. Aysel Mehdiyeva
		8	EXECUTIVE FUNCTIONS, DECISION-MAKING, AND IMPULSE CONTROL IN EARLY ADULTHOOD	Prof. Dr. Orkhan Karimli Dr. Narmin Jafarova Dr. Rufat Ibrahimov
		9	PSYCHOLOGICAL CAPITAL, HOPE, AND WORKPLACE ADAPTATION AMONG YOUNG ADULT EMPLOYEES	Assoc. Prof. Dr. Farida Mammadli Teymur Hasanli Dr. Gulnara Aliyeva

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Assoc. Prof. Dr. Selamawit Tadesse**	1	THE TRANSFORMATION OF NARRATIVE VOICE AND POETIC IDENTITY IN MODERN MOROCCAN LITERARY PROSE	Prof. Dr. Samir El-Baz Nadia El-Alaoui
		2	INTERTEXTUAL MEMORY, CULTURAL HYBRIDITY, AND GENDER REPRESENTATION IN CONTEMPORARY MAGHREBI FICTION	Assoc. Prof. Dr. Youssef El-Haddad Dr. Laila Amrani Rania Benyoussef Dr. Imane Sefiani
		3	THE AESTHETICS OF DISPLACEMENT AND MULTILINGUAL NARRATION IN MODERN MOLDOVAN SHORT STORY TRADITIONS	Prof. Dr. Elena Rusu Dr. Adrian Munteanu Cristina Ceban
		4	POST-SOVIET IDENTITY, ORAL HERITAGE, AND SYMBOLIC SPACE IN CONTEMPORARY MOLDOVAN POETRY	Dr. Ionel Grosu Marina Toma
		5	THE POETICS OF RESILIENCE AND MEMORY FRAGMENTS IN ETHIOPIAN ANGLOPHONE NOVELS	Prof. Dr. Amanuel Bekele Dr. Tsige Mekonnen Hanna Girma Dr. Dawit Alemu Mekdes Asfaw
		6	COLONIAL ECHOES, LINGUISTIC RESISTANCE, AND INTERCULTURAL NARRATIVE STRATEGIES IN ETHIOPIAN LITERARY TEXTS	Assoc. Prof. Dr. Selamawit Tadesse
		7	REINTERPRETING NATIONAL IDENTITY THROUGH CONTEMPORARY AZERBAIJANI LITERARY CRITICISM	Dr. Aygun Mammadova Nargiz Aliyeva Prof. Dr. Farid Huseynov
		8	THE ROLE OF MYTH, MODERNITY, AND MEMORY IN POST-CLASSICAL AZERBAIJANI POETRY	Assoc. Prof. Dr. Leyla Guliyeva Dr. Rufat Karimov Sabina Hasanli
		9	DIGLOSSIA, TRANSLATION, AND THE EVOLUTION OF THE MODERN AZERBAIJANI NOVEL	Prof. Dr. Kamal Ismayilov Dr. Nigar Ahmedova Ulviya Huseynova

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Prof. Dr. Elena Cebotari**	1	MIGRATION AND SOCIAL INEQUALITY IN CONTEMPORARY SPANISH URBAN SOCIOLOGY	Prof. Dr. Elena Marqués Assoc. Prof. Dr. Javier Soler Dr. Marta Alcaide Prof. Dr. Isabel Navarro
		2	RURAL-URBAN MOBILITY, LABOR PRECARITY, AND GENDERED MIGRATION PATTERNS IN SPAIN	Dr. Pau Ferrer Dr. Lucía Borrás
		3	TRANSNATIONAL MIGRATION, FAMILY DISRUPTION, AND SOCIAL RESILIENCE IN POST-SOVIET MOLDOVA	Prof. Dr. Elena Cebotari Assoc. Prof. Dr. Ion Dobre Dr. Ana-Maria Lupu
		4	MIGRATION ASPIRATIONS, REMITTANCES, AND COMMUNITY TRANSFORMATION IN MOLDOVAN SOCIETY	Dr. Vasile Rusu Dr. Cristina Vornicu Dr. Daniela Țurcanu
		5	FORCED DISPLACEMENT, URBAN SURVIVAL, AND YOUTH VULNERABILITY IN MALIAN SOCIOLOGICAL CONTEXTS	Prof. Dr. Awa Traoré Assoc. Prof. Dr. Moussa Keïta Dr. Mariam Cissé
		6	CLIMATE-DRIVEN MIGRATION, SOCIAL FRAGMENTATION, AND INFORMAL ECONOMIES IN MALI	Prof. Dr. Souleymane Diarra Dr. Fatoumata Koné Dr. Hamidou Sangaré
		7	MIGRATION GOVERNANCE, MULTICULTURAL INTEGRATION, AND SOCIAL COHESION IN MALAYSIAN CITIES	Prof. Dr. Nur Aisyah Ahmad Assoc. Prof. Dr. Muhammad Hafiz Zainal Dr. Siti Farah Hanani
		8	LABOR MIGRATION, URBAN PERIPHERIES, AND IDENTITY NEGOTIATION AMONG MIGRANT COMMUNITIES IN MALAYSIA	Prof. Dr. Nurul Izzah Rahman Dr. Ahmad Farid Iskandar Dr. Hani Syazwani Lim
		9	INTERNATIONAL STUDENT MIGRATION, DIGITAL CONNECTIVITY, AND SOCIO-CULTURAL ADAPTATION IN MALAYSIA	Prof. Dr. Khairul Anuar Hassan Assoc. Prof. Dr. Nur Diana Salleh Dr. Aiman Zulfikri Rahim

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Assoc. Prof. Dr. Putri Lestari**	1	CULTURAL MEMORY AND POSTCOLONIAL IDENTITY IN CONTEMPORARY MAURITANIAN VISUAL ARTS	Prof. Dr. Ahmed Ould Sidi Dr. Mariem Mint Hamed Assoc. Prof. Dr. Cheikh Ould Ahmed
		2	TRADITIONAL SYMBOLISM AND URBAN MURAL PRACTICES IN MODERN MAURITANIAN ART SCENES	Prof. Dr. Fatimata Ould Abdallahi Dr. Moussa Ould El Hadi Amina Ould Saleck
		3	INTERSECTIONS OF RELIGIOUS ICONOGRAPHY AND CONTEMPORARY ETHIOPIAN PAINTING PRACTICES	Prof. Dr. Tesfaye Bekele Dr. Rahel Desalegn Assoc. Prof. Dr. Girma Tadesse
		4	THE ROLE OF TEXTILE MOTIFS IN ETHIOPIAN CONTEMPORARY SCULPTURE AND VISUAL NARRATIVES	Assoc. Prof. Dr. Selamawit Getachew Dr. Mekdes Abebe Hirut Alemu Nile Valley
		5	DIGITAL INSTALLATION ART AND ENVIRONMENTAL CONSCIOUSNESS IN INDONESIAN YOUNG ARTISTS	Prof. Dr. Dewi Kartika Sari Dr. Raka Pratama Assoc. Prof. Dr. Made Surya
		6	THE REVIVAL OF INDIGENOUS ORNAMENTS IN CONTEMPORARY INDONESIAN CERAMIC ART	Assoc. Prof. Dr. Putri Lestari Dr. Budi Santoso Siti Anwar
		7	REPRESENTATIONS OF MIGRATION, MEMORY, AND RESILIENCE IN CONTEMPORARY PAKISTANI PAINTING	Prof. Dr. Ayesha Khan Dr. Imran Qureshi Assoc. Prof. Dr. Sana Malik
		8	PUBLIC ART, GENDER, AND COMMUNITY NARRATIVES IN PAKISTANI URBAN SPACES	Dr. Fatima Zahra Dr. Hassan Raza Noor-ul-Huda Siddiqui

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Prof. Dr., HAMİT ALYAR**	1	THE PHILOSOPHY OF JUSTICE, DIGNITY, AND DEMOCRATIC CITIZENSHIP IN CONTEMPORARY MOLDOVAN THOUGHT	Assoc. Prof. Dr. Elena Popa Ion Rusu Maria Cebotari Vasile Lupu
		2	THE INTERSECTION OF TRADITION, REASON, AND ETHICAL MODERNITY IN CONTEMPORARY MALAYSIAN PHILOSOPHY	Prof. Dr. Jamaluddin Ismail Nurul Huda Karim Dr. Syafiq Azman Dr. Farah Nadhirah
		3	PHILOSOPHY OF TECHNOLOGY, HUMAN VALUES, AND THE FUTURE OF MORAL AGENCY IN SOUTHEAST ASIA	Assoc. Prof. Dr. Khairul NizamQistina Razak
		4	THE ETHICS OF COMMUNITY, BELONGING, AND SOCIAL HARMONY IN MALAYSIAN PHILOSOPHICAL DEBATES	Prof. Dr. Farid Rahman Nur Aina Zulkifli Assis. Prof. Dr. Hafizuddin Salleh Siti Mariam Ahmad
		5	EXISTENTIAL FREEDOM, PERSONAL IDENTITY, AND THE SEARCH FOR MEANING IN MODERN EDUCATIONAL DISCOURSE	Aurel Toma Lilia Costin Marina Radu Gheorghe Mocanu
		6	EPISTEMIC HUMILITY AND THE LIMITS OF HUMAN REASON IN MORAL DECISION-MAKING	Dr. Nicolae Ionescu Ana Ursu Assoc. Prof. Dr. Victor Dima Cristina Balan
		7	CONTEMPORARY PHILOSOPHICAL PERSPECTIVES ON ETHICAL RELATIVISM IN DIGITAL SOCIETIES	Prof. Dr. Dwi Santosa Andi Pratama Msc. Sari Wulandari Dr. Made Arya Putra
		8	RETHINKING EXISTENCE AND KNOWLEDGE: A PHENOMENOLOGICAL ANALYSIS OF HUMAN AGENCY IN POSTMODERN LIFE	Assoc. Prof. Dr. Rina Maharani Budi Kurniawan Nadia Safitri Teguh Wirawan
		9	MORAL RESPONSIBILITY, LANGUAGE, AND COLLECTIVE MEMORY IN WEST AFRICAN PHILOSOPHICAL TRADITION	Prof. Dr. Moussa Traoré Aminata Coulibaly

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 09:30 – 11:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Assoc. Prof. Eleni Georgiou**	1	SOCIOLOGICAL TRANSFORMATIONS IN URBAN MOROCCAN SOCIETY: IDENTITY, MIGRATION, AND MODERNITY	Prof. Dr. Hassan El Idrissi Assoc. Prof. Salma Benyoussef Dr. Youssef Ait Lahcen Dr. Nadia El Amrani
		2	CULTURAL DYNAMICS AND SOCIAL STRATIFICATION IN CONTEMPORARY MOROCCO	Prof. Dr. Karim Boutaleb Assoc. Prof. Leila Chraibi Dr. Omar Tazi Dr. Fatima Zahra El Fassi
		3	SOCIO-CULTURAL TRANSFORMATIONS IN THE CAUCASUS REGION: IDENTITY, CONFLICT, AND COEXISTENCE	Prof. Dr. Giorgi Beridze Assoc. Prof. Arman Petrosyan Dr. Levan Kapanadze Dr. Zara Alieva
		4	SOCIAL STRUCTURES, FAMILY VALUES, AND GLOBALIZATION IN AZERBAIJAN	Prof. Dr. Farid Guliyev Assoc. Prof. Aysel Karimova Dr. Tural Ismayilov Dr. Sabina Rahimova Dr. Kamran Huseynov Dr. Nigar Safarova
		5	TRADITION AND MODERNIZATION IN AZERBAIJANI SOCIETY: A SOCIOLOGICAL OVERVIEW	Prof. Dr. Rashad Mammadov Assoc. Prof. Leyla Aliyeva
		6	EDUCATION, INEQUALITY, AND YOUTH IDENTITY IN GREECE: A SOCIOLOGICAL PERSPECTIVE	Dr. Giorgos Manolis Dr. Eleni Vassiliou
		7	SOCIAL CHANGE AND ECONOMIC CRISIS: A SOCIOLOGICAL ANALYSIS OF MODERN GREEK SOCIETY	Assoc. Prof. Eleni Georgiou Dr. Nikos Stavridis Dr. Maria Kallistratou

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Prof. Dr., MEHTAP KAVURMACI**	1	ETHICS AND INNOVATION IN SURGICAL DEPARTMENTS: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES	MD.PhD. Zahide Sulejmani Prof. Asoc. Gjergji Koja Prof. Asoc. Erjona Abazaj Elja Sulejmani
		2	ELECTRONIC CIGARETTES: BETWEEN SMOKING CESSATION BENEFITS AND RISKS	Saadi Fatima Zohra
		3	DİJİTAL “BEYİN ÇÜRÜMESİ”: DÜŞÜK KALİTELİ İÇERİK TÜKETİMİNİN BİLİŞSEL, PSİKOLOJİK VE DAVRANIŞSAL ETKİLERİ	Prof. Dr., MEHTAP KAVURMACI Dr. Öğr. Üyesi, BÜŞRA CEREN DEMİREL YILDIZ
		4	TİP 2 DİYABETTE DİYABETİK NEFROPATİ: GÜNCEL BÖBREK KORUYUCU STRATEJİLER VE YENİ TEDAVİ HEDEFLERİ	Prof. Dr., MEHTAP KAVURMACI Dr. Öğr. Üyesi, BÜŞRA CEREN DEMİREL YILDIZ
		5	BİYOTİNİDAZ EKSİKLİĞİ OLAN ÇOCUKLARDA İŞİTSEL EFFERENT SİSTEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ	Odyolog KÜBRA ÇORUH KINALI Prof.Dr. CAHİT BAĞCI Prof. Dr. AHMET KARA Dr. Öğr. Üyesi HACER EFNAN MELEK AKSOY

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Ebru BARDAŞ ÖZKAN**	1	Neuroacoustic Stimulation and Cognitive Enhancement: Physiological Effects of Binaural Brain Entrainment	Ebru BARDAŞ ÖZKAN
		2	Resonant Brain: Frequency-Based Modulation of Learning and Cortical Plasticity	Ebru BARDAŞ ÖZKAN
		3	NANOTECHNOLOGY AND DRUG DELIVERY SYSTEMS IN CANCER TREATMENT	EBRU DURAK Prof. Dr. MUKADDER MOLLAOĞLU
		4	THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RHEUMATOLOGY	EBRU DURAK Prof. Dr. MUKADDER MOLLAOĞLU
		5	IMPLANT AND TOOTH SUPPORTED PROSTHETIC REHABILITATION OF THE MAXILLA: A DIGITAL WORKFLOW	BİLAL AYAZ MURAT ALKURT
		6	ZIRCONIA AND METAL FRAMEWORK CERAMIC RESTORATIONS IN THE MAXILLA: A CASE REPORT INVOLVING ATTRITED TEETH	BİLAL AYAZ

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr., Benek Hamamcı**	1	HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER	Çağla ÖNCÜ Prof.Dr. A. Engin ÖZÇELİK
		2	MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL ANALYSIS OF PROJECTILE MOTION AND INDUCED BARREL VIBRATIONS IN RIFLES	Abdurrahman AKBAŞ Süha SARI Mete KALYONCU
		3	TENSILE PERFORMANCE AND THERMOMECHANICAL STABILITY OF CELLULOSE NANOCRYSTAL REINFORCED EPOXY ADHESIVES	Assoc. Prof. Dr., Benek Hamamcı
		4	THE EFFECT OF SLIDING SPEED ON THE TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF CARBON FIBRE REINFORCED POLYAMIDE 66 COMPOSITE	YUSUF BERKAY CAN Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL
		5	THE EFFECT OF VELOCITY AND APPLIED LOAD ON THE FRICTION AND WEAR PERFORMANCE OF POLYOXYMETHYLENE COPOLYMER COMPOSITE REINFORCED WITH GLASS FIBER	YUSUF BERKAY CAN Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Prof. Dr. Tugrul Talasliogl u**	1	BETONARME YAPILARDA GÜÇLÜ KİRİŞ-ZAYIF KOLONLARIN FRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA	Prof. Dr. ERCAN IŞIK Doç. Dr. FATİH AVCİL Prof. Dr. AYDIN BÜYÜKSARAÇ
		2	YERALTINI DİNLEMEK: SPAC YÖNTEMİ VE GEOMETRİK DİZİLİMLER	Prof. Dr. AYDIN BÜYÜKSARAÇ Prof. Dr. ERCAN IŞIK Doç. Dr. FATİH AVCİL
		3	DETECTION OF INELASTIC REGION FORMATION IN NONLINEAR STRUCTURAL SYSTEMS UNDER EARTHQUAKES	Prof. Dr. Elif Çağda Kandemir
		4	RELATION BETWEEN RESPONSE ENERGY DISTRIBUTION AND NONLINEAR STRUCTURAL DAMAGE UNDER EARTHQUAKES	Prof. Dr. Elif Çağda Kandemir
		5	UNSTIFFENED FLUSH-TYPE MOMENT CONNECTION DESIGN	Prof. Dr. Tugrul Talasliogl u

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Assoc. Prof. Dr. SERDAR YEDİER**	1	ŞEKER PANCARI ÜRETİMİNDE YAYGIN YAPRAK HASTALIKLARI: ARTAN BASKI ,VERİM VE ŞEKER KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ	Ziraat Yüksek Mühendisi RABİA HANDE ŞEN, Prof. Dr. NUH BOYRAZ
		2	TUZLULUK STRESİ ALTINDAKİ MERCİMEKTE HORMONAL PRIMING UYGULAMALARININ FİDE VE KÖK GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa CERİTOĞLU Zehra ÖGETÜRK
		3	PROLİN VE GLİSİN BETAİN İLE PRIMING UYGULAMALARININ BORÜLCEDE KURŞUN TOKSİSİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ	Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa CERİTOĞLU İrem Sultan ÖZTÖRÜN
		4	FLUPYRADIFURONE-INDUCED CYTOTOXICITY, OXIDATIVE STRESS, IN HUMAN LUNG CELLS	Yıldız Can BAL Vedat ŞEKEROĞLU Zülal ATLI ŞEKEROĞLU Seval KONTAŞ YEDİER Ceren BÖRÇEK KASURKA
		5	THE AMELIORATIVE EFFECT OF PYCNOGENOL ON ACROLEIN-INDUCED MITOCHONDRIAL MEMBRANE POTENTIAL CHANGES IN HUMAN PANCREATIC CELLS	Seval KONTAŞ YEDİER Zülal ATLI ŞEKEROĞLU Vedat ŞEKEROĞLU Birsen AYDIN Ceren BÖRÇEK KASURKA
		6	CHARACTERIZATION OF SOME BIOECOLOGICAL PROPERTIES OF SEA LETTUCE, Ulva lactuca L. 1758 (CHLOROPHYTA)	Assoc. Prof. Dr. Seher Dirican
		7	A BASELINE STUDY ON CHARACTERIZATION OF SOME BIOECOLOGICAL PROPERTIES OF Gomphonema parvulum (Kützing) Kützing 1849 (BACILLARIOPHYCEAE)	Assoc. Prof. Dr. Seher Dirican
		8	ABNORMAL OTOLITH PARADOX: ASSESSING THE INFORMATIONAL INTEGRITY OF CRYSTALLOGRAPHIC DEVIATIONS	Assoc. Prof. Dr. SERDAR YEDİER

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Asst. Prof., Demet Ulku GULPINAR SEKBAN**	1	TEA GARDENS AND TEA ART AS AN ELEMENT OF CULTURAL LANDSCAPE	Asst. Prof., Demet Ulku GULPINAR SEKBAN Assoc. Prof. Makbulenur ONUR
		2	ZEN GARDENS AS THE SPATİAL REFLECTİON OF ZEN PHİLOSOPHY AND ART	Asst. Prof., Demet Ulku GULPINAR SEKBAN Assoc. Prof. Makbulenur ONUR
		3	EDİRNE TARİHİ KENT MERKEZİNDE DUYUSAL KENTSEL DENEYİM TEMELLİ TURİSTİK ROTA TASARIMI	Sinenur TIRPAN Prof. Dr. Tuğba KİPER
		4	TURİZM ROTASI TASARIMINA YÖNELİK ARAŞTIRMALAR: BİBLİYOMETRİK PERSPEKTİF	Prof. Dr. Tuğba KİPER Sinenur TIRPAN
		5	Çanakkale İli Hava Kalitesi İzleme İstasyonlarında 2019–2024 Yaz Dönemi Kirleticilerin Durumu ve Değişimleri: Merkez, Çan, Biga ve Lapseki Örnekleri	Yüksek Lisans Öğrencisi, İBRAHİM KİREÇ Prof. Dr, RÜŞTÜ ILGAR

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Gözde Ezgi YALIM POLAT**	1	THE FUTURE OF "TOUCH" IN THE DIGITAL AGE: THE BRIDGE BETWEEN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND HUMAN COMPASSION	Assoc. Prof. Dr., AYDANUR AYDIN
		2	VIRTUAL REALITY-BASED EMOTIONAL RESILIENCE TRAINING: A NEW MODEL FOR HEALTH STUDENTS	Assoc. Prof. Dr., AYDANUR AYDIN
		3	SAĞLIK SEKTÖRÜNDE SESSİZ İSTİFA: NEDENLERİ, ETKİLERİ VE YÖNETİCİ STRATEJİLERİ	Gözde Ezgi YALIM POLAT Prof. Dr. Özgür DEMİRTAŞ
		4	KRİZ DÖNEMLERİNDE LİDERLİK VE DUYGUSAL ZEKÂ	Merve ŞAHİN Prof. Dr. Özgür DEMİRTAŞ
		5	AFET SONRASI YERİNDEN EDİLME VE DAMGALANMA: LİTERATÜR TEMELLİ ANALİTİK BİR İNCELEME	Hanife Azra DOĞAN Doç. Dr. Barış DEMİREL
		6	AFET SONRASI NORMALLEŞME POLİTİKALARI: TÜRKİYE VE JAPONYA ÖRNEĞİNDE KARŞILAŞTIRMALI BİR POLİTİKA ANALİZİ	Hanife Azra DOĞAN Doç. Dr. Barış DEMİREL
		7	ERKEN ÇOCUKLUK DÖNEMİNDE SOSYAL HİZMET UYGULAMALARI	Yüksek Lisans Öğrencisi, SEYFETTİN KARAYIL Dr. Öğr. Üyesi Adem ARSLAN

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Öğr. Üyesi SERHAT SOYŞEKERCİ**	1	SOYADI ENDEKSİ: AKADEMİDE 'ŞARTLI' MERİTOKRASİ	Dr. Öğr. Üyesi SERHAT SOYŞEKERCİ
		2	DİJİTAL NİHİLİZM VE SEMBOLİK DİRENİŞ: TESTERE ETKİSİ ÜZERİNE PİLOT BİR ÇALIŞMA	Mert Testere
		3	ALGORİTMİK DÜNYA ATILIŞI VE PLATFORM EĞLENCESİNİN ALEGORİSİ: THE RUNNİNG MAN (2025) ÜZERİNDEN STREAMİNG KÜLTÜRÜNÜN ELEŞTİRİSİ	Mert Testere
		4	YOGA AND MEDITATION: THE BALANCE OF BODY, MIND, AND SPIRIT	SEMANUR BAZ AYDAN ERMİŞ OSMAN İMAMOĞLU
		5	THE DIVINE RUNNING METAPHOR IN ANCIENT MESOPOTAMIA: SPORT AND DIVINITY IN THE CONTEXT OF BALAĜ TEXTS	SEMANUR BAZ AYDAN ERMİŞ OSMAN İMAMOĞLU
		6	AWARENESS OF DIGITAL GAME ADDICTION AMONG FACULTY OF SPORTS SCIENCES STUDENTS	Öğr. Gör, ARZU YEKE ALTUN Prof. Dr, TÜLİN AKMAN Doç. Dr. ŞABAN ÜNVER
		7	AN EXAMINATION OF SPORT SELF-EFFICACY AND HOPELESSNESS LEVELS IN LICENSED ATHLETES	Öğr. Gör, ARZU YEKE ALTUN Prof. Dr, TÜLİN AKMAN Doç. Dr. ŞABAN ÜNVER

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:00 – 14:00 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Doç.Dr. SERAP ÜNAL**	1	INTERNATIONAL ARNICA ART WORKSHOP, AS A MECENAT MODEL IN ART PRODUCTION	Öğretim Görevlisi, Beril REİS Öğretim Görevlisi, Fırat NEZİROĞLU
		2	WOMEN'S LABOR, CULTURAL NARRATIVE, AND VISUAL IDENTITY IN TURKMEN AND IRANIAN CARPETS	Doç. Dr. Tülay GÜMÜŞER Yüksek Lisans Öğr. Aybike ORHAN
		3	PATTERN DESIGNS IN TRADITIONAL UZBEK GARMENTS	Doç. Dr. Tülay GÜMÜŞER Yüksek Lisans Öğr. Aybike ORHAN
		4	COMMUNITY PARTICIPATION–BASED SUSTAINABLE FASHION DESIGN APPROACHES UTILIZING TEXTILE WASTE	Assoc. Prof. Dr. Zeynep KIRKINCIOĞLU Lecturer Nurhan AKBULUT
		5	FAKRIN MADDİ SEMBOLÜ: TASAVVUF KÜLTÜRÜNDE SERAMİK KEŞKÜL-Ü FUKARALAR	Doç.Dr. SERAP ÜNAL
		6	POPÜLER KÜLTÜRDE HAZ ODAKLI MEDYA PRATİĞİ OLARAK YOUTUBE ÖRNEĞİ	Dr. Öğretim Üyesi AMİNE REFİKA

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON SOCIAL SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 1	**Assoc. Prof. Dr. Soraya Mahmoudi**	1	SHIITE ESCHATOLOGY AND CONTEMPORARY IRANIAN POLITICAL DISCOURSE IN POST-REVOLUTIONARY ERA	Prof. Dr. Mohammad Rezaei Ali Hosseini Fatemeh Karimi Reza Jalali Leila Ahmadi
		2	MYSTICAL INTERPRETATIONS OF SUFISM IN CLASSICAL PERSIAN POETRY TRADITIONS	Assoc. Prof. Dr. Soraya Mahmoudi
		3	COPtic CHRISTIAN THEOLOGY AND IDENTITY PRESERVATION UNDER ISLAMIC GOVERNANCE IN EGYPT	Dr. Amir Khalil Nadia Shenouda Samuel Iskander
		4	QURANIC HERMENEUTICS AND MODERN EGYPTIAN REFORMIST THOUGHT MOVEMENTS	Prof. Dr. Fatima El-Sayed Karim Abdelnour Layla Gamal
		5	EVANGELICAL THEOLOGICAL RESPONSES TO SECULARIZATION IN AMERICAN PUBLIC SPHERE	Assoc. Prof. Dr. Jonathan Hayes Sarah Mitchell Assis. Prof. Dr. David Larson
		6	REFORMED CALVINISM AND CONTEMPORARY SOCIAL JUSTICE ACTIVISM IN U.S. CHURCHES	Dr. Emily Carter Michael Reynolds
		7	ISLAMIC THEOLOGY EVOLUTION IN SHIITE AZERBAIJANI COMMUNITIES POST-SOVIET ERA	Prof. Dr. Elnur Hasanov Dr. Nigar Aliyeva Farid Gurbanov
		8	ORTHODOX CHRISTIAN SPIRITUALITY AND NATIONAL IDENTITY IN SECULAR AZERBAIJAN	Assoc. Prof. Dr. Aysel Ibrahimova Kamran Abbasov
		9	COMPARATIVE SUFISM IN AZERBAIJAN AND IRANIAN MYSTICAL TRADITIONS	Dr. Leyla Mammadova Elvin Rahimov

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 2	**Assoc. Prof. Dr. Leyla Abbasova**	1	EARTHQUAKE-RESILIENT HOUSING DESIGN STRATEGIES FOR TABRIZ URBAN FABRIC	Prof. Dr. Reza Jafari Soraya Mahmoudi Ali Karimi Fatemeh Hosseini
		2	TRADITIONAL WIND CATCHER SYSTEMS REVITALIZATION IN YAZD SUSTAINABLE NEIGHBORHOODS	Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli Leila Bahrami Mohammad Rezaei
		3	NILE RIVERFRONT REGENERATION PROJECTS FOR CAIRO HISTORIC CORE DISTRICTS	Dr. Ahmed El-Sayed Fatima Salem Omar Khalil Nadia Gamal
		4	CLIMATE-ADAPTIVE ARCHITECTURE FOR ALEXANDRIA COASTAL FLOOD VULNERABILITY	Prof. Dr. Karim Abdelaziz Sara Mahmoud Tariq El-Badry
		5	PASARGADAE ARCHAEOLOGICAL SITE CONSERVATION THROUGH LANDSCAPE INTEGRATION	Assoc. Prof. Dr. Mina Azizi Bahram Hosseini Neda Rahmani
		6	PERSIAN GARDEN PRINCIPLES APPLICATION IN TEHRAN PUBLIC PARK REVITALIZATION	Dr. Farhad Jalali Zahra Mahmoudi
		7	POST-INDUSTRIAL URBAN REGENERATION IN SUMGAIT CHEMICAL PLANT DISTRICTS	Prof. Dr. Elnur Hasanov Dr. Aysel Gurbanova Farid Mammadov Nigar Ibrahimova
		8	SEAFRONT PUBLIC SPACE DEVELOPMENT FOR BAKU CASPIAN BOULEVARD EXPANSION	Assoc. Prof. Dr. Leyla Abbasova Kamran Nuriyev Elvin Karimova
		9	CLIMATE-RESPONSIVE MASTER PLANNING FOR LENKORAN WETLAND ECOSYSTEMS	Dr. Sevinc Rahimova Victor Huseynov Maria Popescu

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 3	**Assoc. Prof. Dr. Lim Hui Min**	1	ENZYMATIC DEGRADATION MECHANISMS OF PLASTIC POLYMERS BY JORDANIAN DESERT MICROBIAL CONSORTIA	Prof. Dr. Omar Al-Sheikh Dr. Lina Haddad Ahmad Khoury Sara Nassar
		2	BIOCHEMICAL PATHWAYS OF ANTIOXIDANT SYNTHESIS IN DEAD SEA HALOPHYTE PLANTS UNDER SALINITY STRESS	Assoc. Prof. Dr. Khaled Darwish Rania Abu-Ghazaleh Tariq Mahmoud
		3	CRISPR-CAS9 GENE EDITING FOR ENHANCED RICE BLAST RESISTANCE IN TROPICAL ASIAN VARIETIES	Dr. Wei Tan Assoc. Prof. Dr. Lim Hui Min Chen Wei Long Siti Nurhaliza
		4	SYNTHETIC BIOLOGY APPROACHES TO ENGINEER MICROBIAL BIOSENSORS FOR PATHOGEN DETECTION	Prof. Dr. Rajesh Kumar Dr. Priya Sharma Muhammad Faisal
		5	METABOLIC ENGINEERING OF OLIVE OIL BIOSYNTHESIS PATHWAYS IN TUNISIAN ARID LAND CULTIVARS	Assoc. Prof. Dr. Anis Ben Salem Lamia Trabelsi Dr. Hatem Jrad
		6	PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF TUNISIAN ENDOPHYTES FOR HEAVY METAL CONTAMINATED SOILS	Prof. Dr. Nadia Kefi Mohamed Gharsallah Imen Hmidi
		7	MICROBIAL ENZYME DISCOVERY FOR CELLULOSIC BIOMASS HYDROLYSIS IN KAZAKH STEPPE ECOSYSTEMS	Dr. Aigerim Tolegenova Yerlan Bekbolatov Assoc. Prof. Dr. Dina Sarsenbayeva
		8	GENOMIC ANALYSIS OF EXTREMOPHILE ALGAE FROM ARAL SEA FOR BIOFUEL PRODUCTION	Prof. Dr. Ruslan Abayev Aidana Kurmangaliyeva Nursultan Nurtazin

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 4	**Assoc. Prof. Dr. Tesfaye Gebremariam**	1	HIGH-POWER EFFICIENT DC-DC CONVERTERS FOR NEXT-GENERATION SATELLITE COMMUNICATION MODULES	Prof. Dr. Souleymane Diallo Dr. Mariam El Hacen Aicha Mint Mohamed
		2	FAULT-TOLERANT CONTROL ARCHITECTURES FOR INDUSTRIAL ROBOTIC ACTUATORS USING WIRELESS SENSOR FEEDBACK	Assoc. Prof. Dr. El Mokhtar Ould Ahmed Dr. Fatimetou Ould Sidi Mohamed Salem Ould Brahim
		3	RECONFIGURABLE ANTENNA SYSTEMS FOR 5G-ADVANCED AND BEYOND-5G MOBILE NETWORKS	Dr. Netsanet Hailu Selamawit Kassa Prof. Dr. Worku Ayalew Dr. Hirut Bekele Mekdes Tadesse
		4	ENERGY-AWARE SIGNAL PROCESSING METHODS FOR LOW-POWER IOT EDGE DEVICES IN SMART CITIES	Assoc. Prof. Dr. Tesfaye Gebremariam
		5	EMBEDDED MACHINE LEARNING CIRCUITS FOR REAL-TIME HEALTH MONITORING WEARABLES	Assis. Prof. Dr. Dwi Prasetyo Dr. Rani Widya Sari Naufal Alamsyah
		6	DIGITAL POWER MANAGEMENT STRATEGIES FOR HIGH-EFFICIENCY SOLAR INVERTER SYSTEMS	Dr. Putri Handayani Dr. Muhammad Rizky Pratama Ayu Lestari
		7	ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENABLED DEFECT DETECTION IN SEMICONDUCTOR MANUFACTURING LINES	Prof. Dr. Imran Qureshi Dr. Hina Malik Ahsan Khan
		8	SECURE COMMUNICATION PROTOCOLS FOR MILITARY-GRADE IOT SENSOR NETWORKS	Dr. Farhan Abbas Maryam Javed

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 5	**Dr. Nikola Trajkovski Assoc. Prof. Dr. Marija Spasova**	1	VETERINARY PUBLIC HEALTH STRATEGIES FOR CONTROLLING ZOONOTIC RISK IN MARINE FOOD SUPPLY CHAINS	Prof. Dr. Nadia El-Mansouri Dr. Youssef Benali Salma Ait Ouarab Dr. Imane Zahir
		2	SUSTAINABILITY AND ANTIBIOTIC RESISTANCE MONITORING IN AQUACULTURE SYSTEMS OF NORTH AFRICAN COASTAL REGIONS	Assoc. Prof. Dr. Rachid El-Khattabi Prof. Dr. Lina Bouzid Dr. Samir Hariri
		3	CLINICAL PARASITOLOGY AND DIAGNOSTIC CHALLENGES IN FISH AND SHELLFISH HEALTH MANAGEMENT	Prof. Dr. Elena Petrovska Assoc. Prof. Dr. Martin Stojanov Dr. Ana Kostic Biljana Ristova
		4	MOLECULAR SURVEILLANCE OF BACTERIAL PATHOGENS IN MARINE ANIMALS AND SEAFOOD PRODUCTION SYSTEMS	Dr. Nikola Trajkovski Assoc. Prof. Dr. Marija Spasova
		5	NUTRITIONAL QUALITY, FOOD SAFETY, AND WELFARE INDICATORS IN MALAYSIAN MARINE LIVESTOCK PRODUCTION	Prof. Dr. Aisha Rahman Assoc. Prof. Dr. Farid Ismail Dr. Nurul Syafiqah Hassan Siti Aminah Abdullah Dr. Haziq Zainal
		6	INNOVATIVE DIAGNOSTIC TOOLS FOR VIRAL DISEASE CONTROL IN TROPICAL AQUATIC ANIMAL HEALTH	Prof. Dr. Chong Wei Ling Dr. Kamaluddin Ibrahim Assoc. Prof. Dr. Nur Faezah Roslan
		7	EPIDEMIOLOGY OF SEAFOOD-BORNE DISEASES AND VETERINARY INTERVENTIONS IN SOUTH ASIAN MARKETS	Prof. Dr. Saeed Ahmad Khan Dr. Amina Riaz Assoc. Prof. Dr. Usman Tariq Hira Javed
		8	ONE HEALTH APPROACHES FOR IMPROVING MARINE ANIMAL BIOSECURITY AND SEAFOOD TRACEABILITY	Prof. Dr. Muhammad Asif Malik Dr. Sana Gul Assoc. Prof. Dr. Faizan Qureshi Dr. Naila Shahid

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 6	**Prof. Dr. Ezenwa Chinenye Amanamba**	1	EVALUATION OF URBAN LAND DEVELOPMENT DIRECTION İN KABUL CITY, AFGHANISTAN	Ahmad Sharif Ahmadi Yoshitaka Kajita
		2	INFLUENCE OF PLACE IDENTITY ON WALKABILITY: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN TWO MIXED USED STREETS CHAHARBAGH ST. ISFAHAN, IRAN AND DEREBOYU ST. LEFKOSA, NORTH CYPRUS	Assis. Prof. Dr. R. Rafiemanzelat
		3	RENEWED URBAN WATERFRONT: SPATIAL CONDITIONS OF A CONTEMPORARY URBAN SPACE TYPOLOGY	Assis. Prof. Dr. Beate Niemann, Fabian Pramel
		4	URBAN ECOLOGICAL INTERACTION: AIR, WATER, LIGHT AND NEW TRANSIT AT THE HUMAN SCALE OF BARCELONA'S SUPERILLES	Philip Speranza
		5	PERFORMANCE EVALUATION OF A 'PRIORITY-CONTROLLED' INTERSECTION CONVERTED TO SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTION	Prof. Dr. Ezenwa Chinenye Amanamba
		6	DISCUSSION ABOUT FREQUENT ADJUSTMENT OF URBAN MASTER PLANNING İN CHINA: A CASE STUDY OF CHANGSHOU DISTRICT, CHONGQING CITY	Sun Ailu Zhao Wanmin
		7	HYBRID LIVING: EMERGING OUT OF THE CRISES AND DIVISIONS	Yiorgos Hadjichristou
		8	CORPORATE GOVERNANCE STRUCTURES AND OVERLAPPING DIRECTORATES IN THE CZECH REPUBLIC	Assis. Prof. Dr. Ondřej Nowak
		9		

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 7	**Assoc. Prof. Dr. Suman Sharma**	1	SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY APPLICATIONS	Emma Grigoryan, Ashot Khachatryan, Karapet Flora Avjyan Savchenko,
		2	PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS	Dr. Stepan Arakelova, Assis. Prof. Dr. Lilia Arsenyan
		3	INVESTIGATING THE EFFECTS OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG PROPERTIES AND ITS IMPLICATIONS FOR PET IMAGING APPLICATIONS	Dr. Sunil Kamboj, Dr. Vipin Saini, Lecture GauravBala,
		4	ENDOPHYTES AS A NEW SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS: ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES	Assoc. Prof. Dr. Suman Sharma
		5	FROM CONCEPT TO REALITY: THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON MOLDING	Dr. Bedi Neayti Singh Phd. Candidate Balvinder Thakur,
		6	THE ROLE OF EXERCISE IN IMPROVING SEXUAL PERFORMANCE AND SEMEN QUALITY OF SAHIWAL BULLS: A PRACTICAL GUIDE FOR BREEDERS	Assis. Prof. Dr. Rathapon Dr.Sorrachaitawatwong, Nardauma Pouthai
		7	INVESTIGATING THE IMPACT OF DIETARY HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON CARCASS CHARACTERISTICS, IMMUNE RESPONSE, AND ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS	Sirijit Tipchuwong, Chayanid Asasutjarit

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 8	**Dr. Suresh Chandrasekhar**	1	APPLICATION OF AUTOMORPHISM GROUPS IN GRAPH THEORY AND THEIR IMPLICATIONS FOR NETWORK STRUCTURES	Assis. Prof. Dr. Aram Karapetyan
		2	RECENT ADVANCES IN PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS: ANALYSIS AND COMPUTATION	Dr. Narine Melikyan
		3	ASYMPTOTIC ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS IN PHYSICAL MODELLING	Dr. Lilit Harutyunyan Prof. Dr. Vahan Manukyan
		4	RECENT METHODS IN ALGEBRAIC NUMBER THEORY: APPLICATIONS TO CRYPTOGRAPHY	Prof. Dr. Priya Deshpande Dr. Nikhil Raman Prof. Dr. Anjali R. Mehta
		5	ADVANCES IN MACHINE LEARNING APPROACHES FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION	Dr. Suresh Chandrasekhar
		6	MODELING SPATIOTEMPORAL PHENOMENA WITH PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENVIRONMENTAL SCIENCES	Prof. Dr. Avinash Kumar Dr. Sneha Patil Assis. Prof. Dr. Kartik Sharma Dr. Deepak Joshi
		7	STABILITY AND SPECTRAL ANALYSIS OF NONLINEAR OPERATORS IN FUNCTION SPACES	Dr. Aisha Al-Harthy Assis. Prof. Dr. Ahmed Salim
		8	FUZZY LOGIC SYSTEMS AND THEIR APPLICATION IN UNCERTAIN REAL-WORLD DATA MODELLING	Assoc. Prof. Dr. Waleed Al-Lamki Dr. Sara Al-Rawahi
		9	SYMMETRY ANALYSIS IN SOLVING COMPLEX SYSTEMS OF NONLINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS	Dr. Saud Al-Busaidi Assis. Prof. Dr. Maha Al-Kharusi

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 9	**Prof. Dr. Arman Hakobyan Assis. Prof. Dr. Lilit Grigoryan**	1	INNOVATIVE STRATEGIES IN THE SEISMIC DESIGN OF URBAN INFRASTRUCTURE IN YEREVAN	Prof. Dr. Arman Hakobyan Assis. Prof. Dr. Lilit Grigoryan
		2	DEVELOPMENT OF ECO-FRIENDLY CONCRETE COMPOSITES WITH LOCALLY SOURCED MATERIALS	Prof. Dr. Arman Hakobyan Dr. Ani Babayan Prof. Dr. Gevorg Arakelyan Assis. Prof. Dr. Sargis Hunanyan
		3	INTELLIGENT FLOOD MANAGEMENT SYSTEMS FOR URBAN CENTERS IN LAHORE	Prof. Dr. Ahmad Ali Assis. Prof. Dr. Maryam Raza Muhammad Ayub
		4	ADVANCED OPTIMIZATION OF WIND ENERGY INFRASTRUCTURE IN COASTAL PAKISTAN	Dr. Samina Hassan Prof. Dr. Tariq Mahmood Assis. Prof. Dr. Waleed Akhtar
		5	APPLICATION OF NANOMATERIALS IN WATER PURIFICATION SYSTEMS FOR KARACHI	Dr. Hina Qureshi Prof. Dr. Faisal Ahmed Assis. Prof. Dr. Usman Khan
		6	SUSTAINABLE DESIGN OF EMBANKMENT DAMS UNDER ARID CLIMATE CONDITIONS	Dr. Salim Al-Harthy Prof. Dr. Fahad Al-Shidhani
		7	PERFORMANCE EVALUATION OF SMART TRAFFIC MANAGEMENT TECHNOLOGIES IN MUSCAT	Assis. Prof. Dr. Aisha Al-Balushi Dr. Sami Alkindi
		8	DEVELOPING SOLAR-POWERED MICROGRID SOLUTIONS FOR REMOTE COMMUNITIES IN OMAN	Prof. Dr. Hamood Al-Rawahi Dr. Nasser Al-Saadi
		9	MODELING OF EARTHQUAKE-RESISTANT HOUSING FOR TROPICAL CLIMATE ZONES IN JAKARTA	Prof. Dr. Budi Santosa Assis. Prof. Dr. Sinta Wijaya Dr. Arief Prabowo Prof. Dr. Iwan Kurniawan

FAR EAST ASIA 6th INTERNATIONAL CONGRESS ON APPLIED SCIENCES April 17 – 22, 2026 TOKYO Meeting ID: 885 7151 8350 Passcode: 202224				
17 Nisan / April 17, 2026 / 12:30 – 14:30 Time zone in Turkey (GMT+3)				
Salon	Moderator		Bildiri No ve Başlığı / Paper ID and Title	Authors
HALL / SALON 10	**Prof. Dr. Timur Zharkenov**	1	APPLICATION OF FLEXIBLE ELECTRONICS FOR WEARABLE HEALTH MONITORING SYSTEMS	Nurlan Sarsembayev Dr. Akmaral Yessimova
		2	DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT INTERNET OF THINGS (IOT) SENSOR NODES FOR SMART AGRICULTURE	Prof. Dr. Timur Zharkenov
		3	DEVELOPMENT OF LOW-POWER VLSI ARCHITECTURES FOR AI-ENABLED EDGE COMPUTING DEVICES	Dr. Saifur Rahman Assoc. Prof. Dr. Farhana Parvin Md. Moniruzzaman
		4	INTELLIGENT SMART GRID CONTROL USING DEEP LEARNING ALGORITHMS FOR POWER DISTRIBUTION OPTIMIZATION	Prof. Dr. Nasima Akter Assis. Prof. Dr. Tarik Hasan
		5	RECONFIGURABLE ANTENNA DESIGN FOR MILLIMETER WAVE 5G COMMUNICATION APPLICATIONS	Assoc. Prof. Dr. Alvin Lim Kai Yee Tan Rachel Liew
		6	SILICON PHOTONICS INTEGRATED CIRCUITS FOR ULTRA-FAST OPTICAL TELECOM NETWORKS	Dr. Wei Ming Tan Prof. Dr. Siang Hwa Tan
		7	DEVELOPMENT OF GRAPHENE-BASED NANOELECTRONIC DEVICES FOR NEXT-GENERATION SENSORS	Dr. Rania Bouzid Prof. Dr. Mourad Benamara Assoc. Prof. Dr. Samir Bensaid Farida Lazreg Dr. Ahmed Yacine

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Contents

OTOMATİK MODÜLASYON SINIFLANDIRMASI İÇİN HAFİF VE VERİMLİ BİR DERİN ÖĞRENME MODELİ 1

GÖRSEL İLETİŞİM TASARIMINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) ENTEGRASYONU: KULLANICI DENEYİMİ (UX) ÜZERİNE BİR İNCELEME 5

VERİ GÖRSELLEŞTİRMESİNDE YAPAY ZEKA DESTEKLİ 3B İNFOGRAFİK MODELLERİN KULLANIMI 6

KONTRASTLI BT GÖRÜNTÜLERİNDE DICOM-SEG REHBERLİ SEGMENTASYON VE AÇIKLANABİLİR MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE GEOMETRİK ÖZELLİK TABANLI BÖBREK TÜMÖRÜ ANALİZİ 8

STATISTICAL ANOMALY DETECTION IN DNA SEQUENCES 9

ALIGNMENT-FREE GENOMIC CLUSTERING USING K-MER DESCRIPTORS 17

YAPAY ZEKÂ İLE OTONOM DRON DAVRANIŞLARININ MODELLEMESİ 25

YAPAY ZEKA TABANLI TIBBİ GÖRÜNTÜ ANALİZİ İÇİN VERİ HAZIRLAMA SÜRECİ: OMURGA MRI ÖRNEĞİ 32

A COMPARATIVE STUDY OF AI APPROACHES FOR PIN-FIN CHANNEL SURROGATE MODELING 39

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ HÜCRESİ JENERATÖRLERİNİN P-V KARAKTERİSTİKLERİNİN ÇİZİLMESİ 50

FOTOVOLTAİK JENERATÖRLERİN P-V KARAKTERİSTİKLERİNİN YENİ BİR YÖNTEMLE ÇİZİLMESİ 57

COMPUTATONAL STUDY ON THE SPECTROSCOPIC, ELECTRONIC AND NLO PROPERTIES OF 2,3-DIFURYLQUINOXALINE 65

DFT-BASED INVESTIGATION OF ELECTRONIC STRUCTURE AND NONLINEAR OPTICAL PROPERTIES OF 2-(4-FLUOROPHENYL)QUINOXALINE 80

SOLVENT-ASSISTED INTERCALATION AND SONOCHEMICAL EXFOLIATION FOR THE FABRICATION OF EVA/GRAPHENE THERMOPLASTIC NANOCOMPOSITE 93

SPORDA YAPAY ZEKA KARARLARININ ETİK BOYUTLARI 95

SPOR TURİZMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR DESTİNASYON GELİŞİMİ 102

SPOR EKONOMİSİ VE FİNANS YÖNETİMİ 112

SPORDA BEYİN SARSINTISININ CONCUSSİON ETKİLERİ 119

SPORDA BEYİN SARSINTISININ CONCUSSİON ETKİLERİ 124

ELECTRONIC CIGARETTES: BETWEEN SMOKING CESSATION BENEFITS AND RISKS 129

TİP 2 DİYABETTE DİYABETİK NEFROPATİ: GÜNCEL BÖBREK KORUYUCU STRATEJİLER VE YENİ TEDAVİ HEDEFLERİ 130

DİJİTAL “BEYİN ÇÜRÜMESİ”: DÜŞÜK KALİTELİ İÇERİK TÜKETİMİNİN BİLİŞSEL, PSİKOLOJİK VE DAVRANIŞSAL ETKİLERİ 139

BİYOTİNİDAZ EKSİKLİĞİ OLAN ÇOCUKLARDA İŞİTSEL EFERENT SİSTEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ 149

NEUROACOUSTIC STIMULATION AND COGNITIVE ENHANCEMENT: PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF BINAURAL BRAIN ENTRAINMENT 159

RESONANT BRAIN: FREQUENCY-BASED MODULATION OF LEARNING AND CORTICAL PLASTICITY 174

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RHEUMATOLOGY 189

ROMATOLOJİDE YAPAY ZEKA KULLANIMI 190

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

NANOTECHNOLOGY AND DRUG DELIVERY SYSTEMS IN CANCER TREATMENT 197

ÜST ÇENENİN İMPLANT VE DİŞ DESTEKLİ PROTETİK REHABİLİTASYONU: DİJİTAL İŞ AKIŞI 205

ÜST ÇENEDE ZİRKONYA VE METAL ALTYAPILI SERAMİK RESTORASYONLAR: ATRİZE DİŞLERİ İÇEREN VAKA SUNUMU 207

HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER 209

TÜFEK NAMLUSUNDA MERMİ HAREKETİNİN VE OLUŞAN TİTREŞİMLERİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ VE SAYISAL ANALİZİ 225

SELÜLOZ NANOKRISTAL TAKVİYELİ EPOKSI YAPIŞTIRICILARIN ÇEKME PERFORMANSI VE TERMOMEKANIK KARARLILIĞI 237

THE EFFECT OF VELOCITY AND APPLIED LOAD ON THE FRICTION AND WEAR PERFORMANCE OF POLYOXYMETHYLENE (POM) COPOLYMER COMPOSITE REINFORCED WITH GLASS FIBER 247

THE EFFECT OF SLIDING SPEED ON THE TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF CARBON FIBRE REINFORCED POLYAMIDE 66 COMPOSITE 256

YERALTINI DİNLEMEK: SPAC YÖNTEMİ VE GEOMETRİK DİZİLİMLER 266

BETONARME YAPILARDA GÜÇLÜ KİRİŞ-ZAYIF KOLONLARIN FRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA 276

DETECTION OF INELASTIC REGION FORMATION IN NONLINEAR STRUCTURAL SYSTEMS UNDER EARTHQUAKES 287

RELATION BETWEEN RESPONSE ENERGY DISTRIBUTION AND NONLINEAR STRUCTURAL DAMAGE UNDER EARTHQUAKES 294

UNSTIFFENED FLUSH-TYPE MOMENT CONNECTION DESIGN 303

ŞEKER PANCARI ÜRETİMİNDE YAYGIN YAPRAK HASTALIKLARI: ARTAN BASKI ,VERİM VE ŞEKER KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ 313

TUZLULUK STRESİ ALTINDAKİ MERCİMEKTE HORMONAL PRIMING UYGULAMALARININ FİDE VE KÖK GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ 332

PROLİN VE GLİSİN BETAİN İLE PRIMING UYGULAMALARININ BORÜLCEDE KURŞUN TOKSİSİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ 344

THE AMELIORATIVE EFFECT OF PYCNOGENOL ON ACROLEIN-INDUCED MITOCHONDRIAL MEMBRANE POTENTIAL CHANGES IN HUMAN PANCREATIC CELLS 355

FLUPYRADIFURONE-INDUCED CYTOTOXICITY, OXIDATIVE STRESS, IN HUMAN LUNG CELLS 356

A BASELINE STUDY ON CHARACTERIZATION OF SOME BIOECOLOGICAL PROPERTIES OF *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing 1849 (BACILLARIOPHYCEAE) 357

CHARACTERIZATION OF SOME BIOECOLOGICAL PROPERTIES OF SEA LETTUCE, *Ulva lactuca* L. 1758 (CHLOROPHYTA) 361

ABNORMAL OTOLITH PARADOX: ASSESSING THE INFORMATIONAL INTEGRITY OF CRYSTALLOGRAPHIC DEVIATIONS 369

ZEN GARDENS AS THE SPATIAL REFLECTION OF ZEN PHILOSOPHY AND ART 384

TEA GARDENS AND TEA ART AS AN ELEMENT OF CULTURAL LANDSCAPE 393

TURİZM ROTASI TASARIMINA YÖNELİK ARAŞTIRMALAR: BİBLİYOMETRİK PERSPEKTİF 402

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

EDİRNE TARİHİ KENT MERKEZİNDE DUYUSAL KENTSEL DENEYİM TEMELLİ TURİSTİK ROTA TASARIMI. 412

ÇANAKKALE İLI HAVA KALITESI İZLEME İSTASYONLARINDA 2019–2024 YAZ DÖNEMI KIRLETICILERIN DURUMU VE DEĞIŞIMLERI: MERKEZ, ÇAN, BIGA VE LAPSEKI ÖRNEKLERI..... 427

EARTHQUAKE-RESILIENT HOUSING DESIGN STRATEGIES FOR TABRIZ URBAN FABRIC 440

TRADITIONAL WIND CATCHER SYSTEMS REVITALIZATION IN YAZD SUSTAINABLE NEIGHBORHOODS.. 441

NILE RIVERFRONT REGENERATION PROJECTS FOR CAIRO HISTORIC CORE DISTRICTS 442

CLIMATE-ADAPTIVE ARCHITECTURE FOR ALEXANDRIA COASTAL FLOOD VULNERABILITY 443

PASARGADAE ARCHAEOLOGICAL SITE CONSERVATION THROUGH LANDSCAPE INTEGRATION 444

PERSIAN GARDEN PRINCIPLES APPLICATION IN TEHRAN PUBLIC PARK REVITALIZATION 445

POST-INDUSTRIAL URBAN REGENERATION IN SUMGAIT CHEMICAL PLANT DISTRICTS 446

SEAFRONT PUBLIC SPACE DEVELOPMENT FOR BAKU CASPIAN BOULEVARD EXPANSION..... 447

CLIMATE-RESPONSIVE MASTER PLANNING FOR LENKORAN WETLAND ECOSYSTEMS..... 448

BIOCHEMICAL PATHWAYS OF ANTIOXIDANT SYNTHESIS IN DEAD SEA HALOPHYTE PLANTS UNDER SALINITY STRESS..... 449

CRISPR-CAS9 GENE EDITING FOR ENHANCED RICE BLAST RESISTANCE IN TROPICAL ASIAN VARIETIES 450

SYNTHETIC BIOLOGY APPROACHES TO ENGINEER MICROBIAL BIOSENSORS FOR PATHOGEN DETECTION 451

METABOLIC ENGINEERING OF OLIVE OIL BIOSYNTHESIS PATHWAYS IN TUNISIAN ARID LAND CULTIVARS 452

PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF TUNISIAN ENDOPHYTES FOR HEAVY METAL CONTAMINATED SOILS 453

MICROBIAL ENZYME DISCOVERY FOR CELLULOSIC BIOMASS HYDROLYSIS IN KAZAKH STEPPE ECOSYSTEMS..... 454

HIGH-POWER EFFICIENT DC-DC CONVERTERS FOR NEXT-GENERATION SATELLITE COMMUNICATION MODULES..... 455

FAULT-TOLERANT CONTROL ARCHITECTURES FOR INDUSTRIAL ROBOTIC ACTUATORS USING WIRELESS SENSOR FEEDBACK..... 456

RECONFIGURABLE ANTENNA SYSTEMS FOR 5G-ADVANCED AND BEYOND-5G MOBILE NETWORKS .. 457

VETERINARY PUBLIC HEALTH STRATEGIES FOR CONTROLLING ZOONOTIC RISK IN MARINE FOOD SUPPLY CHAINS..... 458

SUSTAINABILITY AND ANTIBIOTIC RESISTANCE MONITORING IN AQUACULTURE SYSTEMS OF NORTH AFRICAN COASTAL REGIONS 459

CLINICAL PARASITOLOGY AND DIAGNOSTIC CHALLENGES IN FISH AND SHELLFISH HEALTH MANAGEMENT 460

MOLECULAR SURVEILLANCE OF BACTERIAL PATHOGENS IN MARINE ANIMALS AND SEAFOOD PRODUCTION SYSTEMS..... 461

NUTRITIONAL QUALITY, FOOD SAFETY, AND WELFARE INDICATORS IN MALAYSIAN MARINE LIVESTOCK PRODUCTION 462

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

INNOVATIVE DIAGNOSTIC TOOLS FOR VIRAL DISEASE CONTROL IN TROPICAL AQUATIC ANIMAL HEALTH 463

EPIDEMIOLOGY OF SEAFOOD-BORNE DISEASES AND VETERINARY INTERVENTIONS IN SOUTH ASIAN MARKETS 464

ONE HEALTH APPROACHES FOR IMPROVING MARINE ANIMAL BIOSECURITY AND SEAFOOD TRACEABILITY 465

ENERGY-AWARE SIGNAL PROCESSING METHODS FOR LOW-POWER IOT EDGE DEVICES IN SMART CITIES 466

EMBEDDED MACHINE LEARNING CIRCUITS FOR REAL-TIME HEALTH MONITORING WEARABLES 467

DIGITAL POWER MANAGEMENT STRATEGIES FOR HIGH-EFFICIENCY SOLAR INVERTER SYSTEMS..... 468

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENABLED DEFECT DETECTION IN SEMICONDUCTOR MANUFACTURING LINES 469

EVALUATION OF URBAN LAND DEVELOPMENT DIRECTION IN KABUL CITY, AFGHANISTAN 470

INFLUENCE OF PLACE IDENTITY ON WALKABILITY: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN TWO MIXED USED STREETS CHAHARBAGH ST. ISFAHAN, IRAN AND DEREBOYU ST. LEFKOSA, NORTH CYPRUS 471

RENEWED URBAN WATERFRONT: SPATIAL CONDITIONS OF A CONTEMPORARY URBAN SPACE TYPOLOGY 472

URBAN ECOLOGICAL INTERACTION: AIR, WATER, LIGHT AND NEW TRANSIT AT THE HUMAN SCALE OF BARCELONA'S SUPERILLES 473

PERFORMANCE EVALUATION OF A 'PRIORITY-CONTROLLED' INTERSECTION CONVERTED TO SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTION 474

DISCUSSION ABOUT FREQUENT ADJUSTMENT OF URBAN MASTER PLANNING IN CHINA: A CASE STUDY OF CHANGSHOU DISTRICT, CHONGQING CITY 475

HYBRID LIVING: EMERGING OUT OF THE CRISES AND DIVISIONS 476

CORPORATE GOVERNANCE STRUCTURES AND OVERLAPPING DIRECTORATES IN THE CZECH REPUBLIC 477

SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY APPLICATIONS 478

PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS..... 479

INVESTIGATING THE EFFECTS OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG PROPERTIES AND ITS IMPLICATIONS FOR PET IMAGING APPLICATIONS 481

ENDOPHYTES AS A NEW SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS: ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES 483

FROM CONCEPT TO REALITY: THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON MOLDING 484

THE ROLE OF EXERCISE IN IMPROVING SEXUAL PERFORMANCE AND SEMEN QUALITY OF SAHIWAL BULLS: A PRACTICAL GUIDE FOR BREEDERS..... 486

INVESTIGATING THE IMPACT OF DIETARY HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON CARCASS CHARACTERISTICS, IMMUNE RESPONSE, AND ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS 488

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ASYMPTOTIC ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS IN PHYSICAL MODELLING 489
RECENT METHODS IN ALGEBRAIC NUMBER THEORY: APPLICATIONS TO CRYPTOGRAPHY 490
ADVANCES IN MACHINE LEARNING APPROACHES FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION 491
MODELING SPATIOTEMPORAL PHENOMENA WITH PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENVIRONMENTAL SCIENCES 492
STABILITY AND SPECTRAL ANALYSIS OF NONLINEAR OPERATORS IN FUNCTION SPACES 493
FUZZY LOGIC SYSTEMS AND THEIR APPLICATION IN UNCERTAIN REAL-WORLD DATA MODELLING..... 494
SYMMETRY ANALYSIS IN SOLVING COMPLEX SYSTEMS OF NONLINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS ... 495
INNOVATIVE STRATEGIES IN THE SEISMIC DESIGN OF URBAN INFRASTRUCTURE IN YEREVAN 496
DEVELOPMENT OF ECO-FRIENDLY CONCRETE COMPOSITES WITH LOCALLY SOURCED MATERIALS ... 497
Prof. Dr. Arman Hakobyan 497
Dr. Ani Babayan 497
Prof. Dr. Gevorg Arakelyan 497
Assis. Prof. Dr. Sargis Hunanyan 497
INTELLIGENT FLOOD MANAGEMENT SYSTEMS FOR URBAN CENTERS IN LAHORE 499
ADVANCED OPTIMIZATION OF WIND ENERGY INFRASTRUCTURE IN COASTAL PAKISTAN 501
APPLICATION OF NANOMATERIALS IN WATER PURIFICATION SYSTEMS FOR KARACHI 503
SUSTAINABLE DESIGN OF EMBANKMENT DAMS UNDER ARID CLIMATE CONDITIONS 505
PERFORMANCE EVALUATION OF SMART TRAFFIC MANAGEMENT TECHNOLOGIES IN MUSCAT 506
DEVELOPING SOLAR-POWERED MICROGRID SOLUTIONS FOR REMOTE COMMUNITIES IN OMAN 507
DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT INTERNET OF THINGS (IOT) SENSOR NODES FOR SMART AGRICULTURE 509
DEVELOPMENT OF LOW-POWER VLSI ARCHITECTURES FOR AI-ENABLED EDGE COMPUTING DEVICES 510
INTELLIGENT SMART GRID CONTROL USING DEEP LEARNING ALGORITHMS FOR POWER DISTRIBUTION OPTIMIZATION 512
RECONFIGURABLE ANTENNA DESIGN FOR MILLIMETER WAVE 5G COMMUNICATION APPLICATIONS 514
SILICON PHOTONICS INTEGRATED CIRCUITS FOR ULTRA-FAST OPTICAL TELECOM NETWORKS 516
DEVELOPMENT OF GRAPHENE-BASED NANOELECTRONIC DEVICES FOR NEXT-GENERATION SENSORS 518

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

OTOMATİK MODÜLASYON SINIFLANDIRMASI İÇİN HAFİF VE VERİMLİ BİR DERİN ÖĞRENME MODELİ

Umut İNCESU [1], Prof. Dr. Ali KARA [2]

[1]Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü - ASELSAN - 25830601037@gazi.edu.tr - 0000-0003-4302-7759

[2]Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, akara@gazi.edu.tr- 0000-0002-9739-7619

ÖZET

Otomatik Modülasyon Sınıflandırması (AMC), alıcıların önceden bilgi sahibi olmadan sinyal türlerini ayırt etmesini sağlayarak bilişsel radyo, Yazılım Tanımlı Radyo (SDR) ve dinamik spektrum erişim sistemlerinde kritik bir rol oynamaktadır. Son dönemde geliştirilen Derin Öğrenme (DL) modelleri yüksek sınıflandırma doğruluğuna ulaşsa da, genellikle donanım üzerinde uygulanabilirliği zorlaştıran yüksek hesaplama karmaşıklığı dezavantajını beraberinde getirmektedir. Bu sorunun üstesinden gelmek amacıyla, çalışmada Depthwise Separable Convolutions ile Squeeze-and-Excitation (SE) kanal dikkat mekanizmalarını entegre eden yeni ve hafif bir mimari önerilmektedir. Önerilen model, doğruluk ve hesaplama verimliliği arasında optimum bir denge kurarak RML2016.10b veri setinde yalnızca 18.490 parametre (18.010'u eğitilebilir) ve 0,897 MFLOPs ile %65,04 genel doğruluğa ulaşmaktadır. Literatürdeki güncel modellerden CPPCNet ile kıyaslandığında, modelimiz parametre sayısını önemli ölçüde düşürmektedir. Teorik FLOPs değeri CPPCNet'e göre bir miktar yüksek olsa da, mimarimiz karmaşık değerli evrişimlerin neden olduğu donanım optimizasyon darboğazlarını ve işlem gecikmelerini önlemek üzere tamamen gerçek değerli işlemlere dayanacak şekilde tasarlanmıştır. Ayrıca GIGNet, RLITNN, TCN-GRU ve WACN gibi hesaplama açısından yoğun temel modellerle karşılaştırıldığında, önerilen mimari hem hesaplama maliyetlerini (FLOPs) hem de model boyutunu dramatik ölçüde azaltmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Otomatik Modülasyon Sınıflandırma, Derin Öğrenme, Hafif Mimari, Squeeze and Excitation, Depthwise Separable Convolutions.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

A LIGHTWEIGHT AND EFFICIENT DEEP LEARNING MODEL FOR AUTOMATIC MODULATION CLASSIFICATION

Umut İNCESU [1], Prof. Dr. Ali KARA [2]

[1]Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü - ASELSAN - 25830601037@gazi.edu.tr - 0000-0003-4302-7759

[2]Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, akara@gazi.edu.tr- 0000-0002-9739-7619

ABSTRACT

Automatic Modulation Classification (AMC) plays a fundamental role in cognitive radio, Software-Defined Radio (SDR), and dynamic spectrum access systems by enabling receivers to classify modulation types without prior knowledge. While recent Deep Learning (DL) models have achieved high classification accuracy, they often come with the limitation of high computational complexity. To overcome this limitation, we propose a novel lightweight architecture that integrates Depthwise Separable Convolutions with Squeeze-and-Excitation (SE) channel attention mechanisms. This architecture achieves an optimal balance between accuracy and efficiency, achieving an overall accuracy of 65.04% on the RML2016.10b dataset with a total of 18,490 parameters (18,010 trainable) and 0.897 MFLOPs. Compared to the state-of-the-art CPPCNet, our model significantly reduces the parameter count. Although the theoretical FLOPs are slightly higher than CPPCNet, our architecture relies on strictly real-valued operations to avoid the hardware optimization bottlenecks and latency associated with complex-valued convolutions. Furthermore, compared to computationally intensive baselines such as GIGNet, RLITNN, TCN-GRU, and WACN, the proposed design significantly reduces both computational costs (FLOPs) and model size.

Keywords : Automatic Modulation Classification, Deep Learning, Lightweight Architecture, Squeeze and Excitation, Depthwise Separable Convolutions.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. INTRODUCTION

The rapid expansion of wireless networks and spectrum congestion has made Cognitive Radio (CR) essential, with Automatic Modulation Classification (AMC) serving as a key enabler for dynamic spectrum access. While Deep Learning (DL) has largely superseded traditional likelihood and feature-based methods by effectively learning from raw I/Q data, current state-of-the-art DL models often achieve marginal accuracy gains at the expense of heavy computational overhead. This high parameter count and processing load creates a significant bottleneck for deploying AMC on resource-constrained edge devices. To address this critical gap, we propose a novel architecture specifically designed to achieve an optimal balance between high classification accuracy and computational efficiency.

2. EXPERIMENTAL STUDY

We introduce the Squeeze-and-Excitation Depthwise Separable CNN, a lightweight architecture engineered to maximize parameter efficiency. Foregoing the excessive depth of traditional networks, our model employs a highly compact four-block pipeline. By integrating real-valued depthwise separable convolutions with Squeeze-and-Excitation (SE) mechanisms, the design achieves robust spatial feature extraction and channel-wise attention while maintaining a strictly limited parameter footprint.

The proposed model was evaluated using the RadioML2016.10b benchmark dataset, which comprises 1.2 million I/Q signal samples uniformly distributed across 10 analog and digital modulation schemes. The dataset simulates realistic channel impairments over an SNR range of -20 dB to +18 dB in 2 dB increments. To accommodate the network's channel-last convention, the raw 2 x 128 signal sequences are explicitly transposed to a (128, 2) input shape prior to processing.

The network processes transposed (128, 2) I/Q signals to comply with the channel-last convention. Low-level feature extraction is performed by an initial 1D convolutional layer (32 filters, kernel size 9). The core architecture then utilizes three cascaded depthwise separable blocks to progressively expand the feature space, employing 48, 64, and 96 filters with kernel sizes of 9, 7, and 7, respectively. To optimize representational power while strictly maintaining the overall model complexity within the 15,000 to 45,000 parameter range, a Squeeze-and-Excitation (SE) module is seamlessly integrated into each block immediately prior to pooling or final classification.

3. CONCLUSION

In this study, we proposed a novel, lightweight deep learning architecture that addresses the computational bottlenecks of Automatic Modulation Classification (AMC) for resource-constrained edge devices. By effectively integrating depthwise separable convolutions with Squeeze-and-Excitation attention, the model delivers robust classification performance while operating strictly within a highly efficient budget of 18,490 parameters and 0.897 MFLOPs. Although the proposed network demonstrates significant computational advantages over

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

traditional deep models, challenges remain in distinguishing spectrally similar analog schemes (e.g., WBFM and AM-DSB) in low-SNR regimes, alongside minor misclassifications among high-order digital modulations. Future research will explore advanced model compression strategies, such as quantization and knowledge distillation, to close the remaining accuracy gap with heavier baseline models without compromising deployment efficiency.

REFERENCES

[1] O'Shea, T. J., & West, N. E. (2016). Radio machine learning dataset generation with GNU Radio. Proceedings of the GNU Radio Conference, 1(1).

[2] O'Shea, T. J., Corgan, J., & Clancy, T. C. (2016). Convolutional radio modulation recognition networks. In Engineering applications of neural networks (pp. 213–226). Springer International Publishing.

[3] Xin, G., Cai, Z., Lou, Y., & Wang, C. (2025). CPPCNet: High-performance and low-complexity automatic modulation classification for resource-limited IoT communication. IEEE Internet of Things Journal, 12(20), 43842–43854.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

GÖRSEL İLETİŞİM TASARIMINDA ARTIRILMIŞ GERÇEKLİK (AR) ENTEGRASYONU: KULLANICI DENEYİMİ (UX) ÜZERİNE BİR İNCELEME

Öğr. Gör. Ebubekir KOÇAK

İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Bilişim Teknolojileri MYO, ebubekirkocak@esenyurt.edu.tr

ORCID ID: 0009-0003-8862-2452

ÖZET

Dijital teknolojilerin ivme kazanan gelişimi, geleneksel görsel iletişim tasarımı disiplinini önemli bir dönüşüme uğratarak statik yüzeylerin ötesinde, etkileşimli ve mekânsal bir boyuta taşımıştır. Bu teknolojik dönüşümün en dikkat çekici sonuçlarından biri olan Artırılmış Gerçeklik (AR), dijital verilerin fiziksel dünya ile eş zamanlı ve katmanlı bir biçimde birleşmesini sağlayarak kullanıcıya hibrit bir gerçeklik algısı sunmaktadır. Bu çalışma, artırılmış gerçeklik teknolojisinin görsel iletişim tasarımı süreçlerine entegrasyon biçimlerini ve bu yeni tasarım dilinin Kullanıcı Deneyimi (UX) parametreleri üzerindeki etkilerini incelemeyi hedeflemektedir.

Araştırmanın amacı, 2B düzlemden 3B mekânsal düzleme geçen tasarım öğelerinin, kullanıcı algısı ve etkileşim kalitesi üzerindeki rolünü geniş bir çerçevede tanımlamaktır. Bu doğrultuda çalışma, artırılmış gerçeklik ekosisteminde tipografi, renk, hiyerarşi ve form gibi temel tasarım prensiplerinin nasıl yeniden yapılandırıldığını sorgulamaktadır. Araştırmanın kapsamı, mobil cihazlar ve giyilebilir teknolojiler aracılığıyla deneyimlenen AR uygulamaları ile sınırlandırılmıştır.

Araştırmanın yöntemi, nitel araştırmaya uygun olarak kurgulanmıştır. Bu bağlamda, konuyla ilgili güncel uluslararası literatür taranmış ve seçilen örnek üzerinden bir analiz gerçekleştirilmiştir. Tasarımın kullanıcı üzerindeki bilişsel yükü, erişilebilirlik standartları ve görsel tutarlılık ilkeleri, belirlenen örnekler üzerinden "kullanılabilirlik" kriterlerine göre değerlendirilmiştir. Bulgular, artırılmış gerçeklik entegrasyonunun başarılı olabilmesi için tasarımcının sadece estetik kaygılarla değil, aynı zamanda derinlik algısı, ışık uyumu ve fiziksel çevre etkileşimi gibi teknik değişkenlerle de hareket etmesi gerektiğini göstermektedir. Geleneksel arayüz tasarımlarında kullanılan statik hiyerarşinin yerini, artırılmış gerçeklik ortamında kullanıcının bakış açısına ve hareketine göre şekillenen dinamik bir yönlendirme sistemine bıraktığı saptanmıştır. Özellikle bilişsel yükün dengelenmesi adına, bilginin mekânsal olarak parçalara ayrılmasının kullanıcı deneyimini olumlu yönde etkilediği görülmüştür.

Sonuç olarak, görsel iletişim tasarımcısının rolü, statik içerik üreticiliğinden deneyim odaklı tasarıma doğru evrilmektedir. Artırılmış gerçeklik teknolojisi, görsel mesajın izlenmesinin yanı sıra; yaşanmasını ve deneyimlenmesini mümkün kılarak iletişimde yeni bir dönem başlatmıştır. Başarılı bir UX stratejisi için tasarımcıların, fiziksel dünya ile dijital katman arasındaki sınırı şeffaflaştıran, sezgisel ve mekânsal farkındalığı yüksek tasarımlar geliştirmeleri önerilmektedir. Çalışma, gelecekteki karma gerçeklik (MR) çalışmaları için kuramsal bir zemin hazırlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler : Artırılmış Gerçeklik (AR), Görsel İletişim Tasarımı, Kullanıcı Deneyimi (UX), Etkileşim Tasarımı, Dijital Dönüşüm.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

VERİ GÖRSELLEŞTİRMESİNDE YAPAY ZEKA DESTEKLİ 3B İNFOGRAFİK MODELLERİN KULLANIMI

Öğr. Gör. Ebubekir KOÇAK

İstanbul Esenyurt Üniversitesi, Bilişim Teknolojileri MYO, ebubekirkocak@esenyurt.edu.tr

ORCID ID: 0009-0003-8862-2452

ÖZET

Dijital bilgi çağında, veri setlerinin devasa boyutlara ulaşması ve karmaşıklaşması, bu verilerin anlaşılabilir kılınması sürecini görsel iletişim tasarımının en önemli odak noktalarından biri haline getirmiştir. Geleneksel iki boyutlu infografik yöntemleri, verinin çok katmanlı yapısını ve derinliğini sunmakta zaman zaman yetersiz kalmaktadır. Bu bağlamda, yapay zeka ve üç boyutlu tasarım teknolojilerinin bir araya gelmesi, veri görselleştirme disiplininde yeni bir bakış açısına zemin hazırlamıştır. Bu çalışma, yapay zeka destekli 3B infografik modellerinin bilgi tasarımı süreçlerindeki rolünü, estetik ve fonksiyonel kriterler çerçevesinde kaspamlı bir biçimde incelemeyi hedeflemektedir.

Araştırmanın amacı, soyut ve sayısal verilerin yapay zeka algoritmaları aracılığıyla somut 3B formlara dönüştürülme mekanizmalarını analiz etmek ve bu yenilikçi modellerin kullanıcı algısı üzerindeki bilişsel etkilerini belirlemektir. Çalışma, verinin statik bir grafik olmanın ötesine geçerek, mekânsal bir deneyim unsuru olarak nasıl kurgulanabileceğini akademik bir dille tartışmaktadır. Araştırmanın kapsamı, son yıllarda küresel ölçekte geliştirilen yapay zeka tabanlı veri görselleştirme araçları ve bu araçlar kullanılarak üretilen interaktif 3B infografik projeleri ile sınırlandırılmıştır. Özellikle dinamik veri akışlarının 3B nesnelere dönüştürüldüğü örnekler çalışmanın temel inceleme alanı olarak seçilmiştir.

Araştırmanın yöntemi, nitel araştırma tekniklerinden literatür taraması ve görsel içerik analizi üzerine temellendirilmiştir. Literatür taraması aşamasında, Gestalt algı kuramları ve Edward Tufte gibi kuramcıların bilgi görselleştirme prensipleri referans alınarak, yapay zekanın tasarımcı kararları üzerindeki etkisi sorgulanmıştır. Seçilen örnek projeler; "okunabilirlik", "etkileşim düzeyi", "verimlilik" ve "görsel tutarlılık" gibi temel tasarım parametrelerine göre analize tabi tutulmuştur.

Bulgular, yapay zekanın veri setlerindeki örüntüleri ve ilişkileri geleneksel yöntemlerden çok daha hızlı analiz ederek, tasarımcıya karmaşık 3B formlar için sayısal bir temel sunduğunu göstermektedir. 3B infografik modellerinin, veriye perspektif kazandırarak kullanıcının odaklanma süresini artırdığı ve bilginin zihinde kalıcılığını güçlendirdiği saptanmıştır. Ayrıca, yapay zekanın veri ile geometrik form arasındaki bağı iyileştirerek tasarımda hata payını azalttığı ve estetik bir bütünlük sağladığı gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, veri görselleştirmede 3B ve yapay zeka entegrasyonu, bilgi tasarımını pasif bir izleme eyleminden aktif bir keşif sürecine dönüştürmektedir. Tasarımcıların birer grafik operatörü ve veriyi mekânsal olarak kurgulayan birer bilgi mimarı gibi hareket etmeleri gerektiği anlaşılmaktadır. Çalışma, geleceğin interaktif veri arayüzleri ve sanal gerçeklik tabanlı bilgi ortamları için kuramsal bir kaynak niteliği taşımaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Anahtar Kelimeler : Veri Görselleştirme, Yapay Zeka, 3B İnfografik, Bilgi Tasarımı, Görsel İletişim Tasarımı.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

KONTRASTLI BT GÖRÜNTÜLERİNDE DICOM-SEG REHBERLİ SEGMENTASYON VE AÇIKLANABİLİR MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE GEOMETRİK ÖZELLİK TABANLI BÖBREK TÜMÖRÜ ANALİZİ

Öğr. Gör. Abdulaziz CEYLAN[1], Dr. Öğr. Üyesi Kadir Sercan BAYRAM[2]

[1] Adıyaman Üniversitesi Besni Ali Erdemoğlu MYO

aceylan@adiyaman.edu.tr 0000-0001-5549-6785

[2] Hasan Kalyoncu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi

sercan.bayram@hku.edu.tr 0000-0002-8461-2308

ÖZET

Böbrek tümörü analizi, erken tanı, tedavi planlaması ve görüntü temelli nicel değerlendirme süreçleri açısından yüksek klinik öneme sahiptir. Kontrastlı bilgisayarlı tomografi (BT), renal kitlelerin incelenmesinde en yaygın kullanılan görüntüleme modelistlerinden biridir. Bununla birlikte mevcut yapay zekâ tabanlı yaklaşımların önemli bir bölümü yüksek performans sağlasabile klinik yorumlanabilirlik bakımından sınırlılıklar taşımaktadır.

Bu çalışmada, DICOM BT serileri ve DICOM segmentasyon nesneleri temelinde geliştirilen, tekrar üretilebilir ve açıklanabilir bir geometrik özellik tabanlı böbrek tümörü analiz çerçevesi sunulmaktadır. Önerilen iş akısında DICOM dilimleri kullanılarak üç boyutlu BT hacmi yeniden oluşturulmuş, DICOM-SEG nütasyonlarından böbrek ve tümör maskeleri elde edilmiş, böbrek ilgi bölgesi içinde aday segmentasyon uygulanmış ve bağlı bileşenler üzerinden alan, çevre, eksantriklik, majör/minör eksen uzunlukları, uzama oranı, dairesellik ve kompaktla gibi geometrik tanımlayıcılar hesaplanmıştır.

Elde edilen özellikler yardımıyla Random Forest tabanlı açıklanabilir bir makine öğrenmesi modeli kurulmuştur. İlk 10 vaka üzerinde yapılan deneylerde test kümesinde %97.46 doğruluk ve %96.05 dengeli doğruluk elde edilmiştir. Bulgular, geometrik şekil tanımlayıcılarının tümör bileşenleri ile tümör dışı aday yapıların ayrımında güçlü ve yorumlanabilir biyobelirteçler sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Böbrek Tümörü, Bilgisayarlı Tomografi, Geometrik Özellikler, Şekil Analizi, DICOM-SEG, Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

STATISTICAL ANOMALY DETECTION IN DNA SEQUENCES

Prof. Dr. ÇAĞIN KANDEMİR ÇAVAŞ[1]

[1] Dokuz Eylül University, Faculty of Science, cagin.kandemir@deu.edu.tr - 0000-0003-2241-3546

ABSTRACT

Alignment-free methods have become increasingly important in computational genomics due to their efficiency and scalability in analyzing large biological sequence datasets. In particular, anomaly detection in DNA sequences plays a crucial role in identifying structural variations, mutations, and biologically irregular patterns. However, many existing approaches rely on high-dimensional k-mer representations, which introduce computational complexity, sparsity, and reduced interpretability. In this study, we propose a lightweight statistical anomaly detection framework for DNA sequences based on compact and biologically meaningful descriptors. Instead of k-mer frequency vectors, each DNA sequence is represented using a low-dimensional feature set including GC-content, Shannon entropy, CpG motif ratio, and sequence complexity. These features capture both compositional and structural properties of nucleotide sequences while maintaining computational efficiency. A hybrid anomaly scoring mechanism is introduced by combining centroid-based distance and k-nearest neighbor distance measures. This approach enables the model to capture both global deviations from the dataset distribution and local neighborhood inconsistencies. For classification, a robust thresholding strategy based on the median and standard deviation of anomaly scores is applied, ensuring stability against outliers and score fluctuations. The proposed framework is evaluated on a synthetic dataset composed of normal and anomalous DNA sequences with controlled nucleotide distributions. Experimental results demonstrate strong performance, achieving an accuracy of 0.914, precision of 0.769, recall of 1.000, and F1-score of 0.870. These results indicate that the model is highly sensitive to anomalous patterns while maintaining competitive precision. Overall, the findings suggest that compact statistical representations provide an effective alternative to traditional high-dimensional k-mer-based approaches, offering improved interpretability, reduced computational cost, and stable detection performance.

Keywords : Anomaly detection, Bioinformatics, DNA sequence analysis, statistical feature representation, hybrid distance-based modeling.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. INTRODUCTION

DNA sequence analysis is central to modern bioinformatics, enabling the identification of genetic variations, regulatory elements, and evolutionary relationships. Traditional sequence comparison methods such as BLAST rely on alignment-based strategies that are computationally expensive, especially when dealing with large genomic datasets [1]. As sequencing technologies continue to advance, generating vast amounts of biological data, the need for scalable and efficient computational approaches has become increasingly critical.

Alignment-free methods have emerged as powerful alternatives by transforming biological sequences into numerical representations that can be processed more efficiently [2]. These methods often rely on statistical descriptors such as k-mer frequencies or compositional features, allowing faster comparison without explicit alignment. However, high-dimensional representations may introduce sparsity and reduce interpretability, motivating the exploration of more compact feature sets [3].

Anomaly detection in DNA sequences is particularly important for identifying rare mutations, sequencing artifacts, and unusual genomic patterns. Previous studies have explored probabilistic and machine learning-based approaches for anomaly detection, emphasizing the importance of both global and local data structures [4]. In this context, we propose a lightweight and interpretable anomaly detection framework that integrates statistical feature extraction with hybrid scoring techniques. The primary objective is to achieve reliable detection performance while maintaining low computational complexity

2. METHODS AND MATERIALS

2.1. Synthetic Data Generation

To evaluate the proposed framework, a synthetic dataset was generated using the nucleotide alphabet {A, T, G, C}. Synthetic data generation is widely used in computational biology to validate algorithmic performance under controlled conditions [5]. In this study, normal sequences were generated using a uniform nucleotide distribution, ensuring equal probability for each base.

In contrast, anomalous sequences were designed to exhibit biased nucleotide distributions, particularly with increased GC content. This design simulates biologically relevant irregularities, as GC-rich regions are often associated with specific genomic features. A total of 140 sequences were generated, consisting of 100 normal and 40 anomalous sequences, each with a fixed length of 100 nucleotides.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.2. Feature Extraction

Each DNA sequence was transformed into a numerical feature vector using a set of compact and biologically meaningful descriptors. These features were selected to capture both global composition and local structural patterns.

GC content was calculated as the proportion of guanine and cytosine nucleotides, providing a measure of compositional bias. Shannon entropy was used to quantify sequence complexity and randomness, based on principles from information theory [6]. CpG frequency was included to capture the occurrence of biologically significant dinucleotide patterns, which are often linked to gene regulation.

In addition, dinucleotide composition was computed by evaluating the normalized frequencies of all 16 possible nucleotide pairs. This representation captures local dependencies within the sequence and has been widely used in alignment-free sequence analysis [2].

To ensure numerical robustness, special care was taken to handle edge cases. Zero-probability values were stabilized using small constants, and invalid computations were avoided through safe processing strategies. This ensures that the feature extraction pipeline remains stable across diverse sequence inputs.

2.3 Feature Alignment and Normalization

Due to conditional feature extraction, some feature vectors may vary in length. To address this issue, all feature vectors were aligned to a fixed length using zero-padding. This step ensures compatibility with downstream machine learning techniques.

Following alignment, normalization was applied to standardize feature values and eliminate scale differences. This step is essential for improving numerical stability and ensuring that no single feature dominates the analysis.

2.4 Dimensionality Reduction

Principal Component Analysis (PCA) was employed to reduce the dimensionality of the feature space while preserving the most informative components. PCA is a widely used technique for transforming high-dimensional data into a lower-dimensional representation by maximizing variance [7].

By retaining the first five principal components, the model achieves a balance between dimensionality reduction and information preservation. This transformation also enhances separability between normal and anomalous samples, facilitating more effective anomaly detection.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.5 Anomaly Scoring

The anomaly detection process is based on a hybrid scoring mechanism that combines global and local perspectives. The centroid distance measures the deviation of each sample from the global mean of the dataset, capturing overall distributional differences.

In parallel, the k-nearest neighbor (kNN) score evaluates the local density around each sample by computing the average distance to its nearest neighbors. This approach is consistent with density-based anomaly detection methods, which have been shown to be effective in identifying outliers [8].

By combining these two measures, the final anomaly score captures both global deviation and local isolation as in Eq. (1),

$$Score=0.5\times Distance+0.5\times kNNScore \quad (1)$$

2.6 Thresholding

As in Eq. (2), a robust statistical threshold was defined using the median and standard deviation of the anomaly scores. This approach avoids reliance on ROC curve analysis and is particularly suitable for unsupervised settings where labeled data may be limited.

$$Threshold=median+0.5\times stdThreshold \quad (2)$$

Samples exceeding this threshold were classified as anomalies.

2.7. Evaluation Metrics

Model performance was evaluated using standard classification metrics, including accuracy, precision, recall, and F1-score. These metrics provide a comprehensive assessment of detection performance, particularly in imbalanced datasets [9].

3. RESULTS

3.1. Anomaly Score Distribution

The anomaly score distribution demonstrates a clear separation between normal and anomalous samples. Most anomalous sequences exhibit significantly higher scores compared to normal sequences, indicating that the proposed scoring mechanism effectively captures deviations in sequence composition. The selected threshold successfully partitions the dataset with minimal overlap between classes as shown in Figure 1.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

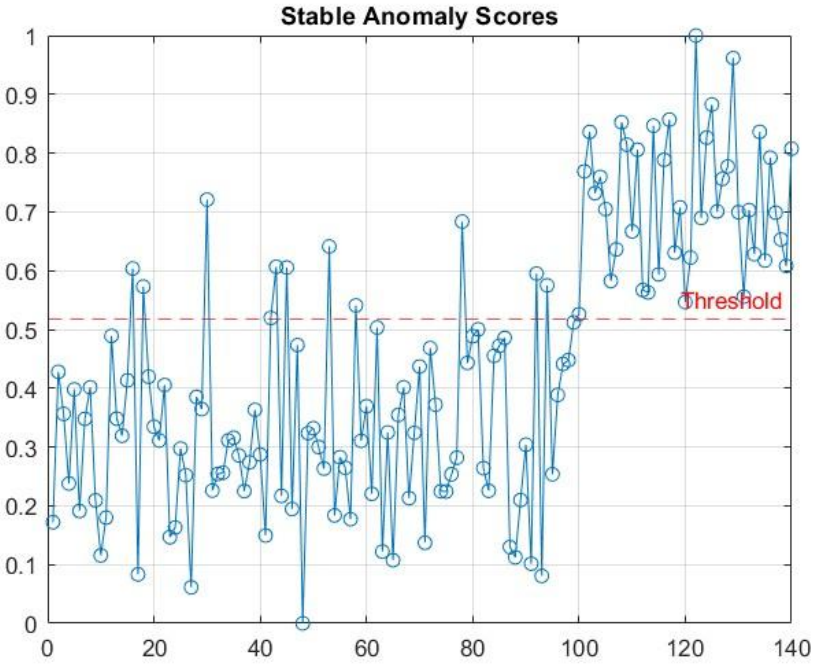


Figure 1. Anomaly score distribution

3.2. PCA Visualization

The PCA-based visualization as shown in Figure 2 reveals distinct clustering patterns, where anomalous samples tend to occupy separate regions in the reduced feature space. This observation confirms that the extracted features, combined with dimensionality reduction, provide meaningful discrimination between normal and anomalous sequences [7].

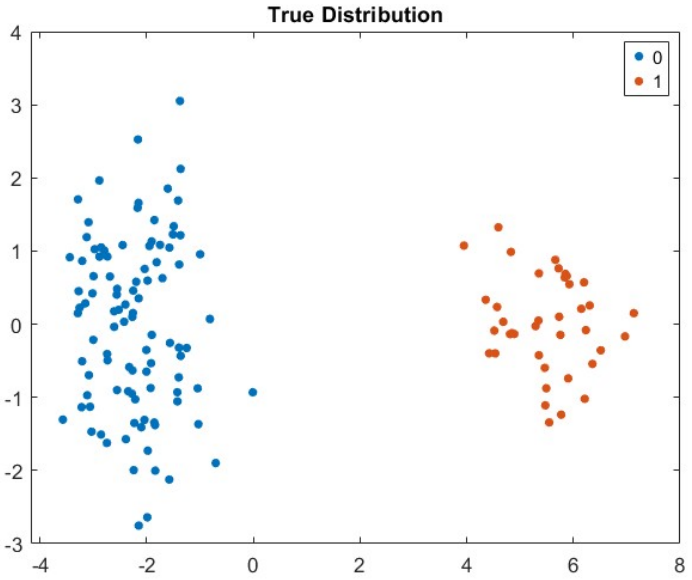


Figure 2. PCA Visualization of the true distribution of the normal and anomalous sequences.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

The predicted anomaly labels closely align with the ground truth distribution as illustrated in Figure 3. The model successfully identifies the majority of anomalous samples, with only a small number of normal sequences misclassified as anomalies. This indicates a slight tendency toward false positives but strong detection capability overall.

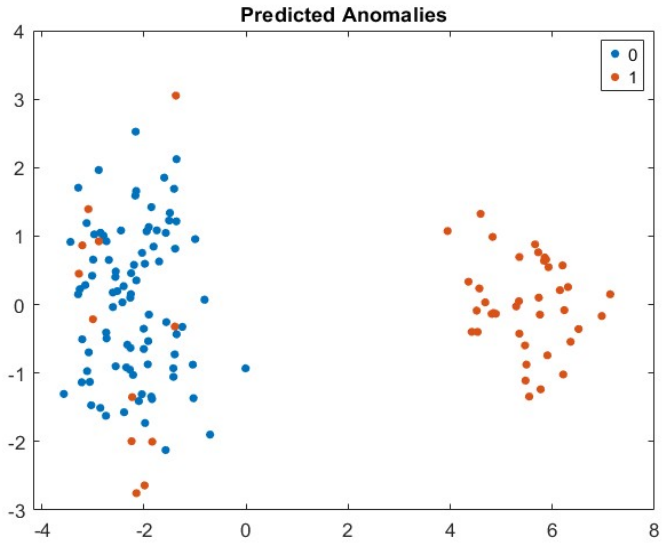


Figure 3. PCA Visualization of the predicted anomaly labels

3.3. Performance Results

The quantitative evaluation results confirm the effectiveness of the proposed framework. Experimental results demonstrate strong performance, achieving an accuracy of 0.914, precision of 0.769, recall of 1.000, and F1-score of 0.870. The perfect recall indicates that all anomalous sequences were correctly identified, which is particularly important in anomaly detection tasks where missing anomalies can have critical consequences.

The slightly lower precision suggests the presence of some false positives, meaning that a subset of normal sequences was incorrectly classified as anomalous. However, this trade-off is often acceptable in anomaly detection scenarios, where detecting all anomalies is prioritized over minimizing false alarms.

Overall, the results indicate that the hybrid scoring mechanism effectively balances global and local information, leading to robust anomaly detection performance consistent with established methods in the literature [8].

4. DISCUSSION

The experimental results demonstrate that the proposed anomaly detection framework achieves a strong balance between detection capability and computational efficiency. In particular, the

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

model achieved an accuracy of 0.914 and an F1-score of 0.870, indicating overall robust classification performance. More importantly, the recall value reached 1.000, meaning that all anomalous sequences in the dataset were successfully detected. This is a critical outcome in anomaly detection problems, where failing to identify anomalous instances may lead to significant downstream consequences, especially in genomic analysis and mutation detection.

The slightly lower precision value (0.769) indicates the presence of false positives, where some normal sequences were incorrectly classified as anomalous. However, this trade-off is consistent with the general behavior of anomaly detection systems, which are often designed to prioritize sensitivity (recall) over specificity. In many real-world bioinformatics applications, it is preferable to flag potentially suspicious sequences for further analysis rather than risk missing true anomalies. This observation aligns with established findings in anomaly detection literature, where high recall is often emphasized as a primary objective [4], [8].

One of the key strengths of the proposed approach lies in its use of compact and interpretable statistical features. Unlike high-dimensional k-mer based methods, which may suffer from sparsity and increased computational burden, the selected features (GC content, entropy, CpG frequency, and dinucleotide composition) provide meaningful biological insights while maintaining low dimensionality. This supports previous studies demonstrating that alignment-free methods can achieve competitive performance using carefully selected compositional descriptors [2], [12].

The use of Shannon entropy as a feature contributes significantly to capturing sequence complexity and variability. From an information-theoretic perspective, entropy reflects the uncertainty within nucleotide distributions, enabling the model to distinguish between structured and irregular sequences [6], [13]. Additionally, PCA plays a crucial role in enhancing feature representation by reducing redundancy and projecting the data into a lower-dimensional space where class separability is improved [7].

Another important contribution of this study is the hybrid anomaly scoring mechanism, which integrates both global and local perspectives. The centroid-based component captures overall deviation from the dataset distribution, while the k-nearest neighbor component evaluates local density structure. This dual approach improves robustness and aligns with established density-based anomaly detection methods such as LOF and distance-based outlier detection [10], [11]. The effectiveness of this strategy is reflected in the high recall and balanced F1-score observed in the results.

REFERENCES

[1] Altschul, S. F., Gish, W., Miller, W., Myers, E. W., & Lipman, D. J. (1990). Basic local alignment search tool. *Journal of molecular biology*, *215*(3), 403-410.

[2] Leslie, C., Eskin, E., & Noble, W. S. (2001). The spectrum kernel: A string kernel for SVM protein classification. In *Biocomputing 2002* (pp. 564-575).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[3] Reinert, G., Chew, D., Sun, F., & Waterman, M. S. (2009). Alignment-free sequence comparison (I): statistics and power. *Journal of Computational Biology*, *16*(12), 1615-1634.

[4] Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. *ACM computing surveys (CSUR)*, *41*(3), 1-58.

[5] Li, W., & Godzik, A. (2006). Cd-hit: a fast program for clustering and comparing large sets of protein or nucleotide sequences. Bioinformatics, 22(13), 1658-1659.

[6] Cover, T. M. (1999). Elements of information theory. John Wiley & Sons.

[7] Jolliffe, I. T. (2002). Principal component analysis, 2nd Springer-Verlag. New York, NY doi, 10, b98835.

[8] Eskin, E. (2000). Anomaly detection over noisy data using learned probability distributions.

[9] Powers, D. M. (2020). Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation. arXiv preprint arXiv:2010.16061.

[10] Ramaswamy, S., Rastogi, R., & Shim, K. (2000, May). Efficient algorithms for mining outliers from large data sets. In Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD international conference on Management of data (pp. 427-438).

[11] Breunig, M. M., Kriegel, H. P., Ng, R. T., & Sander, J. (2000, May). LOF: identifying density-based local outliers. In Proceedings of the 2000 ACM SIGMOD international conference on Management of data (pp. 93-104).

[12] Bohnsack, K. S., Kaden, M., Abel, J., & Villmann, T. (2022). Alignment-free sequence comparison: A systematic survey from a machine learning perspective. IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics, 20(1), 119-135.

[13] Lin, J. (2002). Divergence measures based on the Shannon entropy. IEEE Transactions on Information theory, 37(1), 145-151.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ALIGNMENT-FREE GENOMIC CLUSTERING USING K-MER DESCRIPTORS

Prof. Dr. ÇAĞIN KANDEMİR ÇAVAŞ[1]

[1] Dokuz Eylül University, Faculty of Science, cagin.kandemir@deu.edu.tr - 0000-0003-2241-3546

ABSTRACT

Alignment-free approaches have become increasingly important in bioinformatics due to their scalability and efficiency in analyzing large genomic datasets. In this study, a computational framework is proposed for clustering DNA sequences using k-mer frequency representations. A synthetic dataset consisting of DNA sequences is generated to evaluate the proposed pipeline under controlled experimental conditions and to ensure reproducibility. Each sequence is transformed into a numerical feature vector based on k-mer composition, where k is set to 3, resulting in 64 possible k-mer patterns. The resulting feature vectors are normalized to eliminate biases caused by sequence length variations. Principal Component Analysis is applied to reduce the dimensionality of the high-dimensional feature space and to facilitate visualization of underlying data structure. Unsupervised clustering is performed using k-means and hierarchical clustering with Ward's linkage criterion. The clustering performance is evaluated using silhouette analysis, which quantifies intra-cluster cohesion and inter-cluster separation. Experimental results show that k-mer–based representations capture meaningful DNA sequence patterns, yielding moderate clustering performance with silhouette values around 0.4–0.8 and an average of ~0.5. PCA-based visualizations further reveal partially separable cluster structures, although overlap exists between some groups due to the synthetic nature of the dataset. These findings indicate that alignment-free sequence representations combined with unsupervised learning methods provide an effective and scalable approach for genomic data analysis. The proposed framework is computationally efficient, reproducible, and easily extendable to larger datasets and different k values. Future work will focus on applying the method to real biological sequences and improving biological interpretability in practical genomics applications.

Keywords: Bioinformatics, clustering methods, genomic data mining, k-mer analysis, PCA.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. INTRODUCTION

DNA sequence analysis plays a fundamental role in understanding biological systems, evolutionary relationships, and functional genomics. Traditional sequence comparison approaches, such as alignment-based methods, rely on dynamic programming algorithms and are widely used in bioinformatics. However, these methods are computationally expensive and often become inefficient when applied to large-scale genomic datasets [1].

To address these limitations, alignment-free methods have emerged as a powerful alternative. These approaches bypass the need for sequence alignment and instead focus on extracting statistical or compositional features from biological sequences. Among alignment-free techniques, k-mer based representations have gained significant attention due to their simplicity, computational efficiency, and scalability [2].

The k-mer approach involves decomposing DNA sequences into substrings of length k and analyzing their frequency distributions. These frequency vectors provide a compact numerical representation of sequences and have been successfully applied in various bioinformatics tasks, including phylogenetic analysis, genome classification, and clustering [3].

Recent studies have demonstrated that k-mer frequency profiles can effectively capture sequence similarities and biological patterns, even in the absence of alignment. Furthermore, when combined with machine learning techniques such as clustering and dimensionality reduction, these representations enable efficient exploration of large biological datasets [4].

Principal Component Analysis (PCA) is commonly used to reduce the dimensionality of high-dimensional k-mer feature spaces, facilitating visualization and interpretation of clustering structures [5]. Clustering algorithms such as k-means and hierarchical clustering are then applied to group sequences based on similarity patterns.

In this study, we propose a MATLAB-based pipeline for clustering DNA sequences using k-mer frequency vectors. Unlike many existing studies that rely on real biological datasets, this work utilizes a synthetic dataset to validate the computational workflow in a controlled environment. The aim is to demonstrate the effectiveness of alignment-free methods and provide a reproducible framework that can be extended to real-world genomic data.

2. MATERIALS AND METHODS

A synthetic DNA dataset consisting of 30 sequences was generated to validate the proposed computational framework. Each DNA sequence was converted into a numerical vector using k-mer frequency representation (k=3). Feature vectors were normalized, and PCA was applied for dimensionality reduction. Clustering was performed using k-means and hierarchical clustering.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.1. Dataset

A synthetic DNA dataset consisting of 30 sequences was generated to validate the proposed computational framework. The dataset includes three distinct groups, each representing a different class structure. Each sequence has an approximate length of 800 base pairs and is composed of randomly generated nucleotide characters (A, C, G, T).

Although synthetic datasets do not fully capture the complexity of biological systems, they are widely used in methodological studies to evaluate algorithmic performance under controlled conditions [6]. This approach allows for reproducibility and eliminates potential biases arising from biological noise.

2.2. k-mer Based Feature Extraction

Each DNA sequence was transformed into a numerical feature vector using the k-mer frequency approach. A k-mer is defined as a substring of length *k* extracted from a biological sequence. In this study, k was set to 3, resulting in 4^3=64 possible k-mer combinations.

For each sequence, a sliding window of length *k* was applied to extract all possible k-mers, and their occurrences were counted. The resulting frequency vector represents the compositional structure of the sequence.

The k-mer approach has been shown to be effective in capturing sequence similarity without requiring alignment, making it suitable for large-scale genomic analysis [2][3].

2.3 Feature Normalization

To eliminate biases caused by sequence length differences, each k-mer frequency vector was normalized by dividing by the total number of k-mers in the sequence. This ensures that all feature vectors are comparable across samples.

Normalization is a standard preprocessing step in machine learning pipelines and is essential for improving clustering performance and stability [7].

2.4 Dimensionality Reduction

Given the high dimensionality of k-mer feature space, Principal Component Analysis (PCA) was applied to reduce the data into a lower-dimensional space. PCA transforms the original variables into a new set of orthogonal components that maximize variance [5].

In this study, the first three principal components were used for visualization and clustering purposes. This step not only reduces computational complexity but also enhances interpretability.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.5 Clustering Methods

Two unsupervised clustering techniques were applied to group DNA sequences based on similarity:

2.5.1. k-means Clustering

k-means is a partition-based clustering algorithm that assigns data points to *k* clusters by minimizing within-cluster variance. The algorithm iteratively updates cluster centroids until convergence [8].

2.5.2. Hierarchical Clustering

Hierarchical clustering was performed using Ward's linkage method, which minimizes the variance between clusters. The results were visualized using dendrograms, providing insight into hierarchical relationships among sequences [9].

2.6. Evaluation Metrics

Clustering performance was evaluated using the silhouette score, which measures how similar a data point is to its own cluster compared to other clusters. The silhouette value ranges from -1 to 1, where higher values indicate better clustering quality [10].

Additionally, PCA-based visualizations were used to qualitatively assess cluster separation.

3. RESULTS

The proposed k-mer based clustering framework was evaluated using dimensionality reduction and unsupervised learning techniques. The results were analyzed through Principal Component Analysis (PCA) visualizations and silhouette-based cluster validation.

PCA was applied to the normalized k-mer feature matrix to reduce dimensionality and visualize clustering patterns. The first three principal components captured a substantial portion of the variance in the dataset, enabling meaningful low-dimensional representation.
In Figure 1, the two-dimensional PCA projection shows that the sequences form three distinguishable clusters. However, partial overlap between clusters is observed, particularly between two of the groups. This indicates that while the k-mer representation captures underlying structure, the separation is not perfectly distinct.

.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

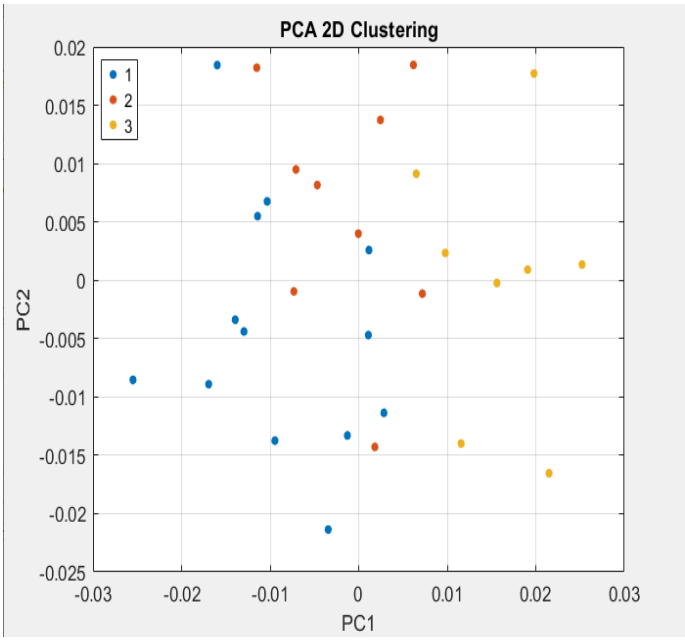


Figure 1. PCA 2D projection of clusters

In the three-dimensional PCA visualization, cluster separation becomes more apparent as shown in Figure 2. One cluster appears more compact and clearly isolated, while the remaining clusters show moderate dispersion and partial intersection. This suggests that higher-dimensional representations preserve additional discriminatory information that is not fully visible in 2D space.

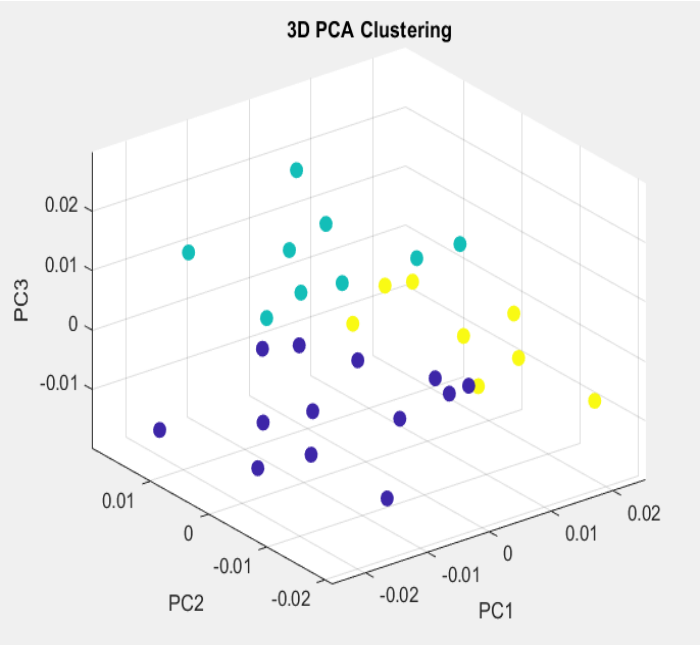


Figure 2. 3D PCA projection of clusters

Overall, PCA results confirm that k-mer frequency vectors are capable of capturing compositional similarities among DNA sequences, even in a synthetic dataset.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Clustering was performed using the k-means algorithm with k=3k = 3k=3, corresponding to the known number of groups in the dataset. The clustering results were consistent with PCA observations, where one cluster showed strong internal cohesion, while others exhibited partial overlap as illustrated in Figure 3.

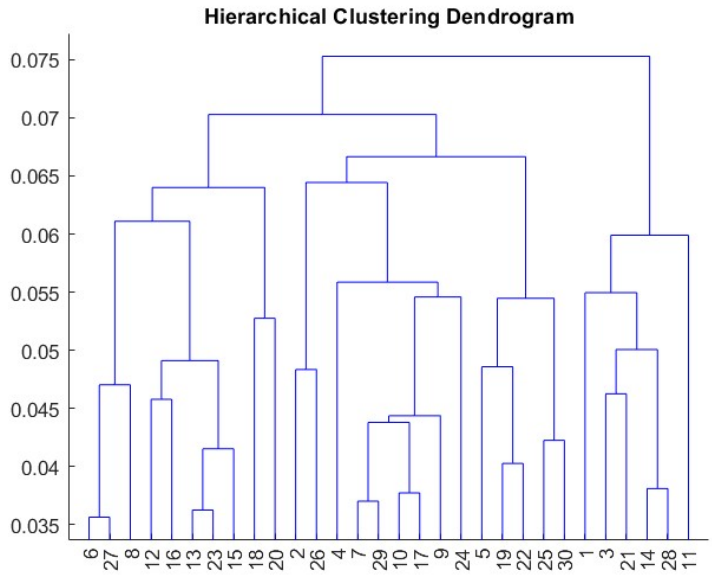


Figure 3. Hierarchical clustering dendrogram for DNA sequences

To quantitatively evaluate clustering quality, silhouette analysis was conducted as shown in Figure 4. The silhouette values ranged approximately between 0.3 and 0.75, with an average silhouette score of around 0.5.

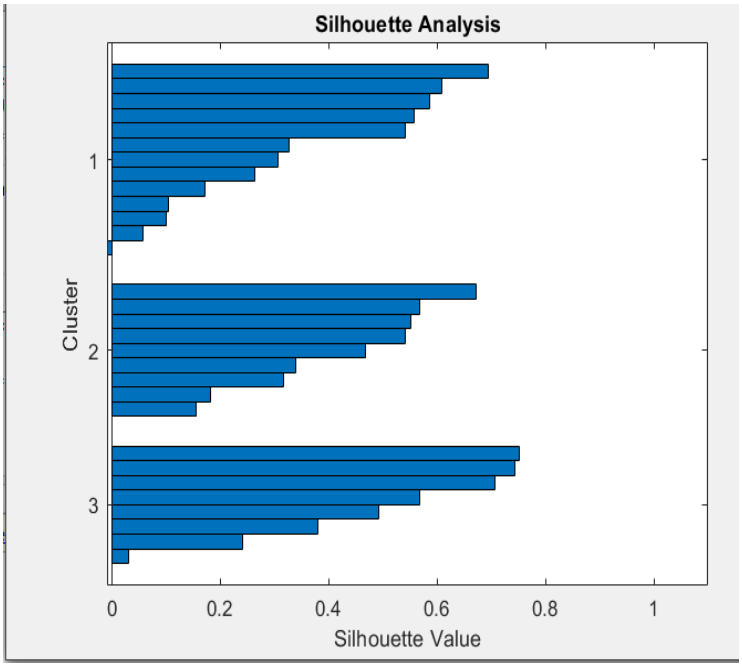


Figure 4. Silhouette analysis for each cluster

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

This value indicates moderate clustering performance, suggesting that most data points are reasonably well matched to their assigned clusters. Importantly, very few negative silhouette values were observed, indicating that misclassification is minimal.
Cluster-wise inspection shows that one cluster has consistently higher silhouette values, implying better separation and compactness. In contrast, the other clusters exhibit more variability, reflecting the overlap observed in PCA visualizations.

The observed clustering behavior can be attributed to the nature of the synthetic dataset. Since the sequences were randomly generated, they do not exhibit strong biological signatures or evolutionary constraints. As a result, the feature space lacks clear intrinsic boundaries, leading to partial cluster overlap.

Despite this limitation, the results demonstrate that k-mer based feature extraction successfully transforms sequence data into a numerical space where similarity patterns can be identified. The consistency between PCA visualization and silhouette analysis further supports the validity of the approach.

These findings align with previous studies showing that k-mer frequency representations can effectively capture sequence composition and enable alignment-free comparison of biological data [3][4].

4. DISCUSSION

The findings of this study demonstrate that alignment-free, k-mer–based representations provide a practical and scalable approach for analyzing genomic sequences. Using k=3, the resulting feature space was able to capture meaningful compositional patterns in DNA sequences, enabling unsupervised methods to identify underlying structure within the data.

The clustering results, with silhouette scores ranging from approximately 0.4 to 0.8 (average ~0.5), indicate moderate performance. This suggests that while certain groups are reasonably well separated, some overlap remains between clusters. Nevertheless, both k-means and hierarchical clustering with Ward’s linkage produced consistent and interpretable results, highlighting the robustness of the k-mer representation.

Principal Component Analysis proved useful for reducing dimensionality and visualizing the data. The PCA projections revealed partially separable cluster structures, supporting the quantitative clustering results and indicating that k-mer features retain informative variation even after dimensionality reduction.

Overall, the proposed framework is computationally efficient and reproducible, making it suitable for large-scale genomic applications. Future work can extend this approach to real biological datasets and explore different k values, as well as alternative dimensionality reduction techniques, to further enhance performance and biological insight.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

REFERENCES

[1] Needleman, S. B., & Wunsch, C. D. (1970). A general method applicable to the search for similarities in the amino acid sequence of two proteins. *Journal of molecular biology*, *48*(3), 443-453.

[2] Vinga, S., & Almeida, J. (2003). Alignment-free sequence comparison—a review. *Bioinformatics*, *19*(4), 513-523.

[3] Reinert, G., Chew, D., Sun, F., & Waterman, M. S. (2009). Alignment-free sequence comparison (I): statistics and power. *Journal of Computational Biology*, *16*(12), 1615-1634.

[4] Sims, G. E., & Kim, S. H. (2011). Whole-genome phylogeny of Escherichia coli/Shigella group by feature frequency profiles (FFPs). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(20), 8329-8334.

[5] Jolliffe, I. (2025). Principal Component Analysis. In *International Encyclopedia of Statistical Science* (pp. 1945-1948). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

[6] Xu, R., & Wunsch, D. (2005). Survey of clustering algorithms. *IEEE Transactions on neural networks*, *16*(3), 645-678.

[7] Mining, W. I. D. (2006). Data mining: Concepts and techniques. *Morgan Kaufinann*, *10*(559-569), 4.

[8] MacQueen, J. (1967). Multivariate observations. In *Proceedings ofthe 5th Berkeley symposium on mathematical statisticsand probability* (Vol. 1, pp. 281-297). Oakland, CA, USA: University of California press.

[9] Ward Jr, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. Journal of the American statistical association, 58(301), 236-244.

[10] Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of computational and applied mathematics*, *20*, 53-65.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

YAPAY ZEKÂ İLE OTONOM DRON DAVRANIŞLARININ MODELLEMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Ercüment ÖZTÜRK [1]

[1] Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yapay Zekâ ve Veri Mühendisliği Bölümü,

ercumentozturk@ktu.edu.tr - 0000-0001-9623-6955

ÖZET

Otonom dron sistemlerinde davranış modelleme problemini yapay zekâ temelli bir yaklaşım ile ele alınmıştır. Modern insansız hava araçlarının (İHA) karmaşık ve dinamik ortamlarda güvenilir, hızlı ve adaptif kararlar verebilmesi mümkün değildir. Bu nedenle, klasik kontrol yöntemleri yerine veri odaklı ve öğrenebilen sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bağlamda, dron davranışları, konum, hız, yönelim ve çevresel etkileşimleri içeren çok boyutlu bir durum uzayında modellenmiştir. Önerilen yöntemde, fizik tabanlı matematiksel modelleme ile yapay zekâ algoritmaları birleştirilerek hibrit bir yapı oluşturulmuştur. Sistem dinamikleri diferansiyel denklemler ile ifade edilirken, bu modele entegre edilen makine öğrenmesi tabanlı karar mekanizması sayesinde dronun çevresel değişimlere adaptasyonu sağlanmıştır. Özellikle sensör verilerinden elde edilen gürültülü ve belirsiz bilgilerin işlenmesinde derin öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme yaklaşımlarından yararlanılmıştır. Performans, kararlılık, tepki süresi, hata oranı ve adaptasyon kabiliyeti gibi metrikler üzerinden değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen hibrit yaklaşımın klasik kontrol yöntemlerine kıyasla daha düşük hata oranı ve daha yüksek çevresel uyum sağladığını göstermiştir. Ayrıca sistemin, beklenmeyen durumlara karşı daha esnek ve öğrenebilir bir yapı sunduğu gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, otonom dron davranışlarının modellenmesinde yapay zekâ destekli matematiksel yaklaşımların etkinliği ortaya koyulmuş olup akıllı hava sistemleri için güçlü bir temel sunmaktadır. Önerilen model, savunma, tarım, lojistik ve afet yönetimi gibi farklı uygulama alanlarında kullanılabilecek potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ, Otonom Dron Sistemleri, Matematiksel Modelleme, Sensör Füzyonu.

1. GİRİŞ

Günümüzde insansız hava araçları (İHA) giderek daha kritik bir rol üstlenmektedir. Savunma, tarım, lojistik ve afet yönetimi gibi alanlarda kullanılan İHA'lar karar verme, değişken koşullara adaptasyon ve görüntüleme gibi görevleri başarıyla yerine getirdiği bilinmektedir. Ancak dinamik ortamlarda güvenilir bir şekilde çalışabilmesi için klasik kontrol yöntemlerinin ötesine geçilmesi zorunlu hale gelmiştir. Geleneksel kontrol sistemleri deterministik modellere dayanmakta ve sistem parametrelerinin önceden bilindiği varsayımı ile çalışmaktadır (Kumar ve Michael, 2012). Bununla birlikte, gerçek dünya uygulamalarında sensör gürültüsü, dış etkenler ve model belirsizlikleri gibi faktörler bu varsayımları geçersiz kılmaktadır. Bu nedenle,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

son yıllarda yapay zekâ tabanlı yaklaşımlar, kontrol ve karar verme süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Goodfellow vd., 2016; LeCun vd., 2015).
Makine öğrenmesi ve derin öğrenme sayesinde, sistemlerin çevresel verilerden öğrenmesini ve adaptif davranışlar geliştirmesini mümkün hale gelmiştir. Nitekim, veri odaklı yaklaşımlar bazı senaryolarda yetersiz kalabilmektedir. Özellikle fiziksel sistemlerin dinamiklerini tam olarak temsil edemeyen saf öğrenme modelleri, genellenebilirlik açısından sınırlamalar göstermektedir (Sutton & Barto, 2018).
Bu çalışmada, söz konusu sınırlamaları aşmak amacıyla hibrit bir model önerilmiştir. Model, fizik tabanlı matematiksel denklemler ile yapay zekâ algoritmalarını bir araya getirmektedir. Bu sayede insansız hava araçlarına hem teorik doğruluk hem de adaptif öğrenme yeteneği kazandırılması hedeflenmiştir. Özellikle son yıllarda fizik tabanlı AI veya hibrit zeki sistemler olarak literatürde önemli bir yer edinmiştir (Raissi et al., 2019).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada hibrit yapay zekâ tabanlı dron modeli önerilmiştir. Önerilen model, fiziksel sistem dinamikleri ile yapay zekâ tabanlı karar mekanizmalarını entegre eden bir kontrol yaklaşımıdır. Sistem uzayında konum vektörü, hız, yönelme açısı ve çevresel etkiler ele alınmıştır. Ayrıca sistemde kontrol girdisi ve dış etkiler tanımlanarak gerçek dünya koşullarına daha yakın bir modelleme yapılmıştır. Simülasyon süresi ve zaman adımı önceden belirlenerek sistem ayrık zamanlı olarak analiz edilmiştir. Sistem dinamikleri (1) ve (2) numaralı denklemde gösterildiği şekilde kullanılmıştır.

$$\mathbf{X}(\boldsymbol{t}) = \boldsymbol{f}\big(\boldsymbol{x}(\boldsymbol{t}), \boldsymbol{u}(\boldsymbol{t}), \boldsymbol{d}(\boldsymbol{t})\big) \quad \textbf{(1)}$$

$$\boldsymbol{X}(\boldsymbol{t}+\boldsymbol{1}) = \boldsymbol{X}(\boldsymbol{t}) + \boldsymbol{X} \cdot \boldsymbol{\Delta t} \quad \textbf{(2)}$$

Burada $x(t)$ konum vektörünü, $u(t)$ hızı ve $d(t)$ çevresel etkileri temsil etmektedir. Bu yapı kısaca sistemin fiziksel davranışının matematiksel olarak modellemesini göstermektedir. Bu matematiksel model içerisine bir yapay zekâ tabanlı karar mekanizması entegre edilmiştir. Bu mekanizma, sensör verilerini işleyerek kontrol sinyallerini optimize etmektedir. Sensör verilerinin işlenmesi sürecinde özellikle derin sinir ağları kullanılmıştır. Bu ağlar, gürültülü ve eksik verilerden anlamlı özellikler çıkarabilme yeteneğine sahiptir.
Modelin öğrenme bileşeni, pekiştirmeli öğrenme paradigmasına dayanmaktadır. Pekiştirmeli öğrenme işlemi (2) numaralı denklemde gösterilen bir ödül fonksiyonu aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

$$\boldsymbol{R} = -(\boldsymbol{\alpha} \cdot \boldsymbol{error^2} + \boldsymbol{\beta} \cdot \boldsymbol{velocity\_error^2} + \boldsymbol{\gamma} \cdot \boldsymbol{u^2}) \quad \textbf{(2)}$$

Ödül fonksiyonu ($\boldsymbol{R}$) kullanılarak gerçekleşen öğrenme işlemiyle sistemin hem doğruluğu hem de enerji verimliliği optimize edilmiştir. Bununla birlikte, farklı sensörlerden gelen veriler birleştirilerek daha güvenilir bir durum tahmini elde edilmeye çalışılmıştır. Bu süreçte Kalman filtresi ve derin öğrenme tabanlı veri füzyon yöntemleri birlikte kullanılmıştır (Kalman, 1960). Deneysel çalışmalar, simülasyon ortamında gerçekleştirilmiş ve simülasyonlarda farklı

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

senaryolar oluşturularak sistemin performansı test edilmiştir. Bunlar; rüzgâr etkisi, sensör hataları ve ani yön değişimleri gibi gerçek dünya koşullarını taklit eden senaryolardır.
Algoritmanın başlangıç aşamasında, önceden eğitilmiş bir yapay sinir ağı modele yüklenmiş ve pekiştirmeli öğrenme tabanlı politika yapısı başlatılmıştır. Sensörlerde ölçüm gürültüsü dikkate alınarak verilerin daha doğru değerlendirilmesi amacıyla Kalman Filter kullanılmıştır. Bu yaklaşım, sistemin gerçek senaryolara daha yakın tahminler elde etmesini sağlar. Zaman döngüsü içerisinde ilk olarak sistemin fiziksel modeli güncellenmektedir. Bu aşamada sistem davranışı hesaplanarak bir sonraki zaman adımındaki durum değeri elde edilmektedir. Sürekli zamanlı sistem ayrık zamana dönüştürülerek simülasyon süreci gerçekleştirilmiştir.
Akabinde sensör verileri sisteme dahil edilip ölçüm gürültüsü eklenerek gözlem verisi oluşturulmuştur. Bu aşamada Kalman filtresi kullanılmış ve sistemin en olası durumu tahmin edilmeye çalışılmıştır. Zira bu durum özellikle gürültülü ve belirsiz ortamlarda sistem performansını artırmaktadır. Sensörlerden gelen ve dış gürültü verileri matematiksel olarak (3) ve (4) numaralı denklemlerde gösterildiği şekilde ifade edilmiştir.

$$\boldsymbol{z = X + noise} \tag{3}$$

$$\boldsymbol{X_{est} = KalmanFilter(z)} \tag{4}$$

Üçüncü aşamada (5), (6) ve (7) numaralı denklemlerle ifade edilen yapay zekâ tabanlı karar mekanizması kullanılmıştır. Tahmin edilen durum vektöründen elde edilen bilgiler kullanılarak yapay sinir ağı aracılığıyla optimal kontrol girdisi hesaplanmıştır. Bununla birlikte pekiştirmeli öğrenme yaklaşımıyla sistem performansı kümülatif olarak iyileştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca ödül fonksiyonu sayesinde sistem hataları ve enerji tüketimi minimize edilmiştir.

$$\boldsymbol{u_{ai} = NN(x_{est})} \tag{5}$$

$$\boldsymbol{R = -(\alpha \cdot error^2 + \beta \cdot velocity\_error^2 + \gamma \cdot u^2)} \tag{6}$$

$$\boldsymbol{\pi \leftarrow update(R)} \tag{7}$$

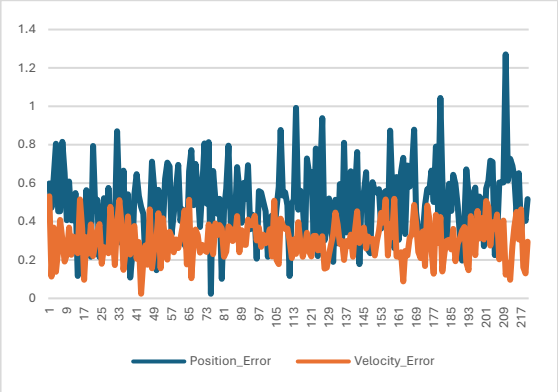
Dördüncü aşamada hibrit kontrol mekanizması uygulanmıştır. Bu aşamada klasik kontrol yöntemlerinden elde edilen kontrol sinyali ile yapay zekâ tarafından üretilen kontrol sinyali birleştirilerek sistem için nihai kontrol girdisi oluşturulmuştur. (8) numaralı denklemde matematiksel olarak ifade edilen bu yapı, sistemin hem kararlı hem de adaptif olmasını sağlamaktadır.

$$\boldsymbol{u = combine(u_{physical}, u_{ai})} \tag{8}$$

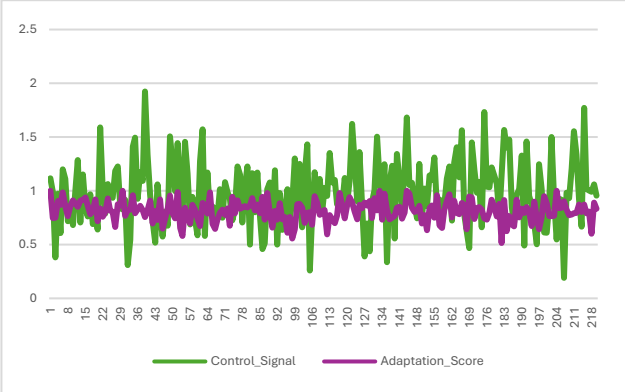
Son aşamada sistem performansına ilişkin metrikler MATLAB ortamında kaydedilmiştir. Bu metrikler arasında konum hatası, hız hatası, enerji tüketimi ve adaptasyon skoru yer almaktadır. Elde edilen bu veriler, geri beslemeli olarak sistemin performans analizinde ve ileri optimizasyon çalışmalarında kullanılmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

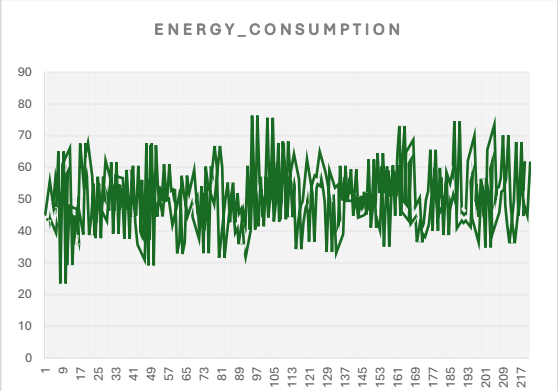
Genel olarak bu hibrit yaklaşım, klasik kontrol yöntemlerinin sağlamlığını yapay zekâ algoritmalarının öğrenme ve adaptasyon yetenekleri ile birleştirerek otonom drone sistemlerinde yüksek doğruluk, esneklik ve gürültüye karşı dayanıklılık sağlamaktadır.
Önerilen hibrit otonom dron modeli, MATLAB ortamında simüle edilerek performans analizi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sürecinde, sistemin fizik tabanlı dinamikleri (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) ve (8) numaralı denklemler aracılığıyla modellenmiş ve bu modele yapay zekâ tabanlı karar mekanizmaları entegre edilmiştir. Sensör verileri, gürültü içerecek şekilde modellenmiş ve Kalman filtresi tabanlı sensör füzyonu ile işlenerek daha güvenilir durum tahminleri elde edilmiştir. Yapay zekâ bileşeni olarak, pekiştirmeli öğrenme yaklaşımı kullanılarak kontrol sinyalleri adaptif biçimde üretilmiştir. Simülasyon boyunca konum hatası, hız hatası, enerji tüketimi ve adaptasyon skoru gibi performans metrikleri kaydedilmiş ve MATLAB grafik araçları kullanılarak görselleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen hibrit modelin kararlılık, doğruluk ve çevresel adaptasyon açısından başarılı bir performans sergilediğini göstermiştir.



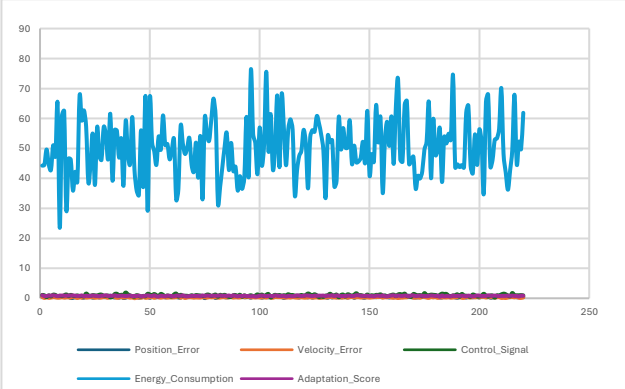
a) Konum ve hız hatası



b) Kontrol sinyali ve uyum



c) Enerji tüketimi



d) Tüm parametreler

Veri setinden elde edilen a, b, c ve d grafikleri incelendiğinde, zaman adımları boyunca konum ve hız hatalarının genel olarak düşük seviyelerde seyrettiği ve belirgin bir kararsızlık eğilimi göstermediği gözlemlenmektedir. Özellikle hata eğrilerinin zamanla stabilize olması, sistemin öğrenme mekanizmasının etkinliğini ortaya koymaktadır. Kontrol sinyali grafiği incelendiğinde ise ani sıçramaların olmadığı, sistemin yumuşak ve dengeli bir kontrol stratejisi izlediği görülmektedir. Enerji tüketimi grafiği, kontrol sinyali ile uyumlu bir yapı sergileyerek

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

sistemin verimli çalıştığını desteklemektedir. Adaptasyon skoru grafiği ise genel olarak yüksek seviyelerde seyrederek önerilen modelin çevresel değişimlere başarılı bir şekilde uyum sağladığını göstermektedir. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, hibrit yapay zekâ yaklaşımının hem kararlılık hem de performans açısından güçlü bir çözüm sunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Genel olarak tüm grafikler birlikte değerlendirildiğinde, önerilen yapay zekâ destekli hibrit modelin hem doğruluk hem kararlılık hem de adaptasyon açısından yüksek performans sunduğu açıkça görülmektedir. Bu sonuçlar, modelin gerçek dünya otonom sistem uygulamaları için güçlü bir aday olduğunu desteklemektedir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında hem simülasyon ortamında hem de amatör olarak yapılan dron uçuşlarından elde edilen verilerle bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan veri seti, otonom dron sisteminin hibrit yapay zekâ tabanlı kontrol yaklaşımı altındaki dinamik davranışlarını temsil edecek şekilde tasarlanmıştır. Veri seti toplam 220 zaman-adımından oluşmakta olup her bir adımda sistemin hata, kontrol ve performans metrikleri ölçülmüştür. Özellikle **Position_Error** ve **Velocity_Error** değişkenleri, sistemin referans yörüngeden ne ölçüde saptığını göstermek için kullanılmıştır. Bu iki parametre birlikte değerlendirildiğinde, sistemin hem konumsal doğruluğu hem de hareket kararlılığı hakkında önemli çıkarımlar yapılabilmektedir.

Çizelge 1. Oluşturulan veri setinden bir bölüm

Time_Step	Position_Error	Velocity_Error	Control_Signal	Energy_Consumption	Adaptation_Score
1	0,599342831	0,531465857	1,115219635	44,26337993	1
2	0,47234714	0,113273481	0,990191576	44,53141059	0,746913123
3	0,629537708	0,368626019	0,37976737	49,6724673	0,751056056
4	0,804605971	0,138728413	0,973263988	44,56575229	0,904416088
5	0,453169325	0,252806813	0,60865915	42,87154217	0,868189149
6	0,453172609	0,40889506	1,200901765	51,06430228	0,984670733
7	0,815842563	0,306428002	1,109979474	47,45022783	0,858392819
8	0,653486946	0,192225522	0,718036064	65,03992989	0,764070791
9	0,406105123	0,228469629	0,845839925	23,49030192	0,859065483
10	0,608512009	0,367959775	0,682235943	60,91506852	0,910870358
11	0,407316461	0,226963337	0,981196271	62,46085192	0,882048218
12	0,406854049	0,321645859	1,286542696	29,26609768	0,850727403
13	0,548392454	0,304557184	0,704282186	46,57312406	0,906667469
14	0,117343951	0,234839965	1,151213955	46,28559134	0,916929559
15	0,155016433	0,514394409	0,840922714	35,92488305	0,938215899
16	0,387542494	0,363391902	0,76213815	42,22183312	0,864870989
17	0,297433776	0,097485741	0,967890892	38,89424155	0,783288192

Veriler incelendiğinde, konum hatasının genel olarak düşük varyanslı olduğu ve çoğunlukla 0.3–0.7 aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, önerilen hibrit modelin konum takibi açısından stabil bir performans sergilediğini göstermektedir. Hız hatası ise daha düşük değerlerde seyretmekte olup sistemin dinamik değişimlere hızlı tepki verdiğini ortaya

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

koymaktadır. Bu iki parametrenin birlikte düşük seyretmesi, modelin hem doğruluk hem de kararlılık açısından dengeli bir yapı sunduğunu göstermektedir.

Control_Signal değişkeni incelendiğinde, kontrol girişlerinin belirli bir bant içerisinde kaldığı ve aşırı dalgalanma göstermediği dikkat çekmektedir. Bu durum, sistemin kontrol kararlılığını koruduğunu ve gereksiz enerji tüketimine yol açacak agresif kontrol davranışlarından kaçındığını göstermektedir. Nitekim Energy_Consumption parametresi de bu durumu desteklemekte ve enerji tüketiminin çoğunlukla nominal değerler etrafında dağıldığını göstermektedir.

Özellikle dikkat çeken bir diğer parametre ise Adaptation_Score değişkenidir. Bu değişken, sistemin çevresel değişimlere uyum kabiliyetini temsil etmektedir. Veri setinde bu değerin büyük ölçüde 0.7–0.9 aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, önerilen yapay zekâ destekli modelin öğrenme ve adaptasyon mekanizmasının etkin bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Adaptasyon skorunun yüksek olması, sistemin beklenmeyen durumlara karşı hızlı şekilde uyum sağlayabildiğini ve bu sayede performans kaybını minimize ettiğini ortaya koymaktadır. Hata oranlarının düşük, adaptasyon kabiliyetinin yüksek ve enerji tüketiminin kontrollü olması, sistemin gerçek dünya uygulamaları için uygun bir aday olduğunu göstermektedir.

Kararlılık analizi incelendiğinde, sistemin geniş bir çalışma aralığında stabil kaldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, modelin hem fiziksel temellere dayanmasından hem de öğrenme mekanizmasının adaptif yapısından kaynaklanmaktadır. Sensör gürültüsünün yüksek olduğu durumlarda bile sistemin performansında ciddi bir düşüş gözlemlenmemiştir. Bu durum, derin öğrenme tabanlı veri işleme ve sensör füzyonu yaklaşımının etkinliğini göstermektedir. Ayrıca sistemin beklenmeyen durumlara karşı verdiği tepkiler incelendiğinde, öğrenme mekanizmasının yeni durumlara hızlı adapte olabildiği görülmüştür. Bu özellik, gerçek dünya uygulamalarında büyük bir avantaj sağlamaktadır.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, otonom dron sistemlerinde davranış modelleme problemi için hibrit bir yapay zekâ yaklaşımı önerilmiştir. Önerilen model, fizik tabanlı matematiksel denklemler ile yapay zekâ algoritmalarını birleştirerek hem doğruluk hem de adaptasyon kabiliyeti sunmaktadır.

Elde edilen sonuçlar, hibrit yaklaşımın klasik yöntemlere kıyasla daha üstün performans sergilediğini göstermektedir. Özellikle hata oranı, tepki süresi ve çevresel adaptasyon gibi metriklerde önemli iyileşmeler elde edilmiştir. Çalışmanın en önemli katkılarından biri, fiziksel modelleme ile veri odaklı öğrenme yaklaşımlarının entegrasyonunu sağlamasıdır. Bu entegrasyon hem teorik hem de pratik açıdan güçlü bir çözüm sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda, modelin gerçek zamanlı sistemler üzerinde test edilmesi ve farklı görev senaryolarına uyarlanması planlanmaktadır. Ayrıca çoklu dron sistemleri ve sürü zekâsı gibi alanlarda da bu yaklaşımın uygulanabilirliği araştırılabilir. Sonuç olarak, yapay zekâ destekli hibrit modelleme yaklaşımlarının, otonom sistemlerin geleceğinde önemli bir rol oynayacağı açıktır.

.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

KAYNAKÇA

[1] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.

[2] Sutton, R. S., & Barto, A. G. (1998). *Reinforcement learning: An introduction* (Vol. 1, No. 1, pp. 9-11). Cambridge: MIT press.

[3] Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Basic Engineering*, 82(1), 35–45.

[4] Raissi, M., Perdikaris, P., & Karniadakis, G. E. (2019). Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational physics*, *378*, 686-707.

[5] LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *nature*, *521*(7553), 436-444.

[6] Kumar, V., & Michael, N. (2012). Opportunities and challenges with autonomous micro aerial vehicles. *The International Journal of Robotics Research*, *31*(11), 1279-1291.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

YAPAY ZEKA TABANLI TIBBİ GÖRÜNTÜ ANALİZİ İÇİN VERİ HAZIRLAMA SÜRECİ: OMURGA MRI ÖRNEĞİ

ELEN BABAYEVA[1], Prof. Dr. HAKAN YAKUT[2], Dr. ELİF KEMAH[2], Uzman Dr. ÜMİT ÇELAKIL[3]

[1]Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği
elen.elver@gmail.com, elen.babayeva@ogr.sakarya.edu.tr - ORCID ID: 0009-0005-9133-2303

[2]Sakarya Üniversitesi, Fen Üniversitesi Fizik Bölümü, hyakut@sakarya.edu.tr- ORCID ID: 000-0002-3903-5863, elifkemah@sakarya.edu.tr-ORCID ID: 000-0001-9512-5524.

[3]Sakarya Yenikent Devlet Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi, umitcelakil@gmail.com – ORCID ID: 0009-0009-8660-1782

ÖZET

Günümüzde tanı yöntemlerinin geliştirilmesinde yapay zeka kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Doğru ve zamanında tanı konulması, hastaların zamanında ve etkili bir şekilde tedavi edilebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Günümüzde en yaygın ve en sık kullanılan zararsız tanı yöntemlerinden biri manyetik rezonans görüntüleme (MRI) yöntemidir. İyonize radyasyon içermeyen MRI yöntemi, özellikle kas-iskelet sistemi hastalıklarının ve deformasyonlarının değerlendirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Bu çalışmada bel bölgesi (Lomber) omurga MR görüntülerinde vertebra segmentasyonu için veri hazırlama süreci ve yapay zeka tahmin modelleri incelenmiştir. Etik kurul izni alındıktan sonra hastaneden temin edilen MR görüntüleri üzerinde "3D Slicer" yazılımı kullanılarak otomatik segmentasyon uygulanmış ve sinir ağlarının test ve eğitiminde U-net mimarisi kullanılmıştır. Otomatik segmentasyon işlemi genel olarak süreci hızlandırsa da, bazı durumlarda segmentasyon hatalarının oluştuğu görülmüştür. Bu hatalar genellikle vertebra sınırlarının yanlış belirlenmesi, bazı vertebraların eksik segment edilmesi veya yanlış vertebra olarak etiketlenmesi şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu nedenle otomatik segmentasyon sonrasında elde edilen görüntüler manuel olarak düzeltilmiş ve sadece vertebra gövdesi bölgesi bırakılarak gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Yapılan manuel düzeltmeler sonucunda daha doğru segmentasyon maskeleri elde edilmiş ve bu veriler yapay zeka model eğitimi için kullanılabilecek bir veri seti haline getirilmiştir.

Sonuç olarak, MR görüntülerinde otomatik ve manuel segmentasyon yöntemlerinin birlikte kullanılmasının yapay zeka tahminlerinin güvenirliğini artırdığı ve sonuçların literatürdeki diğer benzer çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılabilir nitelikte olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: MRI, Omurga, Vertebra Segmentasyonu, Veri Hazırlama, Yapay Zeka, 3D Slicer

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. GİRİŞ

Son yıllarda tıbbi görüntüleme alanında elde edilen veri miktarı önemli ölçüde artmıştır. Bu durum, görüntülerin manuel olarak analiz edilmesini hem zorlaştırmakta hem de zaman açısından verimsiz hale getirmektedir. Özellikle MRI gibi detaylı görüntüleme yöntemlerinde, her hasta için çok sayıda kesit elde edilmesi, uzmanların iş yükünü artırmaktadır. Bu nedenle, tıbbi görüntülerin daha hızlı ve doğru analiz edilebilmesi için yapay zeka yöntemleri giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, bu alandaki çalışmaların büyük bir kısmı model geliştirmeye odaklanırken, veri hazırlama süreci çoğu zaman yeterince dikkate alınmamaktadır (Moeller ve Reif, 2007, 2017). Oysaki, yapay zeka modellerinin başarısı yalnızca kullanılan algoritmalara değil, aynı zamanda veri kalitesine de doğrudan bağlıdır. Segmentasyon işlemlerinde yapılan hatalar, model çıktılarında ciddi sapmalara neden olabilmektedir.

Özellikle Lomber omurga bölgesindeki patolojilerin teşhisi ve anatomik yapıların hassas bir şekilde belirlenmesi amacıyla son yıllarda segmentasyon ve tahmin temelli derin öğrenme modelleri üzerine yapılan çalışmalar literatürde kritik bir yer tutmaktadır. Mevcut çalışmalar incelendiğinde, özellikle U-Net mimarisi ve onun ileri türevlerinin (ResUNet Dense-UNet ve LSS-net gibi), spinal kanal daralması (LSS) ve lomber disk hernisinin (LDH) otomatik tespiti ile segmentasyonuna başarıyla uygulandığı görülmektedir (Altun vd., 2023; Altun, 2023; Xu vd., 2024; Altun ve Alkan, 2022, 2023; Bai vd., 2025; Nakyigwe, 2025; Yıldız Civan, 2023; Alp, 2025: Chen vd., 2022, 2024, 2026; Qian vd., 2024, 2025; Litjens vd., 2017). Ancak yine de bel fıtıklarının doğru ve hızlı şekilde teşhis edilmesi ve omurga segmentasyonları üzerine literatürdeki çalışmalar oldukça azdır. Özellikle bel fıtığı teşhisi tahminlerini doğrudan etkileyen segmentasyon yaklaşımlarının model performansına etkisinin araştırılacağı çalışmalara ihtiyaç vardır.

Bu nedenle mevcut çalışmada, lomber MR görüntülerinde vertebra segmentasyonu için veri hazırlama sürecinin önemi incelenmiş ve farklı segmentasyon yaklaşımlarının model performansı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, lomber omurgaya ait MRI görüntüleri kullanılmıştır. Veri seti toplam 15 hastaya ait olup, analizler sagittal düzlemde elde edilen kesitler üzerinden gerçekleştirilmiştir (Görsel 1.1). Her hasta için ortalama 12–13 görüntü kullanılmıştır. Elde edilen görüntüler, model eğitimi için uygun hale getirilmiş ve gerekli düzenlemeler yapılarak veri seti oluşturulmuştur.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

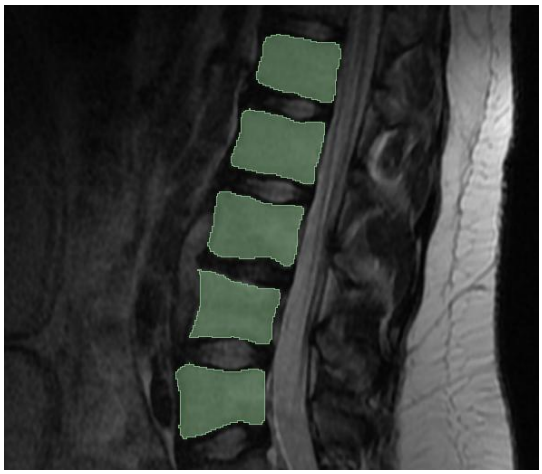


Ad	Değiştirme tarihi	Tür	Boyut
case01_label.nii	26.11.2025 10:33	NII Dosyası	6.145 KB
case02_label.nii	26.11.2025 11:25	NII Dosyası	6.145 KB
case03_label.nii	26.11.2025 12:14	NII Dosyası	6.145 KB
case04_label.nii	26.11.2025 14:04	NII Dosyası	6.145 KB
case05_label.nii	26.11.2025 14:24	NII Dosyası	6.145 KB
case06_label.nii	26.11.2025 19:49	NII Dosyası	6.145 KB
case07_label.nii	26.11.2025 20:00	NII Dosyası	6.145 KB
case08_label.nii	26.11.2025 20:12	NII Dosyası	6.145 KB
case09_label.nii	26.11.2025 21:15	NII Dosyası	6.145 KB
case10_label.nii	26.11.2025 21:29	NII Dosyası	6.145 KB
case11_label.nii	26.11.2025 21:54	NII Dosyası	6.145 KB
case12_label.nii	26.11.2025 22:19	NII Dosyası	6.145 KB
case13_label.nii	26.11.2025 22:31	NII Dosyası	6.145 KB
case14_label.nii	27.11.2025 17:28	NII Dosyası	6.145 KB
case15_label.nii	3.01.2026 17:32	NII Dosyası	6.657 KB

Görsel 1.1. Çalışmada kullanılan veri setine ait segmentasyon maskeleri.

2.2. Segmentasyon Süreci

MR görüntülerinde vertebra segmentasyonu, 3D Slicer yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada yarı otomatik segmentasyon uygulanmıştır. Ancak bu süreçte bazı hatalarla karşılaşılmıştır. Bu hatalar genellikle vertebra sınırlarının tam olarak belirlenememesi, bazı bölgelerin eksik segment edilmesi veya anatomik olarak farklı yapıların segmentasyona dahil edilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, elde edilen segmentasyon sonuçları manuel olarak düzeltilmiş (Görsel 1.2) ve yalnızca vertebra gövdesi bölgesi korunarak veri seti yeniden düzenlenmiştir. Çalışma kapsamında, iki farklı veri seti oluşturulmuştur: biri doğrudan otomatik segmentasyon çıktılarından oluşan veri seti, diğeri ise manuel olarak düzeltilmiş segmentasyon verilerinden oluşan veri setidir.

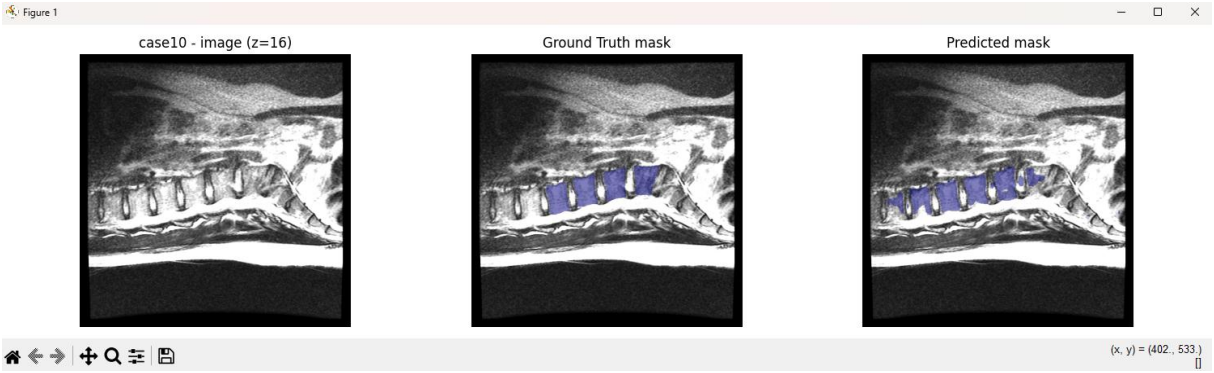


Görsel 1.2. Manuel segmentasyon sonucu elde edilen maske.

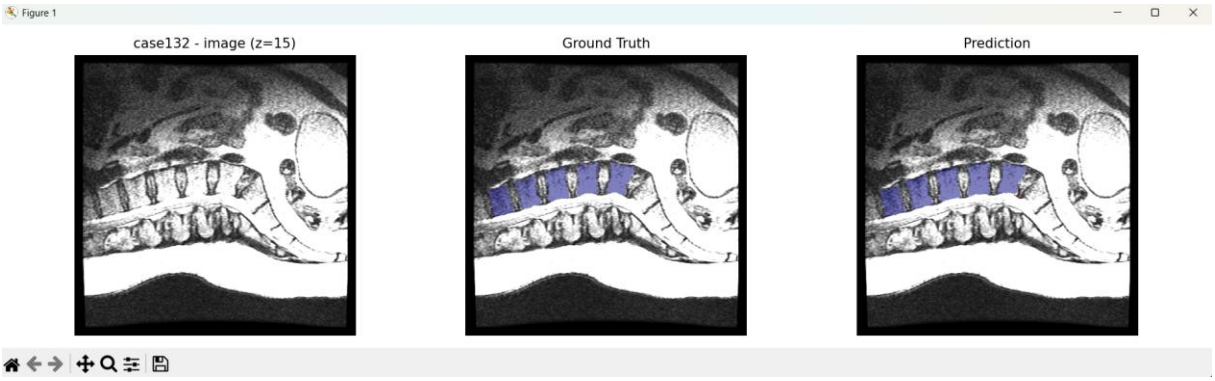
ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.3. Yapay Zeka Modeli

Vertebra segmentasyonu için derin öğrenme tabanlı U-Net mimarisi kullanılmıştır. Model eğitimi sırasında, oluşturulan iki farklı veri seti ayrı ayrı kullanılmıştır. İlk model, otomatik segmentasyon verileri ile eğitilmiştir (Görsel 1.3); ikinci model ise manuel olarak düzeltilmiş veri seti ile eğitilmiştir (Görsel 1.4). Bu yaklaşım ile veri kalitesinin model performansı üzerindeki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.



Görsel 1.3. Otomatik segmentasyon verisi ile eğitilen model çıktısı.

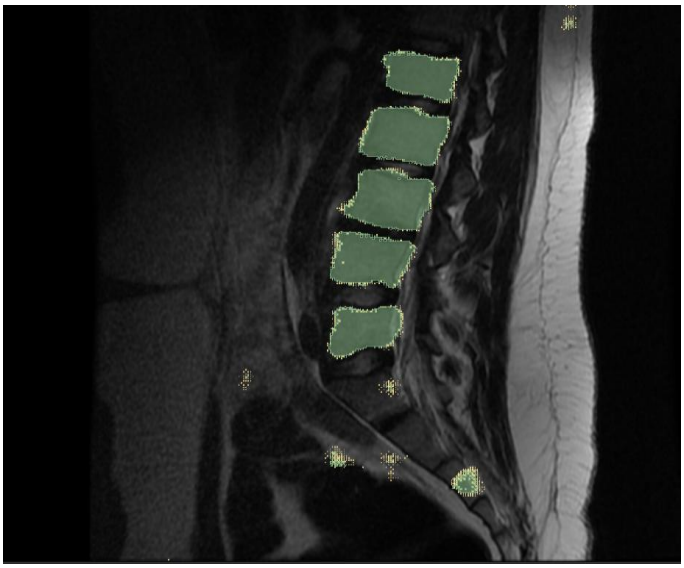


Görsel 1.4. Manuel olarak düzeltilmiş veri seti ile eğitilen model çıktısı.

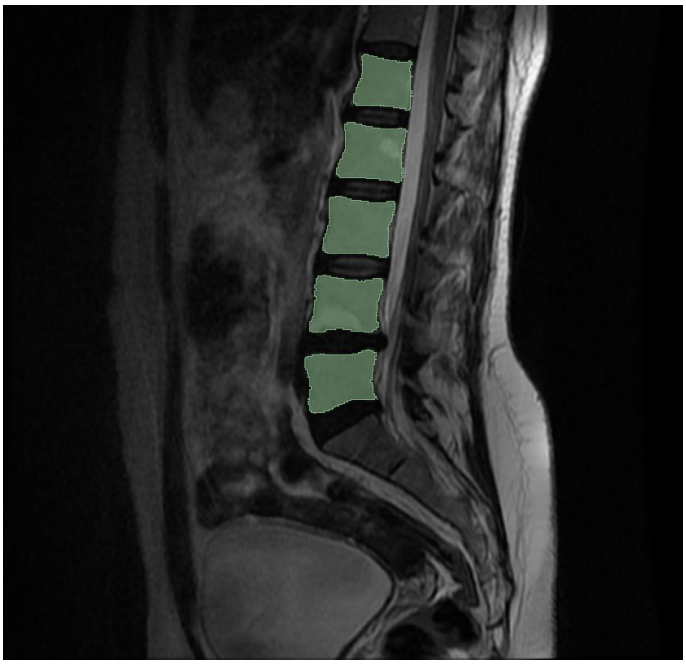
3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, veri kalitesinin model çıktıları üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmüştür. Otomatik segmentasyon verileri ile eğitilen modelde, bazı bölgelerde hatalı segmentasyonlar gözlemlenmiştir (Dice katsayısı=0.38) (Görsel 1.5). Bu hatalar genellikle vertebra sınırlarının dışına taşma ve yumuşak dokuların yanlışlıkla segmentasyona dahil edilmesi şeklinde ortaya çıkmıştır. Buna karşılık, manuel olarak düzeltilmiş veri seti ile eğitilen modelde daha tutarlı ve anatomik olarak daha doğru segmentasyon sonuçları elde edilmiştir (Dice katsayısı=0.57) (Görsel 1.6). Görsel karşılaştırmalar iki model arasındaki farkı açık bir şekilde ortaya koymaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 1.5. Otomatik segmentasyon verisi ile eğitilen model.



Görsel 1.6. Manuel olarak düzeltilmiş veri seti ile eğitilen model.

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışma, veri hazırlama sürecinin yapay zeka modellerinin başarısı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Segmentasyon sürecinde yapılan hataların model çıktılarında doğrudan hatalara yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, özellikle tıbbi görüntü analizi çalışmalarında veri kalitesine daha fazla önem verilmesi gerekmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda, otomatik ve manuel segmentasyon yöntemlerinin birlikte kullanılmasının daha güvenilir sonuçlar sağlayabileceği düşünülmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda daha büyük veri setleri ile benzer analizlerin gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

KAYNAKÇA

Alp, F. (2025). Lomber disk hernisi (LDH)'nin farklı klinik süreçlerinin yönetiminde yapay zeka ile tahminleme: Prospektif bir çalışma (Doktora Tezi). Sağlık Bilimleri Üniversitesi, İstanbul.

Altun, İ., Altun, S., Alkan, A. (2023). LSS-UNET: Lumbar spinal stenosis semantic segmentation using deep learning. Multimedia Tools and Applications, 82, 41287–41305.

Altun, S. (2023). Derin öğrenme temelli karar destek sistemleriyle lomber spinal dar kanal analizi (Doktora Tezi). Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.

Altun, S., Alkan, A. (2022). LSS-net: 3-dimensional segmentation of the spinal canal for the diagnosis of lumbar spinal stenosis. International Journal of Imaging Systems and Technology, 32(6), 2256–2268.

Altun, S., Alkan, A. (2023). Lumbar spinal stenosis analysis with deep learning based decision support systems. Gazi University Journal of Science, 36(3), 1200-1215.

Bai, C., Wang, Y., Chen, Y., Wang, Z., & Xia, L. (2025). Multi-class segmentation and deep radiomics analysis of multi-center lumbar spine MRI using wavelet fusion and explainable machine learning. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 18, 102056.

Chen, T., Su, Z. H., Liu, Z., Wang, M., Cui, Z. F., Zhao, L., ... Lu, H. (2022). Automated magnetic resonance image segmentation of spinal structures at the L4–5 level with deep learning: 3D reconstruction of lumbar intervertebral foramen. Orthopaedic Surgery, 14(10), 2673-2683.

Chen, Z., Wang, W., Chen, X., Dong, F., Cheng, G., He, L., ... Zhou, S. (2024). Deep learning-based quantitative morphological study of anteroposterior digital radiographs of the lumbar spine. Quantitative Imaging in Medicine and Surgery.

Chen, J., Wang, Y., Zhang, X., Lv, C., Xi, Y., & Yang, H. (2026). A dual-branch self-enhancing network for lumbar disc herniation lesion segmentation and classification. International Journal of Imaging Systems and Technology.

Litjens G, Kooi T, Bejnordi BE, Setio AAA, Ciompi F, Ghafoorian M, van der Laak JAWM, van Ginneken B, Sánchez CI. A survey on deep learning in medical image analysis. Med Image Anal. 2017 Dec;42:60-88. doi: 10.1016/j.media.2017.07.005. Epub 2017 Jul 26. PMID: 28778026.

Moeller, T., B., Reif, E. (2007). Pocket Atlas of Sectional Anatomy: Computer Tomography and Magnetic Resonance Imaging (Volume 3). New York: Thieme; Möller T. B., Reif, E. (2017). Pocket atlas of sectional anatomy: Computed tomography and magnetic resonance imaging. Volume III: Spine, extremities, joints (2nd ed.). Stuttgart: Thieme

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Nakyigwe, S. (2025). Deep learning ensembles in lumbar spine MRI diagnosis (Doktora Tezi). Çukurova Üniversitesi, Adana.

Qian, J., Su, G., Shu, X., Shen, K., Chen, B., & Wang, X. (2024). Lumbar disc herniation diagnosis using deep learning on MRI. Journal of Radiation Research and Applied Sciences, 17, 100988.

Qian, L., Chen, J., Ma, L., Urakov, T., Gu, W., & Liang, L. (2025). Attention-based shape-deformation networks for artifact-free geometry reconstruction of lumbar spine from MR images. IEEE Transactions on Medical Imaging, 44(12), 5258-5270.

Xu, R., Guo, X., Wang, Z., Guan, T., & Zhou, Y. (2024). Magnetic resonance images segmentation of multifidus based on dense-unet and superpixel. Current Medical Imaging, 20.

Yıldız Civan, G. (2023). Lomber manyetik rezonans görüntülerinden osteoporoz tayini (Uzmanlık Tezi). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, İstanbul.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

A COMPARATIVE STUDY OF AI APPROACHES FOR PIN-FIN CHANNEL SURROGATE MODELING

Mehmed Sinan KÖMEK [1], Peyman MAHOUTİ[1], Zafer GEMİCİ [2]

[1]Yildiz Technical University, Department of Electronics and Communication Engineering,

sinan.komek@std.yildiz.edu.tr – ORCID: 0009-0000-9391-8053

pmahouti@yildiz.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-3351-4433

[2] Yildiz Technical University, Department of Mechanical Engineering,

zgemici@yildiz.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-0716-9234

ABSTRACT

In this study, we present an AI-based surrogate-modeling framework for the prediction of thermal-hydraulic behavior in a sandwich-like channel with staggered miniature pin fins. The physical basis of the study consists of 76 experimental results and 38 CFD results, while all model training, validation, and testing were performed on a consolidated supervised-learning dataset of 264 rows. Eight input variables and seven response variables were retained in the final learning setup. Model development was carried out by Optuna-guided repeated training and hyperparameter optimization, and the archived study workflow contains 674 documented optimization trials across the reported model families. The final comparison shows that PINN provides the strongest overall performance, with RMSE = 100.32, MAE = 28.86, and R^2 = 0.9927, and it gives the lowest RMSE for six of the seven targets. GPR remains the best model for Nu_0, while ANN ranks third in the global comparison. In the present paper, PINN is used as a physics-informed surrogate rather than as a full PDE-residual model, and the results indicate that it offers the most reliable general solution for the final comparison set.

Keywords: artificial intelligence; Optuna optimization; physics-informed neural network; surrogate modeling; thermal-fluid systems.

1. INTRODUCTION

Thermal-fluid systems with complex internal geometries are governed by coupled heat-transfer and flow-resistance mechanisms. In compact heat-transfer devices, the effect of fin geometry, flow condition, and heating level must often be evaluated across many design cases. Repeated CFD analysis can provide detailed information, but it also increases computational cost when the same geometry family is studied under multiple operating conditions [1], [2].

To address this difficulty, surrogate models have become attractive tools for rapid engineering prediction. ANN-based and machine-learning-based methods are now widely used to estimate thermo-hydraulic behavior without repeating a full high-resolution simulation for every case

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[3], [4], [5], [6]. Their practical value is especially clear when many candidate configurations must be screened in a limited time.

This work focuses on the sandwich-like channel with staggered miniature pin fins reported in [7]. The dataset used in this study includes rectangular-fin and blade-tip-fin cases together with thermal and hydraulic operating variables. The main aim is to compare whether PINN, ANN, GPR, and several baseline regressors can reproduce the principal channel responses on the same predictor-target definition and on the same final comparison set. In this way, the model ranking is discussed on a common and defensible basis.

2. RELATED WORK

Recent studies show that surrogate models can successfully support heat-transfer and heat-exchanger analysis when direct simulation is expensive. ANN-based models have been reported for thermo-hydraulic prediction in finned and compact heat-transfer systems, especially when nonlinear relations among geometry, flow, and thermal loading must be represented with practical engineering accuracy [3], [5], [6], [8]. CFD-assisted learning and hybrid AI-CFD workflows have also been used to reduce the cost of repeated thermal-fluid evaluation [2], [4], [9], [10].

A second relevant line of work concerns geometry-aware and physics-aware modeling. Although these studies differ in formulation, they share a common objective: to preserve physically meaningful behavior while still achieving strong predictive performance [2], [7], [10], [11]. The remaining need is clear. Engineering use does not depend on a single metric alone; it also requires stable behavior across multiple coupled outputs. For that reason, the present paper evaluates both global and target-wise performance instead of relying on a single scalar score. Recent studies reviewed during the final revision likewise report surrogate modeling, machine-learning-driven optimization, and rapid multi-physical prediction workflows for finned and pin-fin heat sinks, which confirms that the present problem remains technically current [12], [13], [14], [15], [16]. More specifically, validated CFD modeling of finned heat-exchanger geometry remains an important foundation for later surrogate workflows [11]. Surrogate thermal modeling for finned heat sinks was reported in [12]. Machine-learning-driven multi-objective optimization for pin-fin heat sink design was presented in [13]. A combined CFD, deep-learning, and explainable-AI workflow for heat-sink optimization was reported in [14]. Rapid multi-physical field prediction for pin-fin heat sinks through surrogate modeling was presented in [15]. A 2026 review of ML/DL-based heat-transfer studies also highlighted the continued use of RMSE, MAE, and R^2 as core evaluation metrics [16].

3. METHODOLOGY

The workflow of the present study is based on a dataset derived from the numerical results reported in [7], from which 76 data points were extracted, and further extended by 38 additional CFD simulations. For model development, all training runs were executed on a consolidated 264-row supervised-learning dataset. The raw input set contains mean bottom temperature, mean top temperature, inlet temperature, upper heat input, lower heat input, fin type, Reynolds

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

number, and pressure drop. The response set contains Nu, Nu_0, f, f_0, FOM (PEC), h, and Nu/Pr0.4.

Optuna was used as the hyperparameter-optimization framework in this work. In practice, it repeatedly tests different parameter combinations, evaluates model performance, and directs the search toward more promising regions of the parameter space. Across the archived experiments, 674 optimization trials were completed for the documented model families. After optimization, one best-performing run was retained for each reported model and evaluated on the same dataset. In the archived repeat-best verification stage, the original Optuna search selected best trials by minimizing the average validation RMSE across the response set, while the test split was reserved for final reporting. Each retained best configuration was then rerun five times with a fixed random seed of 42.

During preprocessing, the categorical fin-type variable was encoded into two binary columns, so the eight raw inputs became nine predictor columns. The final data partition included 184 training records, 27 validation records, and 53 test records. A fixed random seed was used to keep data splitting and stochastic training reproducible. Model quality was interpreted mainly by RMSE, MAE, and R^2. RMSE reflects the overall magnitude of prediction error and penalizes large deviations more strongly, MAE gives the average absolute prediction error in a more direct form, and R^2 shows how much of the target variability is explained by the model. The repeat summaries were identical across those reruns, which confirms deterministic reproduction of the reported split and retained model settings. For reproducibility, the retained GPR configuration used an RBF kernel, a regularization level of 5.04 x 10^-4, response normalization, and a single optimizer restart.

Table 1 summarizes the general study configuration and the model-development workflow used in the present paper.

Table 1. General study settings and model-development workflow

Setting	Value	Note
Source data basis	76 experimental and 38 CFD results (114 source results)	Physical evidence used to construct the modeling corpus
Consolidated modeling dataset	264 rows	All reported Optuna training, validation, and test runs used this dataset
Data partition	184 training, 27 validation, and 53 test records	A fixed random seed ensured reproducible splitting; validation and test fractions were 10% and 20%
Predictor-response structure	8 input variables and 7 response variables	The raw input set included three temperature descriptors, two heat-input variables, fin type, Reynolds number, and pressure drop

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Preprocessing	Categorical fin-type encoding and scaled continuous inputs	Binary encoding of fin type converted the 8 raw inputs into 9 predictor columns
Optimization strategy	Optuna-guided repeated training and hyperparameter optimization	Each model family underwent independent search and best-trial selection within the same study workflow
Archived trial volume	674 optimization runs	Documented optimization effort across the model families included in the study
Documented trial allocation	ANN 80; DT 80; GBRT 80; GPR 62; KNN 62; MLR 80; PINN 88; RF 62; SVR 80	Counts observed in the archived Optuna trial directories
Final comparison set	One selected best-performing run retained for each reported model	Reported models: ANN, DT, GBRT, GPR, KNN, MLR, PINN, RF, and SVR
Repeat-best verification	5 reruns per retained model configuration	A fixed random seed of 42 reproduced identical summary metrics in the repeat verification runs

Table 2 defines the retained predictor and response variables used in the final supervised-learning setup. The raw input side contains eight variables, while preprocessing converts the categorical fin-type descriptor into two binary predictor columns corresponding to rectangular fins and blade-tip fins. Target notation is written in publication style, including Nu_0, f_0, and $Nu/Pr^{0.4}$.

Table 2. Predictor and response variables used in the final supervised-learning configuration

Category	Variable	Role	Description
Input	Mean bottom temperature	Predictor	Mean temperature descriptor derived from the lower measurement location
Input	Mean top temperature	Predictor	Mean temperature descriptor derived from the upper measurement location
Input	Inlet temperature	Predictor	Inlet-flow temperature

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

			condition used in the learning dataset
Input	Qin Top - Upper heat input	Predictor	Applied heat input at the upper heated wall
Input	Qin Bottom - Lower heat input	Predictor	Applied heat input at the lower heated wall
Input	Fin type	Predictor	Categorical descriptor with rectangular-fin and blade-tip-fin classes
Input	Re - Reynolds number	Predictor	Dimensionless indicator of flow regime and flow intensity
Input	Pressure drop (Pa)	Predictor	Measured or simulated hydraulic pressure-loss variable
Output	Nu - Nusselt number	Target	Primary convective heat-transfer response
Output	Nu_0 - Reference Nusselt number	Target	Reference or baseline Nusselt-number response
Output	f - Friction factor	Target	Primary hydraulic-resistance response
Output	f_0 - Reference friction factor	Target	Reference or baseline friction-factor response
Output	FOM (PEC) - Performance evaluation criterion	Target	Combined thermal-hydraulic performance index
Output	h - Heat-transfer coefficient	Target	Convective heat-transfer coefficient
Output	$Nu/Pr^{0.4}$ - Prandtl-scaled Nusselt number	Target	Prandtl-scaled heat-transfer response used in the dataset

This variable definition ensures a consistent multi-output learning problem across all evaluated models.

Within this framework, the implemented PINN should be interpreted as a surrogate-style physics-informed model rather than as a full PDE-residual PINN. The selected configuration uses a single network with a shared residual trunk, five hidden layers of 64 ReLU units, batch normalization, staged output heads, and skip-to-head connections. Its training objective

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

combines conventional data fitting with an adaptive PEC-related consistency term. In this way, the model is guided not only toward numerical accuracy, but also toward physically coherent multi-output behavior. ANN and GPR were trained under the same workflow and with the same predictor-target definition so that the comparison remained direct and fair.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The final comparison indicates that PINN is the strongest overall model for the present dataset. As shown in Table 3, PINN achieves RMSE = 100.32, MAE = 28.86, and $R^2 = 0.9927$, clearly ahead of GPR and ANN. The three strongest models in the global ranking are therefore PINN, GPR, and ANN. SVR improves to fourth place in the hybrid best-run comparison, but the overall lead still belongs to PINN. RMSE was retained as the main aggregate error because it penalizes larger deviations more strongly; however, Table 3 also reports NRMSE so that the comparison remains scale-aware across targets with very different magnitudes.

The ranking is also consistent with the structure of the learning problem. This is not a simple single-output regression task. The dataset contains seven coupled thermo-hydraulic targets that depend on shared thermal, hydraulic, and geometric inputs. In such a setting, smooth nonlinear surrogates are more suitable than very coarse partition-based or purely linear models [1], [2], [3], [4], [5], [6]. For this reason, MLR underfits the nonlinear interactions, DT remains too coarse for continuous multi-response behavior, and RF, GBRT, and KNN lose consistency in different parts of the operating space.

The target-wise comparison remains slightly more selective. Table 4 shows that PINN gives the lowest RMSE for Nu, f, f_0, FOM (PEC), h, and $Nu/Pr^{0.4}$, whereas GPR remains the best option for Nu_0. The parity plots support the same reading. The f_0 predictions are tightly clustered around the diagonal, while h shows a wider scatter and remains the most difficult target in the present comparison. Even so, the overall evidence supports PINN as the primary model of this study.

Table 3 reports the global ranking of the evaluated models using RMSE, NRMSE, R^2, and MAE, together with a brief interpretation of model suitability for the present dataset and problem structure.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Table 3. Global performance comparison of the evaluated regression models and fit-to-problem interpretation

Model	RMSE	R^2	MAE	Fit-to-problem interpretation	NRMSE
PINN	100.32	0.9927	28.86	Best overall fit: smooth multi-output mapping with PEC-aware regularization	0.01993
GPR	208.73	0.9733	40.66	Strong on smooth responses such as Nu_0, but less uniform across all targets	0.03720
ANN	233.25	0.9742	56.32	Good nonlinear surrogate, but purely data-driven across seven coupled outputs	0.03960
SVR	431.77	0.8616	84.32	Competitive kernel fit, yet less consistent across heterogeneous target scales	0.06744
MLR	545.88	0.7711	152.10	Linear form underfits geometry-temperature-Reynolds interactions	0.11324
GBRT	624.38	0.8216	136.26	Boosted trees capture trends, but still approximate smooth coupling piecewise	0.10183
RF	730.57	0.6913	181.66	Tree averaging damps extremes and blurs sharper thermo-	0.12725

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

				hydraulic transitions	
KNN	943.57	0.5722	269.40	Neighbor averaging is sensitive to sparse regions and encoded fin-type splits	0.16275
DT	1013.85	0.5019	234.11	Single partitions are too coarse for continuous multi-response behavior	0.16479

Figure 1 illustrates the parity behavior of the best-performing PINN target, namely f_0 (reference friction factor). The near-diagonal clustering indicates extremely low dispersion and high point-wise agreement between predicted and reference values.

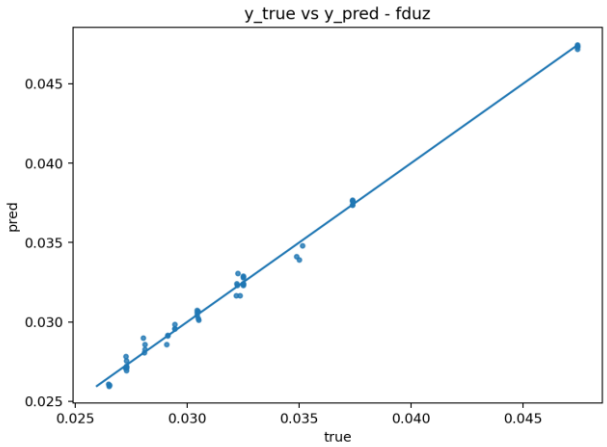


Figure 1. Parity plot for the best-performing PINN target (f_0, reference friction factor).

Because the best model can still change with the selected response variable, Table 4 reports the lowest RMSE attained for each target together with the corresponding best-performing model. To avoid scale ambiguity, the same table also lists the dataset min-max range for each response.

Table 4. Lowest RMSE by target variable and corresponding best-performing model

Target Variable	Best Model	Best RMSE	Dataset range
Nu - Nusselt number	PINN	4.326	54.21-350.85
Nu_0 - Reference Nusselt number	GPR	0.5668	26.11-173.30
f - Friction factor	PINN	0.01088	0.0971-0.6599

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

f_0 - Reference friction factor	PINN	0.000372	0.02646-0.04743
FOM (PEC) - Performance evaluation criterion	PINN	0.04081	0.4067-1.8741
h - Heat-transfer coefficient	PINN	265.4	3523.56-21550.88
$Nu/Pr^{0.4}$ - Prandtl-scaled Nusselt number	PINN	1.847	27.61-143.21

Figure 2 presents the parity behavior of the most challenging PINN target, h. The broader scatter relative to Figure 1 highlights the output variable for which predictive uncertainty remains most pronounced within the same model family.

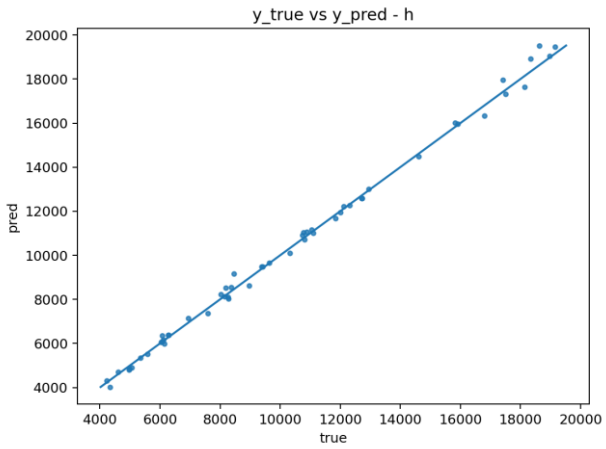


Figure 2. Parity plot for the most challenging PINN target (h, heat-transfer coefficient).

5. GENERAL EVALUATION AND CONCLUSION

This study shows that AI-based surrogate models can represent the thermal-hydraulic behavior of the staggered miniature pin-fin channel with high accuracy when they are trained on the consolidated 264-row dataset used throughout the study. Among the tested regressors, PINN provides the strongest overall performance and the broadest target-wise advantage, while GPR remains a meaningful alternative for Nu_0.

From an engineering point of view, this result supports the use of the present physics-informed surrogate as a practical companion to conventional CFD in repeated design studies, screening tasks, and rapid performance estimation. The next step should be to document the transformation from source-level results to the 264-row modeling dataset more explicitly and to test whether the same performance order is preserved under wider operating conditions and additional geometry variations.

Acknowledgements:

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

This work was supported by the Yildiz Technical University Scientific Research Projects Coordination Unit under project number FYL-2025-7024.

The numerical calculations reported in this paper were fully/partially performed at TUBITAK ULAKBIM, High Performance and Grid Computing Center (TRUBA resources).

REFERENCES

[1] M. Mohanraj, S. Jayaraj, and C. Muraleedharan, "Applications of artificial neural networks for thermal analysis of heat exchangers - A review," International Journal of Thermal Sciences, vol. 90, pp. 150-172, 2015, doi: 10.1016/j.ijthermalsci.2014.11.030.

[2] F. Guo, J. Fu, Z. Hu, and B. Sunden, "Design and optimization of staggered fin structure of heat exchanger based on machine learning," International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 108, Art. no. 109475, 2024, doi: 10.1016/j.ijheatfluidflow.2024.109475.

[3] S. Kim, Y. M. Seo, S. Y. Yoon, S. Kim, S. Pandey, and M. Y. Ha, "Thermo-hydraulic performance prediction for offset-strip fin heat exchangers using artificial neural networks," Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 37, no. 5, pp. 2623-2638, May 2023, doi: 10.1007/s12206-023-0436-3.

[4] F.-T. Zohora, F. Akter, M. A. Haque, N. M. Chowdhury, and M. R. Haque, "A novel pin finned structure-embedded microchannel heat sink: CFD-data driven MLP, MLR, and XGBR machine learning models for thermal and fluid flow prediction," Energy, vol. 307, 2024, doi: 10.1016/j.energy.2024.132646.

[5] N. Kedam, D. A. Uglanov, E. V. Blagin, A. A. Gorshkalev, R. A. Panshin, and J. Liu, "Unified ANN model for heat transfer factor (j) and friction factor (f) prediction in offset strip and wavy fin PFHEs," Case Studies in Thermal Engineering, vol. 53, 2024, doi: 10.1016/j.csite.2023.103845.

[6] A. K. Gupta, P. Kumar, R. K. Sahoo, A. K. Sahu, and S. K. Sarangi, "Performance measurement of plate fin heat exchanger by exploration: ANN, ANFIS, GA, and SA," Journal of Computational Design and Engineering, vol. 4, no. 1, pp. 60-68, 2016, doi: 10.1016/j.jcde.2016.07.002.

[7] Z. Gemici and M. Budakli, "Numerical study of the intensification of single-phase heat transfer in a sandwich-like channel using staggered miniature-pin fins," Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, vol. 85, no. 9, pp. 1399-1432, 2023, doi: 10.1080/10407782.2023.2202883.

[8] Z. Shuqi et al., "Artificial neural network-based optimization of baffle geometries for maximized heat transfer efficiency in microchannel heat sinks," Case Studies in Thermal Engineering, vol. 49, 2023, doi: 10.1016/j.csite.2023.103331.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[9] B. Liu, J. Qian, Z. Jin, L. Huang, and J. Zou, "Air-side heat transfer performance prediction for microchannel heat exchangers using data-driven models with dimensionless numbers," Frontiers in Heat and Mass Transfer, vol. 22, no. 6, pp. 1613-1643, 2024, doi: 10.32604/fhmt.2024.058231.

[10] S. A. Abdollahi, A. Basem, A. Alizadeh, D. J. Jasim, M. Ahmed, A. J. Sultan, S. F. Ranjbar, and H. Maleki, "Combining artificial intelligence and computational fluid dynamics for optimal design of laterally perforated finned heat sinks," Results in Engineering, vol. 21, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102002.

[11] K. Lindqvist, G. Skaugen, and O. H. H. Meyer, "Plate fin-and-tube heat exchanger computational fluid dynamics model," Applied Thermal Engineering, vol. 189, 2021, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2021.116669.

[12] Z. Wang et al., "Machine learning-based surrogate models for finned heatsink thermal modeling," Microelectronics Reliability, 2025, doi: 10.1016/j.microrel.2025.115775.

[13] J. Mohammadpour et al., "Optimisation of pin-fin heat sink design for CPV systems using machine learning-driven multi-objective approaches," Energy Conversion and Management, 2025, doi: 10.1016/j.enconman.2025.119973.

[14] O. Ozdilli et al., "Optimal design of flat plate fin heat sinks using a computational fluid dynamics (CFD) and deep learning (DL)-based ensemble approach with explainable artificial intelligence (XAI) integration," Applied Thermal Engineering, 2025, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.127547.

[15] J. Yang et al., "A surrogate modeling approach for rapid multi-physical field prediction in pin fin heat sinks," Applied Thermal Engineering, 2026, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2026.130478.

[16] Alisha et al., "Recent progress in machine learning and deep learning models for heat transfer problems," Journal of Engineering and Applied Science, 2026, doi: 10.1186/s44147-026-00903-0.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

FOTOVOLTAİK GÜNEŞ HÜCRESİ JENERATÖRLERİNİN P-V KARAKTERİSTİKLERİNİN ÇİZİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi NURETTİN GÖKŞENLİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü,

ngoksenli@karatekin.edu.tr - 0000-0002-0858-4448

ÖZET

Fotovoltaik güneş hücresi jeneratörlerinin diyot modelinden elde edilen geleneksel P-V karakteristikleri, enerji verimliliği ve maksimum güç noktalarının belirlenmesinde çok önemlidir. Bu karakteristikler için kullanılan geleneksel denklemler doğrusal olmadığı için, karakteristiklerin çiziminde çok fazla ve çok uzun bilgisayarlarla tekrarlamalı işlemler yapılarak, sıkıcı ve zaman harcayan işlemler gerekmektedir. Analitik çözümü olmayan bu denklemler ancak bilgisayar programları kullanılarak nümerik analiz ile yapılabilmektedir. Basit ve karmaşık olmayan bir yöntem olduğu için literatürde Akbaba Modeli olarak bilinen denklemler kullanılarak, zaman harcayan bu sıkıcı işlemler ortadan kaldırılmıştır. Bu çalışmada, güneş panelinin çıkışında bir düzenek kurularak farklı güneş ışınımlarında akım ve voltajlar ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar kullanılarak A, B ve C katsayıları farklı güneş ışınımlarında hesaplanır. Ölçülen değerler ile güneş panelinin P-V karakteristikleri kolayca çizilebilir. Bu çalışmada Akbaba Modeli denklemlerinde güneş ışınımının bir fonksiyonu olarak kullanılan A, B ve C katsayılarının belirlenmesi için Akbaba Modeli denklemlerinin geliştirilmiş bir versiyonu kullanılmaktadır. Böylece güneşi izlemeye gerek kalmadan akım denklemleri güneş ışınımının bir fonksiyonu olarak sabit frekansta bütün sistem birlikte çalışmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik P-V Karakteristikleri, Yenilenebilir Enerji, DC-DC Dönüştürücü

1. GİRİŞ

Dünyamızın enerjiye olan ihtiyacı, gerek sanayideki gelişmeler, gerek büyümenin etkileri ve gerekse insanlığın yaşam alışkanlıklarındaki değişiklikler sonucu artmaya devam etmektedir. Fakat fosil yakıt rezervleri, arz ve talep sorunları problemlere neden olmakta, bazen maliyetlerin artmasına bazen de kaynak bulunamaması gibi nedenlerle dünyada enflasyon artışlarına ve ekonomik ve istihdam sorunlarına neden olmaktadır. Çevreye verdiği zararlar ise bazen telafisi olmayan durumlara meydan vermekte, bunun sonucu da yine maliyetlere yansımaktadır. Bu olumsuz durumları en aza indirmek için, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması kaçınılmaz hale gelmektedir. Bunların içinde, çevreyle barışık, kullanım kolaylığına sahip, çok düşük olan bakım maliyetleri ve sonsuz büyüklükte bir enerji kaynağı olan güneş enerjisidir. Fotovoltaikler, güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmek için

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

kullanılmaktadır ve hızlı gelişme ve kullanım alanı bulan yenilenebilir enerji teknolojileri arasında önemli bir yer teşkil etmektedir. Fotovoltaikler (PV) güneş paneli haline getirilerek, elektrik enerjisi elde etmek için kullanılmaktadır ve fotovoltaik jeneratör (PVG) olarak bilinmektedirler. Bu sistemlerin çalışması için ilave bir enerjiye ihtiyaçları yoktur, çevre dostu olarak kirlilik oluşturmazlar ve gürültüsüz olmaları önemli avantajları arasındadır.
Önemli avantajlarından biri de, silikondan üretilmeleridir ve bu hammadde dünyada oldukça büyük kaynaklara sahiptir. Fotovoltaiklerin dezavantajları arasında, ilk yüksek yatırım maliyetlerinin çok yüksek olması ve enerji dönüşüm verimliliğinin çok küçük değerlerde olmasıdır. Bundan dolayı, fotovoltaiklerin enerji verimliliğini arttırmak için gerek yapısal olarak gerekse kullanırken verimliliğinin artmasıyla ilgili çalışmalar her geçen gün artarak devam etmektedir. (Akbaba, 2006 ve Brambilla, 1999 ve Kulaksız ve Akkaya, 2012). Bu çalışmamız fotovoltaik güneş panellerinin çıkışında elektrik enerjisi kullanım verimliliğinin arttırılmasına yönelik olmaktadır. Güneş panelleri kullanılarak güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için iki yöntem bulunmaktadır. Bunlar Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) ve Güneş Takip Sistemleridir. Her iki yönteminde kullanıldığı bir çok çalışmaya literatürde rastlamak mümkündür(Akbaba, 2007 ve Appelbaum, 1989). Sabit duran sistemler, tek eksenli sistemler ve çift eksenli sistemler olarak tasarlanabilen güneş takip sistemleriyle ilgili bir çok çalışma vardır. Bunlar arasına karşılaştırma yapıldığında, tek eksenli güneş takip sistemlerinin, sabit duran güneş sistemlerine göre güneş ışınımı %30, çift eksenli güneş takip sistemlerinin ise %35 oranında daha fazla olduğu söylenebilir (Gökşenli ve Akbaba, 2016). Bu durum, maksimum güç noktası takip (MPPT) eden sistemlerde çok daha fazladır. Çünkü MPPT sistemlerinin farklı çevresel koşullarda bile maksimum miktarda güneş ışınımına maruz kalarak maksimum elektrik gücü çıkışı oluşturmaktadır (Akbaba, 2007).

2. METODOLOJİ

Fotovoltaik (PV) jeneratörlerin elektriksel özelliklerinin matematiksel modeli, PV kullanarak elektrik enerjisi elde etmek için tasarlanan sistemlerin verimliliğinin analizinde oldukça önemlidir, çünkü maksimum enerji kullanımını sağlamak için tasarımda kullanılmaktadır. Bu nedenle, I-V karakteristik modeli denklemi, PV jeneratörlerle çalışan sistemlerin performans analizinde temel unsurlardan biridir (Akbaba, 2007). Literatürde, PV hücrelerinin I-V karakteristikleri için orijinal matematiksel model denklemi kullanmaktadır. Bu model, bunun gibi sistemlerde kullanılan geleneksel p-n ekleminden elde edilen I-V karakteristik modelidir (Appelbaum ve Sarma, 1989). Güneş Panellerinin Geleneksel I-V Karakteristik model denklemi aşağıda yazıldığı gibidir.

$$I = I_{ph} - I_o[\exp(\Lambda(V + I R_s)) - 1] \quad (1)$$

Denklem (1)'de, I_{ph}, üretilen ışık akımı, I_o, ters doyma akımı, ∧, PV Jeneratör sabiti ve R_s, PV Jeneratörün seri direncidir. Yukarıda verilen geleneksel I-V karakteristiklerine sahip denklem doğrusal olmayan denklem özelliğindedir. Bu nedenle, çözümü uzun zaman alabilen, bir çok işlemin yapılmasını gerektiren süreçler içermektedir. Özellikle maksimum güç noktalarının belirlenmesi için yapılan hesaplamalar çok fazla ve sıkıcı işlemler gerektirmektedir. Bu

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

istenmeyen durumları ortadan kaldırmak için, literatürde geliştirilen bir model vardır (Akbaba ve Alattawi, 1995). Bu modeldeki akım denklemi aşağıdaki gibidir.

$$I = \frac{V_{oc} - V}{A + B\,V^2 - C\,V} \tag{2}$$

Burada, A, B ve C katsayıları temel faktörlerdir. Diyot modeli gerçek model olarak alınır ve A, B ve C katsayılarını hesaplamak için kullanılır. A, $A = V_{oc}/I_{sc}$ kullanılarak elde edilir. Burada V_{oc} güneş panelinin açık devre gerilimi ve I_{sc} kısa devre akımıdır. Diğer iki katsayı, B ve C ise, I-V Karakteristiğinde kısa devre akımının %94'üne ve %68'ine karşılık gelen noktalardaki değerler kullanılarak hesaplanmaktadır (Akbaba ve Alattawi, 1995).
Herhangi bir noktadaki PVG gücü P=VI denklemiyle hesaplanacağından güç denklemi şu şekildedir:

$$P = \frac{V\,(V_{oc} - V)}{A + B\,V^2 - C\,V} \tag{3}$$

Maksimum değeri elde etmek için, denklemin (3)'ün türevi alınarak, d P / d V = 0, denklem (4) elde edilir.

$$V_{max}^2 - Q_1 V_{max} + Q_2 = 0 \tag{4}$$

Denklem (4)'ün çözülmesiyle, maksimum gerilim;

$$V_{max} = 0.5\left(Q_1 - \sqrt{Q_1^2 - 4Q_2}\right) \tag{5}$$

şeklinde bulunur. Burada,

$$Q1 = 2A / (C - BV_{oc}) \tag{6}$$

$$Q2 = AV_{oc} / (C - BV_{oc}) \tag{7}$$

A, B ve C değişken katsayıları cinsinden bulunur. Buradan maksimum akım denklemini elde etmek için denklem (2)'de, V (gerilim) yerine V_{max} (maksimum gerilim) değerini yazarsak maksimum akım denklemi aşağıdaki denklem gibi elde edilebilir.

$$I_{max} = \frac{V_{oc} - V_{max}}{A + B\,V_{max}^2 - C\,V_{max}} \tag{8}$$

Buradan maksimum güç,

$$P_{max} = V_{max} I_{max} \tag{9}$$

denklemiyle hesaplanabilir. Böylece, analitik bir yöntem olarak kullanılarak PV jeneratörlerinin P-V karakteristik eğrileri kolayca çizilebilir. Dolayısıyla, sunulan bu yöntem, P-V karakteristik eğrisi için yeni ve daha basit, ancak doğru bir yaklaşımdır (Gökşenli ve

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Akbaba, 2016). Bu yeni modelin doğruluğu, kullanım kolaylığı ve basitliği, geleneksel modelle karşılaştırılarak sağlanmıştır (Akbaba ve Alattawi, 1995).

3. UYGULAMA YÖNTEMİ VE P-V KARAKTERİSTİK EĞRİSİNİN ÇİZİMİ

Bu çalışmada, farklı güneş ışınımı seviyelerinde PV güneş panelleri için ilk kez ölçümler ve hesaplamalar yapılmış ve P-V karakteristik eğrisi analitik olarak çizilmiştir. Bu çalışmanın bir diğer avantajı ise, kullanılan güneş panellerinin bazı elektriksel özelliklerinin zamanla değişebileceği göz önüne alındığında, bu yöntemin P-V karakteristik eğrisinin yeniden ölçülmesine ve çizilmesine olanak sağlamasıdır. Güneş panelinin P-V karakteristik eğrisini çizmek için, güneş panelinin V_{oc} (açık devre gerilimi), I_{sc} (kısa devre akımı) değerleri ve gerçek güneş ışınımı altında farklı yüklerdeki akım ve gerilimler, çıkışa bir değişken direnç yükü bağlanarak ölçülmüştür. Farklı güneş ışınımı değerlerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler denklem (2)'de kullanılarak, hesaplanmış ve ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar, literatürdeki simülasyon çalışmasında (Akbaba ve Alattawi, 1995) olduğu gibi, yaklaşık %1 civarında önemsiz farklılıklar göstermiştir. Farklı güneş ışınımlarında yapılan ölçümler ve hesaplamalardan elde edilen akım ve gerilim değerlerinden oluşan verilerin kullanımı sonucunda, 4 farklı güneş ışınımı için güç değerleri P=VI denklemi kullanılarak hesaplanmış ve bir kısmı P1, P2, P3 ve P4 olarak Çizelge 1'de verilmiştir.

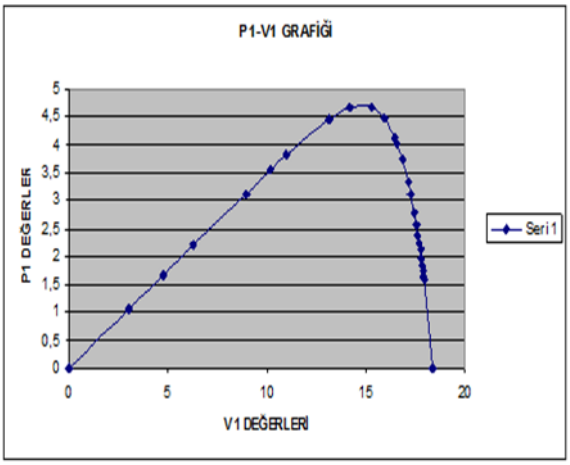
Çizelge 1. 4 Farklı Güneş Işınımı İçin Hesaplanan Bazı Güç Değerleri

P1(Işınım35)	P2(Işınım50)	P3(Işınım85)	P4(Işınım100)
0	0	0	0
1,053	2,74725	1,17	0,6
1,673	4,0261	1,755	1,2
2,205	5,44152	2,34	1,794
3,12355	5,9169	2,925	2,2126
3,5496	6,3535	3,51	2,6865
3,817	6,692	4,095	3,09324
4,4608	6,90525	4,68	3,94345
4,66522	6,9165	4,9725	4,51696
4,67262	6,8382	5,265	5,3985
4,48195	6,7089	5,6648	6,1446
4,12	6,528	6,02239	6,87964
4,02894	6,1827	6,984	7,22538
3,7407	5,797	7,84931	7,5933
3,32516	5,45874	8,33446	8,2534
3,12406	5,27955	8,46849	8,27391
2,792	5,15365	8,3754	8,6488
2,5623	4,7168	8,00156	8,73766
2,36376	4,3463	7,66976	8,5547
2,24536	3,90438	7,37406	8,28191

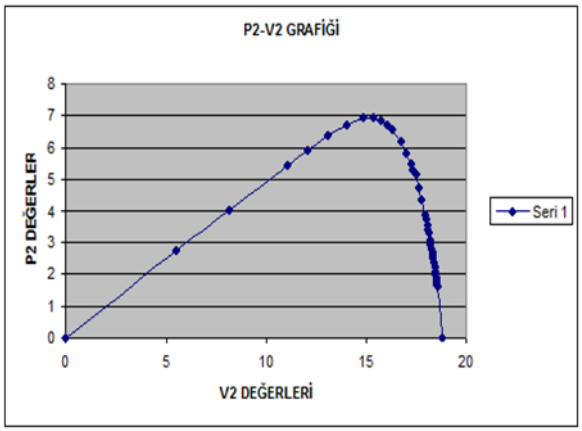
ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2,1324	3,73568	6,37956	7,6368
1,958	3,56796	5,7399	7,43392
1,82172	3,41523	5,11	6,92847

Çizelge 1'deki veriler, farklı güneş ışınımlarında çok sayıda yapılan ölçüm sonucu elde edilen voltaj değerleri ve akım değerlerinin çarpımları sonucu güç değerleri bulunmuş ve bu güç değerleri kullanılarak, PV Güneş Panelinin P-V karakteristik eğrileri çizilmiştir. Elde edilen çizim sonuçları Görsel 1, Görsel 2, Görsel 3 ve Görsel 4' de gösterilmiştir.

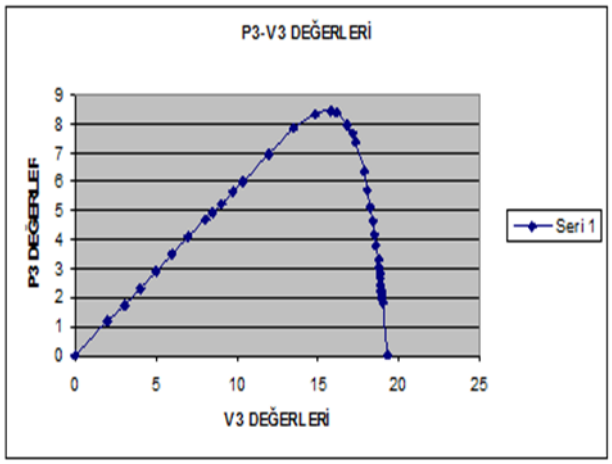


Görsel 1. P-V Karakteristik Eğrisi Işınım %35

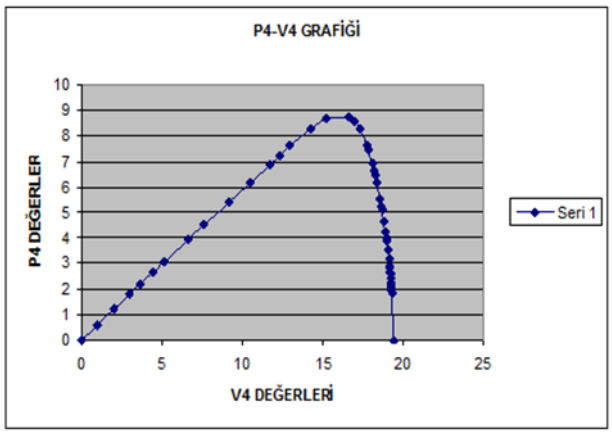


Görsel 2. P-V Karakteristik eğrisi Işınım %50

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 3. P-V Karakteristik Eğrisi ışınım %85



Görsel 4. P-V Karakteristik Eğrisi Işınım %100

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Fotovoltaik (PV) güneş panellerinin diyot modelinden elde edilen P-V karakteristikleri, üretilen elektrik enerjisinin verimli kullanımı için maksimum güç noktalarının belirlenmesinde çok önemlidir. Çünkü bu karakteristiklerde maksimum enerjinin bulunduğu nokta gözlemlenebilir. Bununla birlikte, bu karakteristikleri türetmek için geleneksel olarak kullanılan denklemler doğrusal değildir. Bu nedenle, bunların çözümü çok uzun, zahmetli ve zaman alıcı süreçler gerektirir. Özellikle maksimum güç yörüngesinin hesaplanması oldukça zor ve zahmetlidir. Dahası, bu denklemlerin analitik çözümleri yoktur. Bu nedenle, çözümleri yalnızca bilgisayar programları kullanılarak elde edilebilir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için, PVG literatüründe Akbaba modeli olarak bilinen bir model geliştirilmiştir. Bu modelin, geleneksel denklemlere kıyasla daha kolay kullanıldığı ve uygulamalar ve hesaplamalar için daha uygun olduğu bulunmuştur. En önemlisi, çalışmamız bu modelin analitik olarak da incelenebileceğini göstermektedir. Bu modelin bir diğer avantajı ise, PV güneş panellerinde zamanla elektriksel özelliklerin kısmi kaybı nedeniyle, PV güneş panellerinin gerçek P-V karakteristiklerinin tekrarlanan ölçümlerle belirlenebilmesidir. Bu sayede, daha önce kullanılan ancak elektriksel

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

değişiklikler nedeniyle zamanla doğruluğunu yitirmiş olan değerler, özellikle maksimum güç noktası değerleri, gerçek değerler olarak yeniden hesaplanabilir. Bu çalışmanın, fotovoltaik güneş panelleriyle ilgili P-V karakteristik eğrilerinin, daha fazla çalışma ve uygulama gerektiren süreçlerdeki kullanılabilirliğini göstererek geniş bir uygulama yelpazesi bulacağı umulmakta ve önerilmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Akbaba, M. Optimum matching parameters of an MPPT unit used for a PVG- powered water pumping system for maximum power transfer, International Journal of Energy Research, 30, (2006).

[2] Brambilla, A. New Approach to Photovoltaic Arrays Maximum Power Point Tracking", 30th Power Electronics Specialists Conference, 2: 632-637. (1999).

[3] Kulaksız, A. A., Akkaya, R. Training Data Optimization for ANNs using Genetic Algorithms to Enhance MPPT Efficiency of a Stand-alone PV System, Turkish Journal of Electrical Engineering & ComputerSciences, 20,2, (2012).

[4] Akbaba, M. Matching induction motors to PVG for maximum power transfer, Desalination, 209,1, (2007).

[5] Appelbaum, J., Sarma, M.S. The operation of permanent magnet DC motors powered by a common source of solar cells, IEEE Transactions on Energy Conversion, 4,4, (1989).

[6] Gökşenli, N., Akbaba, M. Development of a new microcontroller based MPPT method for photovoltaic generators using Akbaba model with implementation and simulation, Solar Energy, 136, (2016).

[7] Akbaba, M., Alattawi, M. A. A. A New Model for I–V Characteristic of Solar Cell Generators and its Application, Solar Energy Materials and Solar Cells, 37,2, (1995).

[8] Maka, A. O. and Alabid, J. M. Solar energy technology and its roles in sustainable development , Clean Energy, 6, 3, (2022).

[9] Gulkowski, S. and Krawczak, E. Thin-Film Photovoltaic Modules Characterisation Based on I-V Measurements Under Outdoor Conditions, Energies, 17, 23, (2024).

[10] Kattakayam, T. A. and Srinivasan, K. Experimental investigation on a series–parallel cluster of photovoltaic panels, Solar Energy, 61, 4, (1997).

[11] Chukwuagu, M.I. and Aneke, E.C. Development and Implementation of an Automatic Solar/Ac Power Supply Unit for a Refrigerator, Everant Journals, 8, 1, (2023).

[12] Al-Ezzi, A. S. et al. Photovoltaic solar cells: a review, Applied System Innovation, 5, 4, (2022).

[13] Vimala, M. et al. A Review of Different Types of Solar Cell Materials Employed in Bifacial Solar Photovoltaic Panel, Energies, 16, 8, (2023).

[14] Zhang, Y. et al. Modelling and estimating performance for PV module under varying operating conditions independent of reference condition, Applied Energy, 310, (2022).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

FOTOVOLTAİK JENERATÖRLERİN P-V KARAKTERİSTİKLERİNİN YENİ BİR YÖNTEMLE ÇİZİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi NURETTİN GÖKŞENLİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Elektronik ve Otomasyon Bölümü,

ngoksenli@karatekin.edu.tr - 0000-0002-0858-4448

ÖZET

Bu çalışma, fotovoltaik güneş hücrelerinin P-V karakteristiklerinin en küçük kareler yöntemiyle çizilmesinin simülasyonunu sunmaktadır. Bu yöntem, fotovoltaiklerin P-V karakteristiklerinin formal bir şekilde çizilebileceğini göstermektedir. Bu çalışmada, geleneksel diyot denklemleri ve literatürde yaygın olarak kullanılan Akbaba Modeli olarak bilinen denklemler kullanılarak ayrı algoritmalar oluşturularak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Akbaba Modeli olarak bilinen P-V karakteristik denklemleri en küçük kareler yöntemiyle simülasyon için uygun olduğundan, fotovoltaiklerin P-V karakteristikleri en küçük kareler yöntemi kullanılarak simüle edilmiştir. Böylece, zor, zaman alıcı ve zahmetli süreçlerden kaçınılarak, daha basit bir algoritma ile formal bir yol oluşturulmuştur. Sonuçlar karşılaştırıldığında, önerilen yöntem kullanılarak çizilen P-V karakteristiklerinin simülasyonu ile geleneksel diyot denklemleri kullanılarak yapılan P-V karakteristiklerinin simülasyonu arasında neredeyse %100 benzerlik olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Hücreler, Solar Enerji, Yenilenebilir Enerji, Solar Enerji Verimliliği

1.GİRİŞ

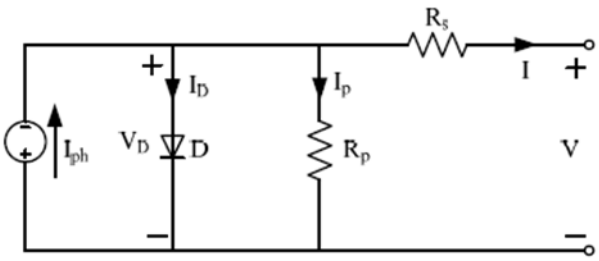
Dünyamızın enerji ihtiyaçları her geçen gün hızla artmaktadır. Sürdürülebilir enerji çözümleri bulma çabalarında, güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Yeşil enerji olarak da bilinen yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, dünyamızın gelecekteki enerji ihtiyaçları için en önemli kaynaklardan biridir. Bu büyük potansiyel nedeniyle, özellikle elektrik olmak üzere güneş enerjisini verimli bir şekilde kullanılabilir formlara dönüştürebilen teknolojiler üzerine araştırmalar yoğunlaşmıştır (Maka, A. O. ve Alabid, J. M. 2022). Güneş enerjisi, kirlilik yaratmayan, tükenmez bir enerji kaynağıdır. Fotovoltaik sistemler, yarı iletken bir cihaz olan güneş hücrelerinden oluşur. Fotovoltaik hücreler esas olarak Dünya'da bol miktarda bulunan bir malzeme olan silikondan yapılmaktadır. Fotovoltaik hücreleri kullanan sistemler, güneşten doğrudan enerji çekerek sürekli ve çevre dostu bir şekilde elektrik üretir (Chukwuagu, M.I. ve Aneke, E.C. 2023). Güneş panelleri, fotovoltaik hücrelerin seri veya paralel olarak birleştirilmesiyle oluşturulur (Kattakayam, T. A. ve Srinivasan, K. 1997). Bu paneller elektrik ürettikleri için fotovoltaik

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

jeneratörler (PVG) olarak bilinirler. Dirençli (Vimala vd., 2023), kapasitif ve endüktif yükler (Zhang vd., 2023), dirençler, transformatörler ve elektrik makineleri (Al-Ezzi vd., 2022) içeren fotovoltaik paneller ve elektrikle çalışan sistemlerle ilgili birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Fotovoltaik sistemler kullanılarak üretilen enerjinin maliyeti, geleneksel elektriğe göre önemli ölçüde daha yüksektir. Bu nedenle, fotovoltaik sistemler maksimum verimlilikte çalıştırılmalıdır. Bu, fotovoltaik panellerin P-V karakteristiklerine dayalı olarak maksimum güç noktasında çalıştırılması gerektiği anlamına gelir (Gulkowski, S. ve Krawczak, E., 2024). Bu nedenle, fotovoltaik panellerin P-V karakteristiklerinin doğru, kolay ve biçimsel olarak çizilmesi önemlidir (Tifidat, K. vd., 2022). Fotovoltaik jeneratörlerin P-V karakteristiklerinin çizimi ve modellenmesi üzerine birçok çalışma bulunmaktadır (Gökşenli, N. vd., 2024). Fotovoltaik jeneratörlerin P-V karakteristikleri doğrusal olmadığından (Olayiwola, T. N. vd., 2024), bir yük bağlandığında çalışma noktası maksimum güç noktasının yörüngesi üzerinde olmalıdır (Gökşenli, N. ve Akbaba, M., 2016). Bu nedenle, maksimum güç noktaları çok iyi tanımlanmalıdır. Bu da, fotovoltaik panellerin P-V karakteristiklerinin baştan itibaren doğru bir şekilde çizilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu çalışmada, öncelikle klasik yöntem ve geleneksel diyot denklemleri kullanılarak fotovoltaik jeneratörlerin P-V karakteristiklerinin simülasyon grafikleri çizilmiştir. Daha sonra, fotovoltaik jeneratörlerin P-V karakteristiklerinin simülasyon grafikleri, fotovoltaikler için geliştirilen Akbaba Model denklemleri kullanılarak en küçük kareler yöntemiyle tekrar çizilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. METODOLOJİ

Fotovoltaik hücre kullanımının artan önemiyle birlikte, simülasyon modelleri üzerine yapılan araştırmalar da hızlanmaktadır. Geleneksel alternatif akım (AC) ve doğru akım (DC) kaynaklarına kıyasla farklı özellikleri ve çevresel etkilere duyarlılıkları nedeniyle, güneş panellerinin modellenmesi ve simülasyonu oldukça zordur (Tahir, M. S. vd., 2025).
Görsel 1, genel modelin en basit eşdeğer devresini göstermektedir. Bu devre, bir foto akım (Iph), bir diyot, kaçak akımı temsil eden paralel bir direnç (Rp) ve akım akışına karşı iç direnci tanımlayan seri bir dirençten (Rs) oluşmaktadır (Hernanz, R. vd., 2010).



Görsel 1. Fotovoltaik Hücrenin Tek Diyotlu Elektrik Eşdeğer Modeli.

Görsel 1'deki devre analiz edilirse,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

$$I_{ph} - I_o.\left\{\exp\left(\frac{q.(V+I.R_s)}{m.k.T_c}\right) - 1\right\} - \frac{V+I.R_s}{R_p} - I = 0 \quad (1)$$

İfadesi elde edilir. Burada I çıkış akımı, V çıkış gerilimi, Iph foton akımı, I_D diyot akımı, Io diyot doyma akımı, m diyot kalite faktörü, Tc hücre sıcaklığı, q elektron yükü, k Boltzmann sabitidir (Hernanz, R. vd. (2010).

Gerilim değeri sıfır ise, kısa devre akımı aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_{ph} - I_o.\left\{\exp\left(\frac{q.I_{sc}.R_s}{m.k.T_c}\right) - 1\right\} - \frac{I_{sc}.R_s}{R_p} - I_{sc} = 0, \quad (2)$$

$$I_{sc} = \frac{R_p}{R_s+R_p}.\left\{I_{ph} - I_o.\left\{exp\left(\frac{q.I_{sc}.R_s}{m.k.T_c}\right) - 1\right\}\right\} \quad (3)$$

Güneş radyasyonuna bağlı eşdeğer model parametreleri için geçerli denklemler (Hernanz, R. vd., 2010) aşağıda gösterilmiştir.

$$I_{ph} = G.\{I_{scr} + k_{sc}.(T_c - T_r)\} \quad (4)$$

$$T_c = \frac{NOCT-20}{0{,}8}.G + T_a \quad (5)$$

$$I_o = I_{or}.\left(\frac{T_c}{T_r}\right)^{3/m}.exp\left\{\frac{E_G}{V_T}.\left(\frac{T_c-T_r}{T_r}\right)\right\} \quad (6)$$

$$I_{or} = \frac{I_{scr}}{ln\left(\frac{V_{ocr}-1}{V_T}\right)} \quad (7)$$

$$R_s = R_{sr}.exp\{C_s.(T_a - T_r)\} \quad (8)$$

$$R_p = R_{pr}.\{1 + \mathrm{C_p}.(\mathrm{T_a} - \mathrm{T_r})\} \quad (9)$$

Burada I_{or}, referans sıcaklıkta diyot doyma akımı; I_{scr}, referans sıcaklıkta kısa devre akımı, k_{sc}, kısa devre akımının sıcaklık katsayısı; Tr, referans sıcaklık, Ta, ortam sıcaklığı, NOCT, nominal hücre çalışma sıcaklığı, G, güneş radyasyonu, V_{ocr}, referans sıcaklıkta açık devre gerilimi, E_G, yarı iletken malzemeler için enerji bant aralığı, R_{sr}, referans sıcaklıkta seri direnç, R_{pr}, referans sıcaklıkta paralel dirençtir.

Direnç R_p, son derece yüksek olduğundan modellemede ihmal edilmiştir. Bu durumda, I_{sc}=I_{ph} kısa devre çıkış akımı olarak kabul edilebilir. Kısa devre durumunda, pilin çıkış akımı aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_{ph} = I_o.\left\{exp\left(\frac{q.I_{sc}.R_s}{m.k.T_c}\right) - 1\right\} + I_{sc} \quad (10)$$

$$exp\left(\frac{q.I_{sc}.R_s}{m.k.T_c}\right) = \frac{I_{ph}-I_{sc}+I_o}{I_o} \quad (11)$$

Açık devre durumunda, çıkış gerilimi aşağıdaki gibi bulunur.

$$I_{ph} = I_o.\left\{exp\left(\frac{q.V_{oc}}{m.k.T_c}\right) - 1\right\} \quad (12)$$

$$exp\left(\frac{q.V_{oc}}{m.k.T_c}\right) = \frac{I_{ph}+I_o}{I_o} \quad (13)$$

$$V_{oc} = \frac{m.k.T_c}{q}.ln\left\{\frac{I_{ph}+I_o}{I_o}\right\} \quad (14)$$

Geleneksel diyot modelinde maksimum güç noktasını (MPP) belirlemek için güç denklemi aşağıdaki gibi olur.

$$P = I.V \rightarrow \frac{\partial P}{\partial V} = 0 \rightarrow \frac{\partial}{\partial V}\left\{\left(I_{ph} - I_o.\left\{exp\left(\frac{V+I.R_s}{V_T}\right) - 1\right\} - \frac{V+I.R_s}{R_p}\right).V\right\} = 0 \quad (15)$$

Aşağıda gösterildiği gibi maksimum güç noktası gerilimini (Vmpp) ve maksimum güç noktası akımını (Impp) elde edebiliriz.

$$V_{mpp} = \frac{R_p}{2}I_{ph} - \frac{I_o.R_p}{2}\left\{exp\left(\frac{V_{mpp}+I_{mpp}.R_s}{V_T}\right).\left\{\frac{V_{mpp}}{V_T} + 1\right\} - 1\right\} - \frac{I_{mpp}.R_s}{2} \quad (16)$$

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

$$I_{mpp} = I_{ph} - I_o.\left\{exp\left(\frac{V_{mpp}+I_{mpp}.R_s}{V_T}\right) - 1\right\} - \frac{V_{mpp}+I_{mpp}.R_s}{R_p} \quad (17)$$

Sayısal işlemlerde kullanımının daha kolay ve analizlerde daha başarılı olduğu kanıtlanmış olan Akbaba Modeli kullanılarak yazılabilecek PV hücresi çıkış akımı ifadesi literatürde yerini bulmuştur (Göksenli, N. ve Akbaba, M. (2016)).

$$I = \frac{V_{oc}-V}{A+B.V+C.V^2} \quad (18)$$

A, B ve C katsayıları güneş radyasyonuna bağlı parametrelerdir ve değişim formülasyonları aşağıda verilmiştir.

$$A = \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \quad (19)$$

Açık devre geriliminin kısa devre akımına oranı A parametresini belirler ve her ikisi de aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$V_{oc} = s.G^p - q.G^2 \quad (20)$$

$$I_{sc} = k.G \quad (21)$$

Akbaba Modelinde maksimum güç noktasını (MPP) belirlemek için aşağıdaki güç denklemi kullanılır.

$$P = I.V \rightarrow \frac{\partial P}{\partial V} = 0 \rightarrow \frac{\partial}{\partial V}\left\{\frac{(V_{oc}-V).V}{A+B.V+C.V^2}\right\} = 0 \quad (22)$$

Aşağıda gösterildiği gibi maksimum güç noktası gerilimini (Vmpp) ve maksimum güç noktası akımını (Impp) elde edebiliriz.

$$V_{mpp(1,2)} = \frac{A\pm\sqrt{A^2+A.B.V_{oc}+A.C.V_{oc}^2}}{C+B.V_{oc}} \quad (23)$$

$$I_{mpp(1)} = \frac{V_{oc}-V_{mpp(1)}}{A+B.V_{mpp(1)}+C.V_{mpp(1)}^2} \quad (24)$$

$$I_{mpp(2)} = \frac{V_{oc}-V_{mpp(2)}}{A+B.V_{mpp(2)}+C.V_{mpp(2)}^2} \quad (25)$$

Akbaba Modeli denklemi şöyledir:

$$I=\frac{V_{oc}-V}{A+B.V+C.V^2} \quad (26)$$

Denklem (26)'yı aşağıdaki gibi yazabiliriz,

$$I.A+I.B.V+I.V^2.C=V_{oc} - V \quad (27)$$

Denklem (27)' yi, en küçük kareler yöntemi tekniği ile çözmek için tanımlamalar yaparsak, her güneş ışınımı seviyesinde toplam m veri noktası kullanalım. Ancak A, B ve C sadece bilinmeyen değişkenlerdir ve j, n'ye kadar olan güneş ışınımı seviyesini, i ise m'ye kadar olan her ışınım seviyesi için örneklenen veya ölçülen değerleri temsil eder.

Doğrusal denklemlerin terimlerini şu şekilde yazabiliriz:

$$a_1(i,j) = I \quad (28)$$

$$a_2(i,j) = I.V \quad (29)$$

$$a_3(i,j) = I.V^2 \quad (30)$$

$$y(i,j) = V_{oc} - V \quad (31)$$

Bu terimleri kullanarak, Akbaba Model denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$a_1(i,j).A + a_2(i,j).B + a_3(i,j).C = y(i,j) \quad (32)$$

Bu, herhangi bir noktada geçerlidir.

Öte yandan, hata hesaplaması aşağıdaki denklemle yapılabilir:

$$\varepsilon_i = y_i - g(x_i) \quad (33)$$

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Bizim düşüncemize göre,

$$y_i = y(i,j) \quad (34)$$

Buradan

$$\varepsilon_i = y(i,j) - \{ a_1(i,j).A + a_2(i,j).B + a_3(i,j).C \} \quad (35)$$

ve sadece tek bir güneş ışınımı için toplam hatanın karesini bulmak.

$$E = \sum_{i=1}^{m} \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^{m} (y(i,j) - \{a_1(i,j).A + a_2(i,j).B + a_3(i,j).C\})^2 \quad (36)$$

Denklem 31'e bakarak aşağıdaki ikameleri elde ederiz:

$$y_i = y(i,j) \quad (37)$$

$$g(x_i) = a_1(i,j).A + a_2(i,j).B + a_3(i,j).C \quad (44)$$

$$\frac{\partial g(x_i)}{\partial A} = a_1(i,j) \quad (38)$$

$$\frac{\partial g(x_i)}{\partial B} = a_2(i,j) \quad (39)$$

$$\frac{\partial g(x_i)}{\partial C} = a_3(i,j) \quad (40)$$

Güneş ışınım seviyesini ayıran j (1 ila n) değişkenlerimiz için en küçük kareler denklemini yeniden düzenleyerek,bazı matematiksel işlemler yaparsak, aşağıdaki denklemlerde gösterildiği gibi A, B ve C katsayılarını elde edebiliriz.

ak = A'ya göre kısmi türev, denklem (41)'u verir.

$$\sum_{i=1}^{m} y(i,j).a_2(i,j) = \sum_{i=1}^{m} \{a_1(i,j).a_2(i,j).A + a_2^2(i,j).B + a_2(i,j).a_3(i,j).C\} \quad (41)$$

ak = B'ye göre kısmi türev, denklem (42)'yi verir.

$$\sum_{i=1}^{m} y(i,j).a_2(i,j) = \sum_{i=1}^{m} \{a_1(i,j).a_2(i,j).A + a_2^2(i,j).B + a_2(i,j).a_3(i,j).C\} \quad (42)$$

ak = C'ye göre kısmi türev, denklem (43)'ü verir,

$$\sum_{i=1}^{m} y(i,j).a_3(i,j) = \sum_{i=1}^{m} \{a_1(i,j).a_3(i,j).A + a_2(i,j).a_3(i,j).B + a_3^2(i,j).C\} \quad (43)$$

Denklem (41)- (43)'ü aşağıdaki gibi matris biçiminde düzenleyebiliriz.

$$\begin{bmatrix} \sum a_1^2(i,j) & \sum a_1(i,j).a_2(i,j) & \sum a_1(i,j).a_3(i,j) \\ \sum a_1(i,j).a_2(i,j) & \sum a_2^2(i,j) & \sum a_2(i,j).a_3(i,j) \\ \sum a_1(i,j).a_3(i,j) & \sum a_2(i,j).a_3(i,j) & \sum a_3^2(i,j) \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum a_1(i,j).y(i,j) \\ \sum a_2(i,j).y(i,j) \\ \sum a_3(i,j).y(i,j) \end{bmatrix} \quad (44)$$

j, n'ye kadar olan güneş ışınımı seviyesini, i ise m'ye kadar olan her bir ışınım için örneklenen veya ölçülen değerleri temsil eder. Açıklık sağlamak için aşağıdaki adımları izleyerek çözebiliriz. Örneğin, herhangi bir ışınım seviyesinde G=%100, j=1'dir.

$$\begin{bmatrix} \sum a_1^2(i,1) & \sum a_1(i,1).a_2(i,1) & \sum a_1(i,1).a_3(i,1) \\ \sum a_1(i,1).a_2(i,1) & \sum a_2^2(i,1) & \sum a_2(i,1).a_3(i,1) \\ \sum a_1(i,1).a_3(i,2) & \sum a_2(i,1).a_3(i,1) & \sum a_3^2(i,1) \end{bmatrix} . \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum a_1(i,1).y(i,1) \\ \sum a_2(i,1).y(i,1) \\ \sum a_3(i,1).y(i,1) \end{bmatrix} \quad (45)$$

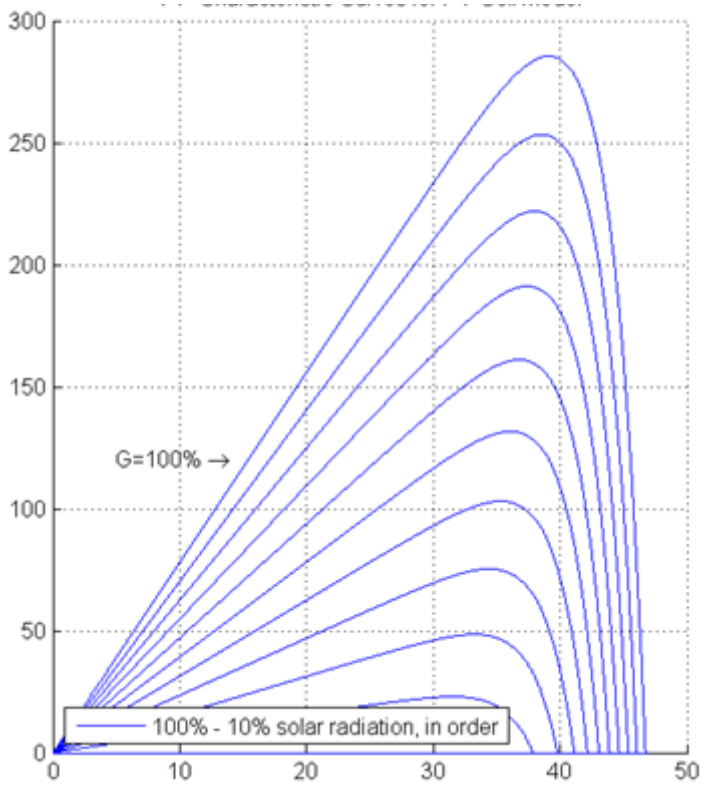
Eğer ölçülmüş/bilinen değerlere sahip 10 noktamız varsa, i 1'den 10'a kadar değişir. Bunun anlamı, j=1 güneş ışınımı için 10x3'lük bir matrise sahip olmamızdır. Benzer durum j=2 için de elde edilir, yani katsayı matrisi için 10x3'lük bir matris. Son olarak, n farklı güneş ışınımı için mx3'lük matrislerimiz olur. Bu doğrusal denklem sistemini çözmek için aşırı belirlenmiş bir koşul elde ederiz.

3. UYGULAMA YÖNTEMİ VE P-V KARAKTERİSTİK EĞRİSİNİN ÇİZİMİ

İlk olarak geleneksel diyot denklemlerini kullanarak fotovoltaik hücrelerin P-V karakteristiklerini çizmek için bir algoritma geliştirilmiştir. Matlab simülasyon programı

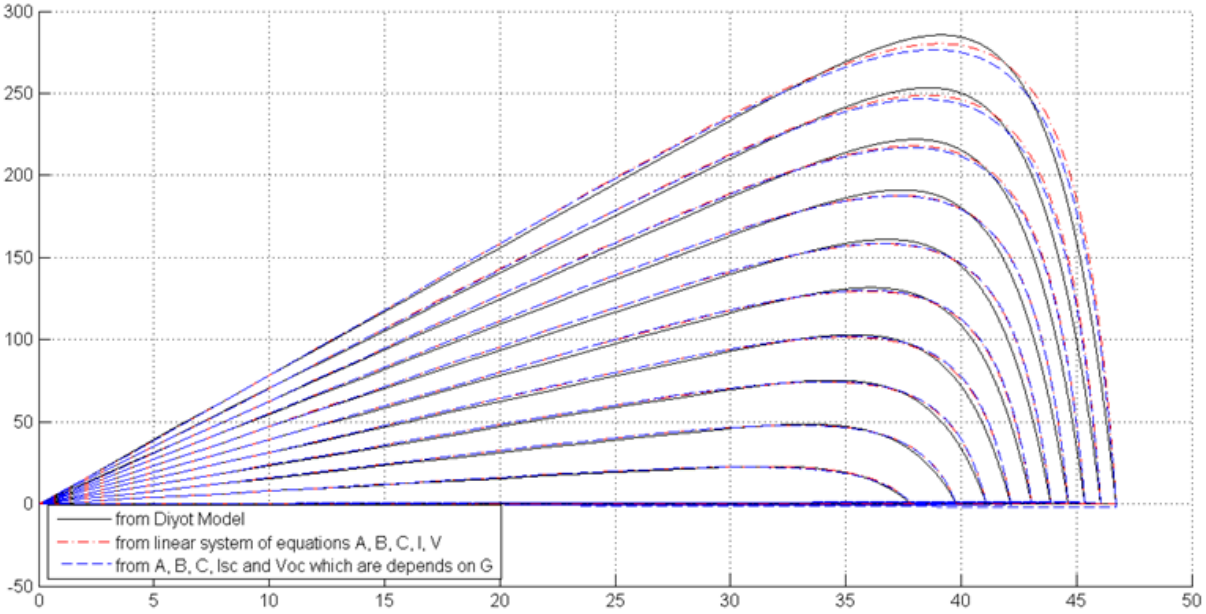
ISBN NR: 978-625-8795-05-9

kullanılarak bu algoritmaya göre bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım sonucunda, Görsel 2'de gösterildiği gibi fotovoltaik hücrelerin P-V karakteristikleri elde edilmiştir.



Görsel 2. Matlab Programı Kullanılarak Geleneksel Diyot Modeli İçin P-V Karakteristikleri.

Daha sonra Akbaba Model denklemlerini kullanarak PV hücrelerinin P-V karakteristiklerini çizmek için geliştirilen ve doğruluğu tatmin edici olan bir algoritma daha sunulmuştur. Matlab simülasyon programı kullanılarak ve bu algoritma uygulanarak, PV hücrelerinin P-V karakteristikleri Görsel 3'te gösterildiği gibi elde edilmiştir.



Görsel 3. Matlab Programı Kullanılarak Akbaba Modeli İçin P-V Karakteristikleri.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, fotovoltaik hücrelerin P-V karakteristiklerinin çizimi üç farklı yöntem kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bunlar geleneksel diyot modeli, Akbaba modeli ve Akbaba modelinin en küçük kareler yöntemiyle kullanılmasıdır. Bu üç yöntem için algoritmalar geliştirilmiş, matlab programı kullanılarak simülasyonlar yapılmış ve elde edilen P-V karakteristikleri farklı güneş ışınımları için ayrı ayrı çizilmiştir. Görsel 3'te görüldüğü gibi, fotovoltaik hücrelerin P-V karakteristiklerinin çiziminde kullanılan üç farklı yöntem, daha kolay karşılaştırma için aynı grafikte birleştirilmiştir. Sonuç olarak, Görsel 3'te görülebileceği gibi, aralarında çok küçük, ihmal edilebilir farklılıklar vardır ve bu kabul edilebilir bir aralıktadır. Bu çalışmanın, fotovoltaik sistemlerle ilgilenen araştırmacılar ve uygulayıcılar için geniş bir araştırma ve uygulama alanı olabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

[1] Maka, A. O. and Alabid, J. M. Solar energy technology and its roles in sustainable development , Clean Energy, 6, 3, (2022).

[2] Chukwuagu, M.I. and Aneke, E.C. Development and Implementation of an Automatic Solar/Ac Power Supply Unit for a Refrigerator, Everant Journals, 8, 1, (2023).

[3] Kattakayam, T. A. and Srinivasan, K. Experimental investigation on a series–parallel cluster of photovoltaic panels, Solar Energy, 61, 4, (1997).

[4] Vimala, M. et al. A Review of Different Types of Solar Cell Materials Employed in Bifacial Solar Photovoltaic Panel, Energies, 16, 8, (2023).

[5] Zhang, Y. et al. Modelling and estimating performance for PV module under varying operating conditions independent of reference condition, Applied Energy, 310, (2022).

[6] Al-Ezzi, A. S. et al. Photovoltaic solar cells: a review, Applied System Innovation, 5, 4, (2022).

[7] Gulkowski, S. and Krawczak, E. Thin-Film Photovoltaic Modules Characterisation Based on I-V Measurements Under Outdoor Conditions, Energies, 17, 23, (2024).

[8] Tifidat, K. et al. An accurate approach for modeling I-V characteristics of photovoltaic generators based on the two-diode model, Energy Conversion and Management: X, 14, (2022).

[9] Gökşenli, N. et al. Determination of I-V curves for photovoltaic generator by an analytical method: Akbaba Model, Journal of Computer & Electrical and Electronics Engineering Sciences, 2, 2, (2024).

[10] Olayiwola, T. N. et al. Photovoltaic Modeling: A Comprehensive Analysis of the I–V Characteristic Curve, Sustainability, 16, (2024).

[11] Goksenli, N. and Akbaba, M. Development of a new microcontroller based MPPT method for photovoltaic generators using Akbaba model with implementation and simulation, Solar Energy, 136, (2016).

[12] Tahir, M. S. et al. Mathematical and simulation modeling of photovoltaic systems utilizing thermoelectric modules for effective thermal management, Results in Engineering, 27, (2025).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[13] Hernanz, R. et al. Modeling of Photovoltaic Module, Renewable Energy and Power Quality Journal, 1, 8, (2010).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

COMPUTATONAL STUDY ON THE SPECTROSCOPIC, ELECTRONIC AND NLO PROPERTIES OF 2,3-DIFURYLQUINOXALINE

Prof. Dr., HAMİT ALYAR [1], Prof. Dr., SALİHA ALYAR [2]

[1] Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, halyar@karatekin.edu.tr - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8895-5017

[2]Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, saliha@karatekin.edu.tr- ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7333-5248

ABSTRACT

In this study, a comprehensive density functional theory (DFT) investigation of 2,3-difurylquinoxaline was conducted to explore its structural, spectroscopic, electronic, and nonlinear optical (NLO) properties. All quantum chemical calculations were performed using the Gaussian 09 program package at the B3LYP level of theory with the 6-311++G(d,p) basis set. The molecular geometry of the compound was fully optimized in the ground state without imposing any symmetry constraints, and the absence of imaginary frequencies confirmed the stability of the optimized structure.

The vibrational frequencies were calculated to obtain the theoretical FT-IR spectrum, and the computed results were analyzed in detail by assigning the characteristic vibrational modes of the quinoxaline ring and difuryl moieties. A good agreement between theoretical and expected experimental FT-IR data was achieved. In addition, the 1H-NMR and 13C-NMR chemical shifts were calculated using the Gauge-Independent Atomic Orbital (GIAO) method. The electronic properties of the molecule were further investigated through frontier molecular orbital (HOMO–LUMO) analysis.

In order to evaluate the potential application of 2,3-difurylquinoxaline in optoelectronic materials, nonlinear optical (NLO) properties were also calculated. The dipole moment, mean polarizability, and first hyperpolarizability (β) values were determined and discussed. The obtained results suggest that the compound exhibits notable NLO response, which may be attributed to the extended π-conjugation and intramolecular charge transfer between the electron-rich furyl groups and the quinoxaline core.

Overall, the present theoretical study provides a detailed understanding of the spectroscopic behavior, electronic structure, and NLO characteristics of 2,3-difurylquinoxaline, demonstrating that the B3LYP/6-311++G(d,p) level of theory is an effective and reliable approach for investigating such heterocyclic systems.

Key Words : FT-IR, NMR, NLO

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. INTRODUCTION

Quinoxaline and its derivatives constitute an important class of nitrogen-containing heterocyclic compounds widely recognized for their remarkable chemical versatility and broad spectrum of applications in medicinal chemistry, materials science, and molecular electronics. The quinoxaline scaffold, formed by the fusion of a benzene ring with a pyrazine moiety, provides a rigid and conjugated π-system that facilitates electronic delocalization and tunable physicochemical properties. Due to these structural features, quinoxaline derivatives exhibit diverse biological activities, including antimicrobial, anticancer, antiviral, and anti-inflammatory effects [1,2]. In addition to their pharmacological relevance, quinoxaline-based systems have attracted considerable interest in optoelectronic and nonlinear optical (NLO) material research because of their strong electron-accepting character and extended conjugation [3].

Among quinoxaline derivatives, furyl-substituted analogues such as 2,3-difurylquinoxaline represent promising π-conjugated systems with enhanced donor–acceptor interactions. The incorporation of electron-rich furan rings into the quinoxaline core increases intramolecular charge transfer (ICT), thereby modulating frontier molecular orbital energies and improving optical response properties. Such structural modifications are particularly important in the rational design of organic semiconductors, photovoltaic materials, and second-order NLO chromophores [4,5].

Spectroscopic techniques such as Fourier Transform Infrared (FT-IR) and Nuclear Magnetic Resonance (^{1}H and ^{13}C NMR) spectroscopy play a central role in confirming molecular structures and evaluating electronic environments in heterocyclic systems. FT-IR spectroscopy provides valuable information regarding functional group vibrations, hydrogen bonding interactions, and conjugation effects, whereas ^{1}H and ^{13}C NMR spectra offer detailed insight into proton and carbon chemical environments, aromaticity, and substituent effects. Correlating experimental spectroscopic data with theoretical calculations significantly enhances structural reliability and vibrational assignment accuracy [6].

In recent decades, Density Functional Theory (DFT) has become one of the most reliable and widely applied quantum chemical approaches for investigating structural, electronic, and spectroscopic properties of organic molecules. The B3LYP hybrid functional, introduced by Becke (1993) and further developed by Lee, Yang, and Parr (1988), combined with extended basis sets such as 6-311++G(d,p), provides a balanced description of electron correlation, polarization, and diffuse effects. This level of theory has proven particularly effective for predicting vibrational frequencies, NMR chemical shifts (via GIAO method), frontier molecular orbital energies, and molecular electrostatic potential (MEP) surfaces in π-conjugated systems.

Frontier molecular orbital (FMO) analysis, especially the evaluation of Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) and Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) energies, is crucial for understanding chemical reactivity, kinetic stability, and charge transfer behavior. The HOMO–LUMO energy gap (ΔE) provides insight into molecular stability and electronic

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

excitation characteristics, which are directly related to optical and semiconducting performance. Molecules with smaller energy gaps generally exhibit enhanced polarizability and improved NLO responses.

Nonlinear optical (NLO) properties, including dipole moment (μ), mean polarizability (α), and first hyperpolarizability (β), are fundamental parameters for evaluating materials suitable for photonic and electro-optic applications. Organic π-conjugated systems possessing donor–acceptor architectures and efficient charge delocalization typically display significant NLO activity [5]. In this context, furyl-substituted quinoxaline derivatives are attractive candidates due to their extended conjugation pathway and potential intramolecular charge transfer characteristics.

Furthermore, Molecular Electrostatic Potential (MEP) surface analysis provides a three-dimensional visualization of electron density distribution and reactive sites within a molecule. Regions of negative electrostatic potential are generally associated with electrophilic attack susceptibility, while positive regions indicate nucleophilic attack sites. MEP mapping therefore offers valuable complementary information to HOMO–LUMO analysis in interpreting chemical reactivity patterns.

Considering the structural importance and promising electronic features of quinoxaline derivatives, a comprehensive combined experimental and theoretical investigation of 2,3-difurylquinoxaline is of significant interest. In the present study, spectroscopic properties of 2,3-difurylquinoxaline were examined using FT-IR, ^{1}H-NMR, and ^{13}C-NMR techniques, supported by DFT calculations at the B3LYP/6-311++G(d,p) level. Vibrational assignments, NMR chemical shifts, frontier molecular orbital analysis, nonlinear optical parameters, and molecular electrostatic potential surfaces were systematically analyzed to elucidate structure–property relationships and evaluate the compound's potential in optoelectronic and NLO applications.

2. COMPUTATIONAL DETAILS

All quantum chemical calculations for 2,3-difurylquinoxaline were performed using Density Functional Theory (DFT) as implemented in the Gaussian 09 program package [7]. Geometry optimization was carried out without any symmetry constraints using the hybrid B3LYP functional, which combines Becke's three-parameter exchange functional with the Lee–Yang–Parr correlation functional [8,9]. The triple-ζ split-valence 6-311++G(d,p) basis set was employed to ensure an accurate description of polarization and diffuse effects, particularly important for π-conjugated heteroaromatic systems.

Vibrational frequency calculations were performed at the same level of theory to verify that the optimized structure corresponds to a true minimum on the potential energy surface, confirmed by the absence of imaginary frequencies.

The ^{1}H and ^{13}C NMR chemical shifts were calculated using the Gauge-Including Atomic Orbital (GIAO) method [10] at the B3LYP/6-311++G(d,p) level. Tetramethylsilane (TMS) was used

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

as the reference compound, and the chemical shifts (δ) were obtained from the difference between the isotropic magnetic shielding constants of TMS and those of the studied molecule.

Frontier molecular orbital (FMO) analysis was performed using the optimized geometry to determine the energies of the Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) and Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO). The HOMO–LUMO energy gap (ΔE) was used to evaluate molecular stability and intramolecular charge transfer characteristics.

Nonlinear optical (NLO) properties such as total dipole moment (μ), mean polarizability (α), anisotropy of polarizability (Δα), and first hyperpolarizability (β) were calculated using the finite field approach at the same level of theory. The total first hyperpolarizability (β_tot) was obtained from the tensor components according to standard equations described in the literature [8]. All NLO parameters were converted from atomic units (a.u.) to electrostatic units (esu) for comparison with previously reported organic NLO materials.

The Molecular Electrostatic Potential (MEP) surface was generated based on the electron density distribution of the optimized structure to identify potential electrophilic and nucleophilic reactive sites. The MEP map was visualized using the graphical interface of GaussView [11], where negative potential regions (red) indicate electron-rich areas susceptible to electrophilic attack, and positive regions (blue) correspond to electron-deficient regions favorable for nucleophilic attack.

All calculations were performed in the gas phase using tight self-consistent field (SCF) convergence criteria to ensure reliable results. The combined theoretical analyses were employed to support experimental spectroscopic data and to elucidate the electronic structure, reactivity, and nonlinear optical behavior of 2,3-difurylquinoxaline.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Geometry optimization calculations revealed that there is an approximately 12.5-degree dihedral angle between the planes of the two furan rings. Geometry optimization calculations revealed that there is an approximately 12.5-degree dihedral angle between the planes of the two furan rings. The stable structure of the compound obtained from calculations using the Gaussian09 program is given in Figure 1.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

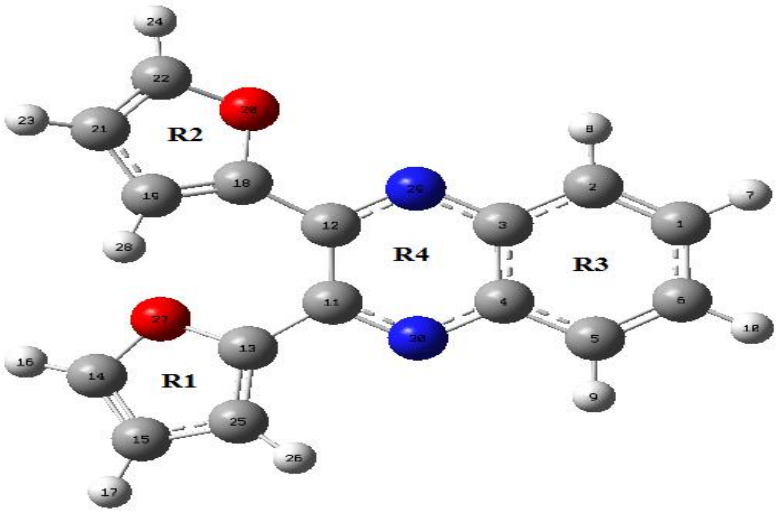


Figure1. The Stable Structure of The 2,3-difurylquinoxaline

3.1. Vibrational Analysis

The vibrational frequencies of 2,3-difurylquinoxaline calculated at the B3LYP/6-311++G(d,p) level were systematically compared with the available experimental data, and the assignments are presented in Table 1. In general, a good agreement between theoretical and experimental frequencies was observed, confirming the reliability of the applied density functional theory (DFT) method for describing the vibrational behavior of the molecule. The small discrepancies between calculated and experimental values can mainly be attributed to the harmonic approximation inherent in DFT calculations and the phase differences between theoretical (gas phase) and experimental (solid or solution phase) conditions.

In the high-frequency region (3200–3300 cm^{-1}), the aromatic C–H stretching vibrations (ν(CH)) are clearly identified. The calculated frequencies are slightly higher than the experimental values, which is a well-known systematic trend in DFT calculations due to the neglect of anharmonic effects [12]. These modes correspond to the stretching vibrations of hydrogen atoms attached to the aromatic rings, including both quinoxaline and furan moieties. Similar behavior has been reported for other heteroaromatic systems, where theoretical methods tend to overestimate vibrational frequencies [6].

In the frequency region (1500–1650 cm^{-1}), strong bands corresponding to C=C and C=N stretching vibrations are observed. The band around ~1628 cm^{-1} is mainly attributed to the ring C=C stretching vibration, while the peaks near ~1500 cm^{-1} are associated with C=N stretching modes. These vibrations often exhibit mixed character due to the extended π-conjugation across the quinoxaline and furan rings. The coupling of C=C and C=N stretching modes is a characteristic feature of conjugated heterocyclic compounds and has been widely discussed in the literature [12,13].

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Table 1. Experimental and Theoretical Vibrational Wave Numbers (cm-1) and Vibrational Assignments of 2,3-difurylquinoxaline

Calculated	Exp.[15]	Vibrational Assignment
3292		υ_{as} $(CH)_{R1}$
3291		υ_{as} $(CH)_{R2}$
3273		υ_{as} $(CH)_{R2}$
3270		υ_{as} $(CH)_{R1}$
3244/3243		υ_{as} $(CH)_{R1}$
3193		υ_{s} $(CH)_{R3}$
3189/3174		υ_{as} $(CH)_{R3}$
1628		$\upsilon(CC)_{ring}$
1589/1587		υ $(CC)_{ring}$ + υ (C13-C11) + υ (C12-C18)
1563		υ $(CC)_{R3}$
1506	1648	υ (CN)
1492		υ $(CC)_{R2}$ + υ (CN) + υ (C12-C18)
1490		υ $(CC)_{R1}$ + υ (CN) + β $(CCH)_{R3}$
1477		υ $(CC)_{R1}$ + υ (C13-C11) + β $(CCH)_{R3}$
1458		υ $(CC)_{R2,R3}$ + υ (CN) + β $(CCH)_{R3}$
1399		υ $(CC)_{R1,R2,R3,R4}$ + υ (CO) + β $(CCH)_{R2}$
1383/1381		υ $(CC)_{R1,R2}$ + β $(CCH)_{R1,R2}$
1346		υ $(CC)_{R1,R2,R3,R4}$ + υ (CO)
1327		υ $(CC)_{R1,R2,R3,R4}$ + υ (CN) + β $(CCH)_{R3}$
1297		υ (CN) + υ $(CC)_{R3}$
1261		$\beta(CCH)_{R3}$ + β(CNC) + β $(CCH)_{R3}$
1245		υ (C13-C11) + $\beta(CCH)_{R1,R2,R3}$ + β $(CCH)_{R3}$
1224/1216		υ $(CC)_{R2,R3}$ + υ (CN) + β $(CCH)_{R2,R3}$
1196		υ $(CC)_{R1}$ + υ (CN) + β $(CCH)_{R1}$
1148/1138	1148	υ (CO) + υ $(CC)_{R3}$ + β $(CCH)_{R3}$
1133		υ $(CC)_{R2}$ + β $(CCH)_{R2}$
1132		υ $(CC)_{R1}$ + β $(CCH)_{R1}$
1059		υ $(CC)_{R1,R1}$ + υ (C12-C11) + β $(CCH)_{R1,R2}$
1049/1034		υ $(CC)_{R1,R2}$ + υ (CO) + β $(CCH)_{R1,R2}$
1019		υ $(CC)_{R2,R3}$ + υ (CO)
1006		υ $(CC)_{R1}$ + υ (CO) + β $(CCH)_{R1}$
993/973		$\tau(CCCH)_{R3}$ + $\tau(CCCC)_{R3}$
965		υ (CO) + β (CCN) + β (CNC)
915		υ (CO) + β (CCO) + β $(CCC)_{R3}$
901		β (COC)

The good agreement between theoretical and experimental values in this region further confirms the proper description of electron delocalization within the molecule.

The region between 1400 and 1200 cm^{-1} is characterized by complex vibrational modes involving combinations of C–C, C–O, and C–N stretching vibrations along with in-plane C–H bending modes (β(C–H)). In particular, the presence of furan rings contributes significantly to the C–O stretching vibrations in this region. The calculated frequencies successfully reproduce the mixed vibrational character observed experimentally, indicating that the computational

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

method adequately captures the interactions between different functional groups. Such mixed modes are commonly observed in molecules with multiple conjugated rings and heteroatoms [6].

In the lower frequency region (<1000 cm^{-1}), out-of-plane bending (γ) and torsional (τ) vibrations dominate. These include ring deformation, C–H wagging, and skeletal torsional motions. The theoretical frequencies in this region are generally slightly higher than the experimental values, which is consistent with the limitations of the harmonic oscillator approximation used in DFT calculations.

Overall, the vibrational assignments show a high degree of consistency between experimental and theoretical results. The successful reproduction of both stretching and bending vibrational modes demonstrates that the B3LYP functional combined with the 6-311++G(d,p) basis set is suitable for modeling the vibrational properties of 2,3-difurylquinoxaline. Furthermore, the results clearly reflect the influence of π-electron delocalization, heteroatom contributions, and ring–ring interactions on the vibrational characteristics of the molecule.

3.2. ^{1}H-NMR and ^{13}C-NMR Results

The experimental and theoretical ^{1}H and ^{13}C-NMR chemical shifts of 2,3-difurylquinoxaline were analyzed and compared, and the results are summarized in Table 2. The theoretical chemical shifts were calculated using the DFT/B3LYP method with an appropriate basis set, and overall, a good agreement between experimental and calculated values was observed. The deviations between experimental and theoretical data can be attributed to solvent effects, intermolecular interactions, and the limitations of the computational model, which typically considers the molecule in the gas phase [14].

For the ^{13}C NMR spectrum, the calculated chemical shifts are generally higher than the experimental values, which is a commonly observed trend in DFT-based NMR calculations. This systematic deviation arises from the shielding tensor approximations and the absence of explicit solvent modeling unless a continuum solvation model is applied [14]. The carbon atoms located in the quinoxaline ring, particularly those bonded to nitrogen atoms (such as C12, C13, and C11), exhibit relatively high chemical shift values due to the deshielding effect induced by the electronegative nitrogen atoms. This effect is well documented in heteroaromatic systems, where electron-withdrawing atoms reduce electron density around adjacent carbon nuclei, resulting in downfield shifts [6].

Carbons in the furan rings (such as C15, C19, and C21) show comparatively lower chemical shift values, reflecting the electron-rich nature of the furan moiety. The oxygen atom in the

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

furan ring contributes to resonance stabilization, increasing electron density on adjacent carbons and leading to shielding effects. The calculated values reproduce this trend effectively, although slight overestimations are observed. Additionally, the aromatic carbons (C1–C6 region) fall within the expected chemical shift range (~110–140 ppm), consistent with literature reports for conjugated aromatic systems [15]

Table 2. Comparative NMR Chemical Shift Data

Assignment	**δexp. [15]**	**δcalc.**
C13	150.3	141.92
C12	144.9	152.73
C11	144.9	148.18
C22	139.9	147.42
C3	142.0	142.98
C14	139.9	142.57
C18	150.3	141.92
C4	142.0	140.17
C15	112.8	128.92
C19	112.8	128.66
C1	128.6	122.93
C6	128.6	120.61
C5	130.8	118.28
C2	130.8	117.13
C25	112.8	110.83
C21	112.1	108.26
H28	6.7	7.11
H16	7.8	8.13
H9	8.1	8.49
H8	8.1	8.49
H7	7.9	8.19
H24	7.8	8.13
H10	7.9	8.11
H17	6.7	7.59
H26	6.7	7.11
H23	6.7	7.09

In the ^{1}H NMR spectrum, the aromatic proton signals are observed in the range of approximately 6.7–8.1 ppm experimentally [16], while the calculated values are slightly shifted downfield (7.0–8.5 ppm). This deviation is consistent with the known tendency of DFT methods to overestimate proton chemical shifts due to incomplete treatment of electron correlation and environmental effects [14]. Protons attached to the quinoxaline ring generally resonate at higher chemical shifts compared to those on the furan rings, which can be attributed to the electron-withdrawing nature of the nitrogen atoms and the resulting deshielding effect.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

The protons on the furan rings (e.g., H23, H26, H28) appear at relatively lower chemical shifts, reflecting the higher electron density in these regions. The theoretical results correctly capture this distribution, indicating that the computational method is capable of distinguishing between different electronic environments within the molecule. Minor differences between equivalent or near-equivalent proton environments may arise from conformational effects and limitations in the theoretical model.

Overall, the comparison between experimental and calculated NMR chemical shifts demonstrates that the DFT/B3LYP approach provides a reliable description of the electronic structure of 2,3-difurylquinoxaline. The observed trends in both ^13C and ^1H NMR spectra are consistent with the molecular structure, particularly the influence of heteroatoms and conjugation. The results confirm that the applied computational method is suitable for predicting NMR properties and can be effectively used to support experimental spectral assignments.

3.3 Frontier Molecular Orbital (HOMO–LUMO) Analysis

The frontier molecular orbitals (FMOs) of 2,3-difurylquinoxaline were analyzed at the DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) level in order to elucidate its electronic structure and intramolecular charge transfer (ICT) characteristics. Frontier orbital theory, originally proposed by Fukui, emphasizes the importance of the Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) and Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) in governing molecular reactivity and electronic transitions [17]. The spatial distributions of the HOMO and LUMO orbitals are depicted in Figure 2.

The HOMO is mainly localized over the electron-rich furan rings and partially extended across the conjugated π-framework. This distribution indicates that the furan moieties behave as electron-donating groups within the molecular system. The presence of significant π-electron density over these heteroaromatic rings suggests that they play a dominant role in electron donation during excitation processes. Similar donor behavior of furyl substituents in conjugated systems has been widely reported in the literature [18].

In contrast, the LUMO is primarily concentrated on the quinoxaline core, particularly around the nitrogen-containing aromatic ring. Quinoxaline derivatives are well known for their electron-accepting properties due to the presence of electronegative nitrogen atoms within the

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

conjugated framework. The observed spatial separation between the HOMO (localized on donor furyl units) and the LUMO (localized on the quinoxaline acceptor core) confirms the

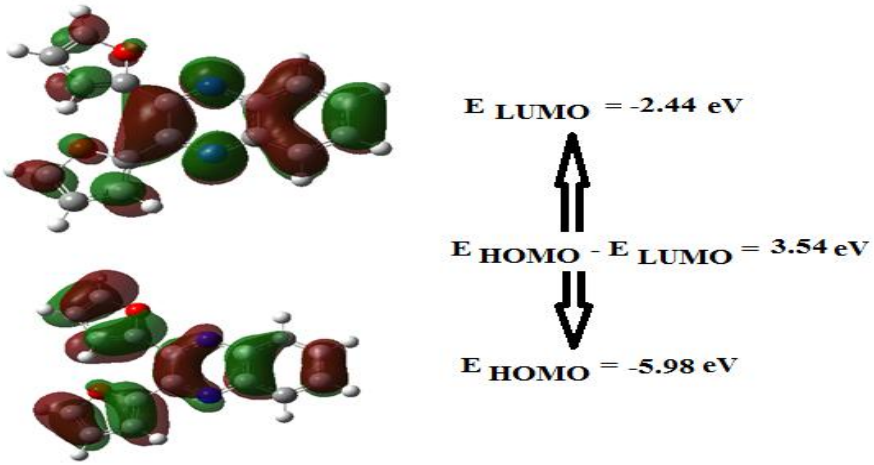


Figure 2. HOMO-LUMO Molecular Orbitals of The 2,3-difurylquinoxaline

existence of a donor–acceptor (D–A) architecture, promoting intramolecular charge transfer upon electronic excitation. Such ICT characteristics are crucial for enhancing polarizability and nonlinear optical (NLO) responses in π-conjugated organic systems.

The calculated HOMO and LUMO energies were found to be E_{HOMO}= -5.98 eV and E_{LUMO}=-2.44 eV, respectively, leading to a HOMO–LUMO energy gap (ΔE) of 3.54 eV. The energy gap is an important parameter that reflects molecular stability, chemical reactivity, and optical behavior. A relatively small ΔE value generally indicates enhanced π-electron delocalization, higher chemical softness, and improved charge transfer capability. According to Koopmans' theorem, the negative of the HOMO energy approximates the ionization potential (I), while the negative of the LUMO energy correlates with the electron affinity (A) [19]. Therefore, the obtained energy values provide insight into the reactivity descriptors and electronic softness of the molecule.

The moderate HOMO–LUMO separation observed for 2,3-difurylquinoxaline suggests balanced kinetic stability and reactivity, supporting its potential applicability in optoelectronic and NLO materials.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

3.4 Nonlinear Optical (NLO) Properties

Nonlinear optical (NLO) materials play a crucial role in modern photonic and optoelectronic technologies, including optical data storage, frequency conversion, electro-optic modulation, and telecommunications. Organic π-conjugated systems are particularly attractive for NLO applications due to their high optical nonlinearity, fast response times, structural tunability, and relatively low fabrication cost compared to inorganic counterparts [5]. Molecules possessing donor–acceptor (D–A) architectures with efficient intramolecular charge transfer (ICT) pathways generally exhibit enhanced first hyperpolarizability (β), making them promising candidates for second-order NLO applications [4].

The NLO properties of 2,3-difurylquinoxaline were investigated at the DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) level of theory. The calculated dipole moment (μ), mean polarizability (α) and total first hyperpolarizability (β_{tot}) were derived from the tensor components obtained from the finite field approach. The dipole moment (μ), mean polarizability (α) and total first hyperpolarizability (β_{tot}) were calculated using the following equations;

$$\mu=(\mu_x^2+\mu_y^2+\mu_z^2)^{1/2}$$

$$\langle\alpha\rangle = (\alpha_{xx} + \alpha_{yy} + \alpha_{zz}) /3$$

$$\beta_{tot} = [(\beta_{xxx} + \beta_{xyy}+ \beta_{xzz})^2 + (\beta_{yyy}+ \beta_{yzz}+ \beta_{yxx})^2 + (\beta_{zzz}+ \beta_{zxx}+ \beta_{zyy})^2]^{1/2}$$

The presence of electron-rich furyl substituents and the electron-deficient quinoxaline core establishes a donor–acceptor framework within the molecule. As revealed by the HOMO–LUMO analysis, the HOMO is mainly localized over the furyl rings, while the LUMO is concentrated on the quinoxaline unit, confirming an intramolecular charge transfer (ICT) from donor to acceptor segments. Such ICT behavior significantly enhances molecular polarization under an external electric field, thereby increasing the hyperpolarizability response [4].

In this analysis, the NLO properties of the investigated molecule were evaluated relative to urea, which was used as a reference. DFT calculations for urea were performed at the B3LYP/6-311G(d) theory level, and the obtained values are as follows: electric dipole moment (μ) = 1.3732 Debye, mean polarizability (α) = 3.8312 Å^3, and first-order hyperpolarizability (β) = 0.37289 × 10^{-30} cm^5/esu. Table 3 presents the calculated electric dipole moment, mean polarizability, and first-order hyperpolarizability of the investigated compound. The electric dipole moment (μ) was found to be 2.0908 Debye, while the mean polarizability (α_{ave}) was determined to be 31.23 × 10^{-24} esu. The first-order hyperpolarizability (β_{tot}) of the compound was calculated as 9454.8 × 10^{-33} esu, which is approximately 25.33 times higher than that of urea.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Table 3. NLO Parameters Calculated at The DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) Theory Level for The 2,3-difurylquinoxaline

Parametre		**Parametre**	
μ_x	-1.0758	ßxxx	876.5
μ_y	-1.3046	ßxxy	-39.4
μ_z	1.2298	ßxyy	234.4
μ_{tot}	2.0908	ßyyy	-1.8
α_{xx}	313.26	ßxxz	-31.7
α_{xy}	1.53	ßxyz	58.5
α_{yy}	212.53	ßyyz	5.9
α_{xz}	-3.28	ßxzz	-17.4
α_{yz}	-11.68	ßyzz	-1.9
α_{zz}	106.43	ßzzz	36.6
<α> (a.u)	210.74	β_{tot} (a.u)	1094.4
<α> (esu)	31.23 x 10^{-24} esu	β_{tot} (esu)	9454.8 x10^{-33}esu

Overall, the theoretical NLO analysis suggests that 2,3-difurylquinoxaline possesses significant first-order hyperpolarizability arising from efficient intramolecular charge transfer and extended π-electron delocalization. These characteristics indicate that the compound may serve as a promising candidate for organic nonlinear optical and optoelectronic applications.

3.5. Molecular Electrostatic Potential (MEP) Analysis

The Molecular Electrostatic Potential (MEP) surface of 2,3-difurylquinoxaline was calculated at the DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) level to investigate the charge distribution and to identify potential reactive sites within the molecule. The MEP surface provides a three-dimensional representation of the electrostatic potential mapped onto the electron density surface, offering valuable insight into intermolecular interactions, hydrogen bonding capability, and chemical reactivity patterns [20].

As illustrated in Figure 3, the most negative electrostatic potential regions (represented in red) are predominantly localized around the nitrogen atoms of the quinoxaline core and the oxygen atoms of the furan rings. These regions correspond to areas of high electron density associated with lone-pair electrons and π-electron delocalization. According to Politzer and Murray, regions of negative electrostatic potential are generally more susceptible to electrophilic attack and frequently serve as hydrogen bond acceptor sites [20]. The accumulation of negative charge around these heteroatoms therefore suggests that they may play a significant role in intermolecular interactions.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Conversely, the positive electrostatic potential regions (blue) are mainly distributed over the hydrogen atoms attached to the aromatic framework. These electron-deficient regions are more prone to nucleophilic attack and can act as potential hydrogen bond donor sites. The intermediate green regions observed across the conjugated backbone indicate nearly neutral electrostatic potential, reflecting effective π-electron delocalization throughout the molecular skeleton.

The observed spatial separation between electron-rich and electron-poor regions confirms the presence of intramolecular polarization within the molecule. Such charge asymmetry is consistent with the donor–acceptor (D–A) architecture inferred from frontier molecular orbital analysis, where electron density is transferred from the electron-rich furyl substituents toward the electron-deficient quinoxaline core. It is well established that this type of intramolecular charge transfer (ICT) enhances molecular polarizability and contributes positively to nonlinear optical (NLO) responses in conjugated organic systems [4,5].

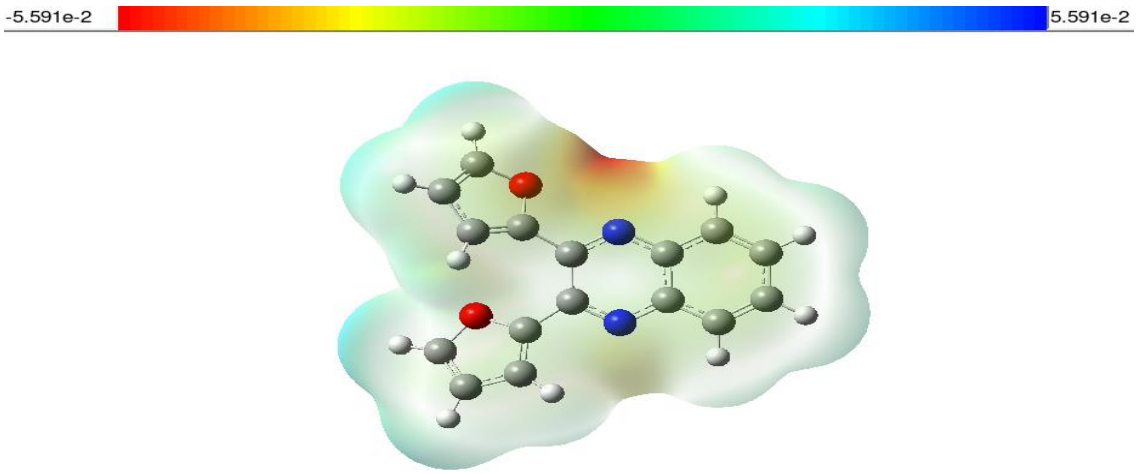


Figure 3. Molecular Electrostatic Potential Surface Map (MEP) of The 2,3-difurylquinoxaline

Overall, the MEP analysis of 2,3-difurylquinoxaline reveals a well-defined electrostatic profile characterized by electron-rich heteroatoms and electron-deficient hydrogen regions. This charge distribution supports the intramolecular charge transfer character of the molecule and provides further evidence for its potential reactivity and optoelectronic applicability.

4. CONCLUSION

In this study, the spectroscopic, and electronic properties of 2,3-difurylquinoxaline were comprehensively investigated using theoretical approach. The molecular structure of the compound was confirmed by FT-IR, ^{1}H NMR, and ^{13}C NMR spectroscopic techniques, and the xperimental data showed good agreement with the results of DFT calculations performed at the

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

B3LYP/6-311++G(d,p) level. The optimized geometry and vibrational analysis verified the stability of the molecular structure.

Frontier molecular orbital (HOMO–LUMO) analysis revealed a well-defined donor–acceptor electronic configuration, with electron density localized on the furyl rings in the HOMO and shifted toward the quinoxaline core in the LUMO, indicating efficient intramolecular charge transfer. The relatively small HOMO–LUMO energy gap suggests enhanced electronic delocalization and favorable chemical softness. The calculated nonlinear optical (NLO) parameters, particularly the first hyperpolarizability, were found to be significantly higher than that of standard reference molecules, highlighting the strong NLO response of the compound. This behavior is attributed to the extended π-conjugation and effective donor–acceptor interaction within the molecular framework.

Furthermore, the Molecular Electrostatic Potential (MEP) analysis demonstrated a distinct charge distribution, with electron-rich regions localized around nitrogen and oxygen atoms and electron-deficient regions over hydrogen atoms. These findings provide insight into the reactive sites and intermolecular interaction potential of the molecule. Overall, the combined results indicate that 2,3-difurylquinoxaline exhibits promising electronic and nonlinear optical properties, suggesting its potential applicability in optoelectronic and photonic materials.

REFERENCES

[1] Montana, M., Montero, V., Khoumeri, O., & Vanelle, P. (2020). Quinoxaline derivatives as antiviral agents: a systematic review. Molecules, 25(12), 2784.

[2] Pereira, J. A., Pessoa, A. M., Cordeiro, M. N. D., Fernandes, R., Prudêncio, C., Noronha, J. P., & Vieira, M. (2015). Quinoxaline, its derivatives and applications: A State of the Art review. European Journal of Medicinal Chemistry, 97, 664-672.

[3] Abid, Z., Ali, L., Gulzar, S., Wahad, F., Ashraf, R. S., & Nielsen, C. B. (2023). Quinoxaline derivatives as attractive electron-transporting materials. Beilstein Journal of Organic Chemistry, 19(1), 1694-1712.

[4] Marder, S. R., Perry, J. W., & Yakymyshyn, C. P. (1994). Organic salts with large second-order optical nonlinearities. Chemistry of Materials, 6(8), 1137-1147.

[5] Prasad, P. N., & Williams, D. J. *Introduction to nonlinear optical effects in molecules and polymers* (Vol. 1). New York: Wiley,1991.

[6] Silverstein, R. M., Webster, F. X., & Kiemle, D. J. *Spectrometric identification of organic compounds* (8th ed.). Wiley, 2014.

[7] Frisch M. J. et al., Gaussian 09 Revision D.01, Gaussian Inc., Wallingford CT, 2009.

[8] Becke A. D., Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange, J. Chem. Phys., 1993, 98, 5648–5652.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[9] Lee, C., Yang, W., & Parr, R. G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. Physical Review B, 37(2), 785.

[10] Ditchfield, R. (1972). Molecular orbital theory of magnetic shielding and magnetic susceptibility. Journal of Chemical Physics, 56(11), 5688-5691.

[11] Dennington, R., Keith, T., Millam, J., GaussView Version 0.5, Semichem Inc., Shawnee Mission, KS, 2010.

[12] Socrates, G. *Infrared and Raman characteristic group frequencies: tables and charts*. John Wiley & Sons, 2004.

[13] Colthup, N. B., Daly, L. H., & Wiberley, S. E. *Introduction to infrared and Raman spectroscopy* (3rd ed.). Academic Press,1990.

[14] Jensen, F. *Introduction to computational chemistry* (3rd ed.). Wiley, 2017.

[15] Pretsch, E., Bühlmann, P., & Badertscher, M. *Structure determination of organic compounds: Tables of spectral data* (4th ed.). Springer,2009.

[16] Kirubavathy, S. J., Velmurugan, R., Parameswari, K., & Chitra, S. (2015). Synthesis, characterization, single crystal XRD and pharmacological evaluation of Cu (II), Co (II), Ni (II) and Zn (II) complexes of 2, 3-difurylquinoxaline. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 7(5), 246-259.

[17] Fukui, K. (1982). Role of frontier orbitals in chemical reactions. Science, 218(4574), 747-754.

[18] Prasad, P. N., & Williams, D. J. *Introduction to nonlinear optical effects in molecules and polymers* (Vol. 1). New York: Wiley,1991.

[19] Koopmans, T. (1934). Über die Zuordnung von Wellenfunktionen und Eigenwerten zu den einzelnen Elektronen eines Atoms. Physica, 1(1-6), 104-113.

[20] Murray, J. S., & Politzer, P. (2011). The electrostatic potential: an overview. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science, 1(2), 153-163.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DFT-BASED INVESTIGATION OF ELECTRONIC STRUCTURE AND NONLINEAR OPTICAL PROPERTIES OF 2-(4-FLUOROPHENYL)QUINOXALINE

Prof. Dr., HAMİT ALYAR [1], Prof. Dr., SALİHA ALYAR [2]

[1] Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, halyar@karatekin.edu.tr - ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8895-5017

[2]Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Fakültesi, saliha@karatekin.edu.tr- ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7333-5248

ABSTRACT

In this study, the structural, electronic, and nonlinear optical (NLO) properties of 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline were systematically investigated using density functional theory (DFT) at the B3LYP/6-311++G(d,p) level of theory. The optimized molecular geometry was analyzed in terms of bond lengths, bond angles, and dihedral parameters to evaluate the degree of conjugation between the quinoxaline core and the para-fluorophenyl substituent.

Frontier molecular orbital (FMO) analysis was performed to explore the electronic structure and charge transfer characteristics of the molecule. The spatial distributions of the HOMO and LUMO orbitals revealed significant π-electron delocalization over the quinoxaline framework, with partial contribution from the fluorophenyl group, indicating intramolecular charge transfer (ICT). The calculated HOMO–LUMO energy gap suggests moderate chemical stability and favorable electronic communication across the conjugated system.

Global reactivity descriptors, including ionization potential, electron affinity, chemical hardness, softness, electronegativity, chemical potential, and electrophilicity index, were derived within the conceptual DFT framework to evaluate the reactivity profile of the compound. The results indicate balanced electrophilic–nucleophilic behavior, supported by the electron-withdrawing effect of the fluorine substituent.

The nonlinear optical properties were examined through the calculation of dipole moment (μ), mean polarizability (α) and first hyperpolarizability (β). The computed first hyperpolarizability value was found to be significantly larger than that of urea, suggesting promising second-order NLO activity.

Overall, the results demonstrate that 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline exhibits favorable electronic delocalization and appreciable nonlinear optical properties, highlighting its potential as a candidate material for optoelectronic and photonic applications.

Key Words : Quinoxaline, DFT, NLO

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. INTRODUCTION

Quinoxaline derivatives represent an important class of nitrogen-containing heterocyclic compounds that have attracted significant attention due to their versatile applications in medicinal chemistry, materials science, and organic electronics. These compounds exhibit a wide range of biological activities, including antibacterial, antifungal, anticancer, and anti-inflammatory properties, making them valuable scaffolds in drug design [1,2]. In addition to their pharmacological relevance, quinoxaline-based systems are known for their extended π-conjugation, which contributes to their promising optoelectronic and photophysical properties.

Structural modification of the quinoxaline core through the introduction of substituted phenyl groups has been widely explored to tailor electronic and optical characteristics. In particular, the incorporation of electron-withdrawing substituents such as fluorine can significantly influence the electronic distribution, dipole moment, and intermolecular interactions of the molecule. The presence of a fluorine atom not only alters the electron density through inductive and resonance effects but also enhances molecular stability and lipophilicity, which are crucial for both material and biological applications.

Among such derivatives, 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline represents an interesting π-conjugated system where the quinoxaline core is linked to a para-fluorophenyl ring, potentially facilitating intramolecular charge transfer (ICT). This feature makes the molecule a promising candidate for nonlinear optical (NLO) applications and optoelectronic devices. Understanding the structural and electronic properties of such systems is therefore essential for evaluating their functional potential.

In this context, computational chemistry methods, particularly Density Functional Theory (DFT), have become indispensable tools for investigating molecular properties with high accuracy and reasonable computational cost [3]. Among the various functionals, the B3LYP functional has been extensively used for studying organic π-conjugated systems due to its reliable performance in predicting geometries and electronic properties [4,5]. In the present study, the calculations were carried out using the 6-311++G(d,p) basis set, which provides an accurate description of electron distribution, particularly for systems involving heteroatoms and delocalized electrons.

The analysis of optimized geometric parameters provides insight into the molecular structure and degree of conjugation. Furthermore, frontier molecular orbitals (HOMO and LUMO) play a key role in determining the chemical reactivity and stability of molecules. The HOMO–LUMO energy gap is an important parameter that reflects the kinetic stability, chemical hardness, and electronic transitions of the system [6].

In addition, global reactivity descriptors such as ionization potential, electron affinity, electronegativity, chemical hardness, softness, and electrophilicity index offer a deeper understanding of molecular reactivity and interaction tendencies [7]. These descriptors are particularly useful in predicting reactive sites and understanding chemical behavior in various environments.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Nonlinear optical (NLO) properties have attracted considerable interest due to their applications in modern technologies such as optical switching, data storage, and telecommunications. Organic molecules with donor–acceptor architectures and extended π-conjugation are especially promising in this field due to their high polarizability and hyperpolarizability [8,9]. Therefore, the evaluation of dipole moment, polarizability, and first hyperpolarizability is crucial for assessing the NLO potential of the studied compound.

Moreover, Molecular Electrostatic Potential (MEP) analysis provides a visual representation of charge distribution across the molecule, allowing the identification of electrophilic and nucleophilic reactive sites. This analysis is valuable for understanding intermolecular interactions and predicting chemical reactivity patterns.

In this study, the structural, electronic, and nonlinear optical properties of 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline were systematically investigated using DFT at the B3LYP/6-311++G(d,p) level of theory. Geometric parameters, frontier molecular orbitals, global reactivity descriptors, NLO properties, and MEP surfaces were analyzed in detail, and the results were discussed in relation to existing literature. This work aims to provide comprehensive insight into the molecular behavior and potential applications of this compound in optoelectronic and functional material systems.

2. COMPUTATIONAL METHODOLOGY

All quantum chemical calculations for 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline were performed using Density Functional Theory (DFT) as implemented in the Gaussian 09 program [10]. The molecular structure was initially constructed using standard geometrical parameters and subsequently subjected to full geometry optimization without any symmetry constraints. Visualization of molecular structures and graphical representations were carried out using GaussView 5.0 [11]

Geometry optimizations were performed employing the B3LYP functional in combination with the 6-311++G(d,p) basis set. This level of theory is widely recognized for providing reliable geometrical and electronic properties for organic π-conjugated systems [12,13]. No symmetry restrictions were imposed during the optimization process.

To confirm that the optimized geometry corresponds to a true minimum on the potential energy surface, vibrational frequency calculations were carried out at the same level of theory. The absence of imaginary frequencies verified that the structure is at a stable minimum [3].

The energies of the highest occupied molecular orbital (HOMO) and the lowest unoccupied molecular orbital (LUMO) were obtained from the optimized structure. The HOMO–LUMO energy gap (ΔE) was calculated and used as an indicator of chemical stability and reactivity. These frontier orbitals play a key role in describing electron donation and acceptance capabilities of the molecule [6].

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Global reactivity descriptors were calculated using the energies of HOMO and LUMO based on Koopmans' theorem.

The nonlinear optical properties of 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline were evaluated by calculating the dipole moment (μ), mean polarizability (α), and first hyperpolarizability (β) using the same DFT level of theory. The total dipole moment was obtained from its vector components, while polarizability and hyperpolarizability values were derived from the tensor components using standard relationships. These parameters are essential for assessing the potential application of the molecule in optoelectronic and photonic devices [8,9].

The molecular electrostatic potential (MEP) surface was generated based on the optimized geometry to visualize the charge distribution within the molecule.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Geometrical Structure Analysis

The optimized geometric parameters of 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline obtained at the B3LYP/6-311++G(d,p) level were compared with the available experimental data reported by Wang et al. [14]. Overall, the calculated bond lengths and bond angles are in very good agreement with the experimental values, confirming the reliability of the selected density functional theory (DFT) method for describing the molecular structure of this compound. The calculated geometric parameters of 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline at the B3LYP/6-311++G(d,p) level are presented in Table 1. The stable structure of the 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline given in Figure 1.

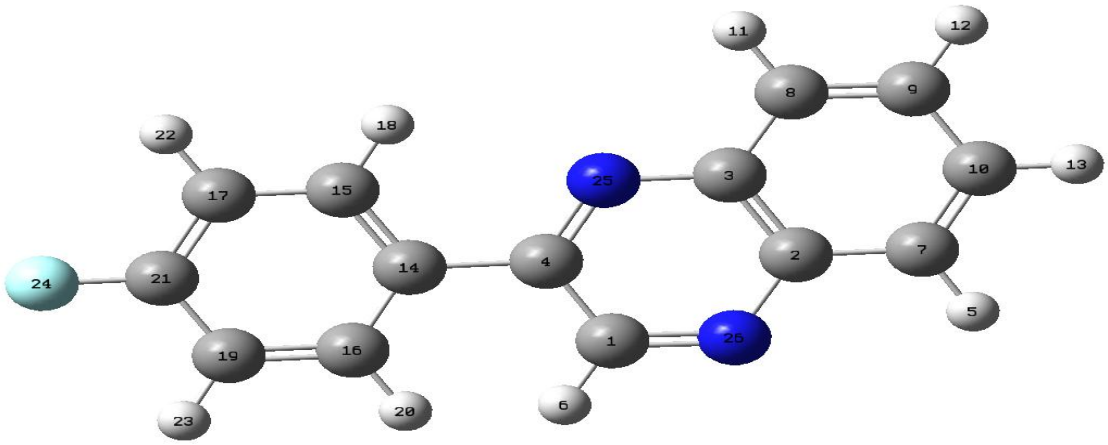


Figure1. The Stable Structure of The 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline

The C–F bond length (F24–C21) was calculated as 1.354 Å, which is slightly shorter than the experimental value of 1.361 Å. This minor deviation can be attributed to the gas-phase nature

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

of DFT calculations, whereas experimental values are typically obtained in the solid state, where intermolecular interactions may slightly elongate bond distances.

Table 1. Geometric Parameters of 2-(4-Fluorophenyl)quinoxaline

Bond Lenght(Å)	Exp.[14]	B3LYP/6-311++G(d,p)
F_{24}-C_{21}	1.361	1.354
N_{25}-C_4	1.320	1.320
N_{25}-C_3	1.368	1.358
N_{26}-C_1	1.308	1.308
N_{26}-C_2	1.370	1.363
C_3-C_8	1.414	1.418
C_2-C_3	1.417	1.427
C_8-C_9	1.368	1.374
C_8-H_{11}	0.950	1.080
C_9-C_{10}	1.413	1.416
C_{10}-C_7	1.365	1.375
C_7-C_2	1.409	1.415
C_1-C_4	1.432	1.433
C_4-C_{14}	1.479	1.483
C_{15}-C_{14}	1.397	1.403
C_{14}-C_{16}	1.397	1.402
C_{16}-C_{19}	1.386	1.392
C_{19}-C_{21}	1.379	1.385
Bond Angle(°)		
C_4-N_{25}-C_3	117.2	117.9
C_1-N_{26}-C_2	116.4	117.0
N_{25}-C_3-C_8	119.4	119.7
N_{25}-C_3-C_2	121.3	121.0
C_2-C_3-C_8	119.2	119.2
N_{26}-C_2-C_7	119.6	119.9
N_2-C_6-C_1	120.7	120.4
N_{26}-C_1-C_4	123.5	123.2
N_{25}-C_4-C_1	120.7	120.3
F_{24}-C_{21}-C_{17}	118.9	118.9
F_{24}-C_{21}-C_{19}	118.1	118.7

The C–N bond lengths within the quinoxaline moiety (N25–C4, N25–C3, N26–C1, and N26–C2) show excellent agreement with experimental values, with deviations generally less than 0.01 Å. These results indicate that the electron distribution within the heterocyclic ring is well reproduced by the B3LYP functional. The slight shortening of some C–N bonds in the theoretical model suggests partial double-bond character arising from π-electron delocalization, which is a characteristic feature of quinoxaline derivatives.

The aromatic C–C bond lengths in both the quinoxaline and phenyl rings fall within the expected range of 1.36–1.43 Å, consistent with conjugated π-systems. Small discrepancies between theoretical and experimental values (e.g., C2–C3 and C3–C8 bonds) are within acceptable limits and can be explained by crystal packing effects and thermal motion in experimental measurements. The elongation observed in the C4–C14 bond (~1.48 Å) reflects

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

the single-bond character linking the quinoxaline and fluorophenyl rings, indicating limited but significant conjugation between the two moieties.

The bond angles also show strong agreement with experimental data. For instance, the calculated angles around nitrogen atoms (C4–N25–C3 and C1–N26–C2) are slightly larger than the experimental values, which may result from the absence of intermolecular constraints in the theoretical model. The near-planar geometry around the nitrogen atoms supports sp^2 hybridization and contributes to the extended conjugation across the quinoxaline framework.

Additionally, the bond angles involving the fluorine substituent (F24–C21–C17 and F24–C21–C19) are well reproduced, indicating that the electron-withdrawing nature of the fluorine atom is properly accounted for in the calculations. This effect can influence the electronic distribution and reactivity of the molecule, which is particularly important in pharmaceutical and materials science applications [15].

3.2. Frontier Molecular Orbital (HOMO–LUMO) Analysis

The frontier molecular orbitals of 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline were analyzed to evaluate its electronic structure and chemical reactivity. The calculated HOMO and LUMO energies are −6.64 eV and −2.32 eV, respectively, giving an energy band gap (ΔE) of 4.32 eV. The spatial distributions of the HOMO and LUMO orbitals are depicted in Figure 2.

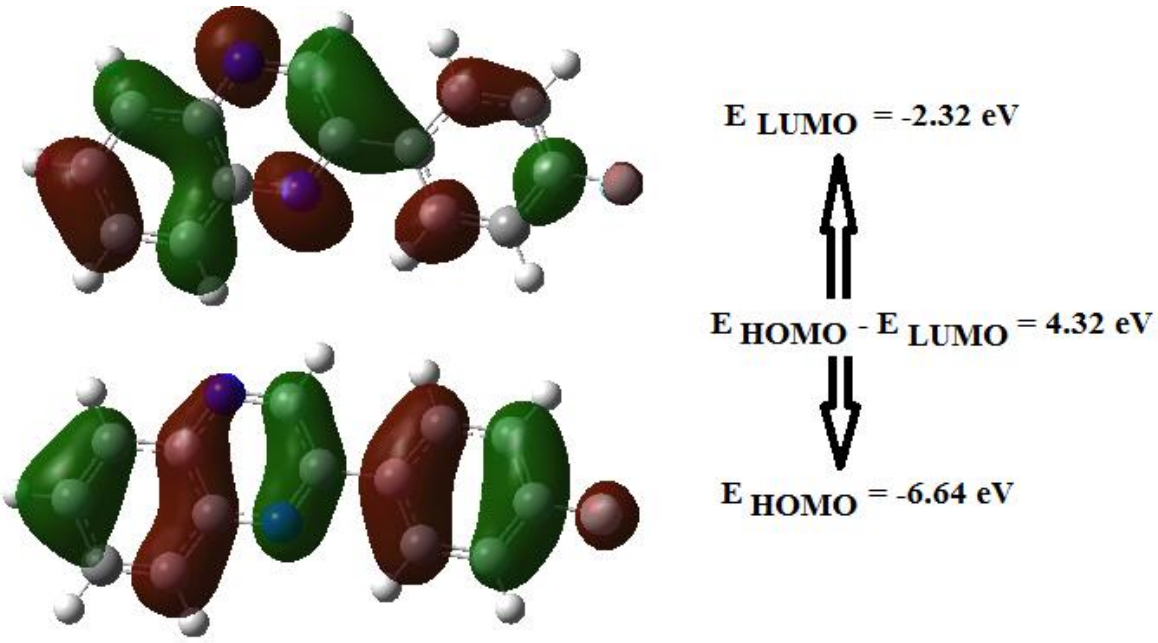


Figure 2. HOMO-LUMO Molecular Orbitals of the 2-(4-Fluorophenyl)quinoxaline

The relatively large HOMO–LUMO gap indicates considerable kinetic stability and moderate chemical reactivity. In π-conjugated organic systems, energy gaps in the range of 3–5 eV generally correspond to stable aromatic frameworks with controlled charge-transfer capability. The presence of the fluorine substituent contributes to lowering the HOMO energy through its strong −I inductive effect, thereby increasing molecular stability.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

According to Koopmans' theorem [15], the ionization potential (I) and electron affinity (A) can be approximated as:

$I=-E_{HOMO}$

$A= -E_{LUMO}$

Based on conceptual Density Functional Theory (DFT) introduced by Parr and Pearson [17,18], the global reactivity descriptors were calculated as follows:

Chemical hardness (η) = I-A/2

Chemical softness (S) =1/2η

Electronegativity (χ)=I+A/2

Chemical potential (μ)=$-\chi$

Electrophilicity index (ω)= $\chi^2/2\eta$

Table 2. Table: Global Reactivity Descriptors of 2-(4-Fluorophenyl)quinoxaline

PARAMETER	Value
E_{HOMO} (eV)	-6.64
E_{LUMO} (eV)	-2.32
$\Delta E_{HOMO-LUMO}$ (eV)	4.32
I (eV)	6.64
A(eV)	2.32
η(eV)	2.16
S(eV^{-1})	0.23
χ(eV)	4.48
μ(eV)	-4.48
ω(eV)	4.65

The calculated hardness value (η = 2.16 eV) indicates that the molecule possesses moderate resistance to charge transfer, consistent with its relatively wide HOMO–LUMO gap. The softness value (S = 0.231 eV^{-1}) suggests controlled polarizability, implying that the molecule is not highly reactive but retains sufficient electronic flexibility for intermolecular interactions.

The electronegativity (χ = 4.48 eV) reflects a strong tendency to attract electrons, which is consistent with the presence of the electron-withdrawing fluorine atom and the heteroaromatic quinoxaline core. The electrophilicity index (ω = 4.65 eV), introduced by Parr et al. [18], indicates that the molecule behaves as a moderate electrophile. Molecules with ω values between 2–5 eV are generally classified as moderate electrophilic systems, capable of participating in charge-transfer interactions without excessive instability.

Overall, the combination of a moderate hardness, appreciable electrophilicity, and a 4.32 eV band gap suggests that 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline exhibits balanced stability and reactivity.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

The fluorine substituent lowers the HOMO energy, enhancing oxidative stability, while the quinoxaline moiety contributes to electron-accepting behavior. These findings indicate that the molecule may be suitable for applications in optoelectronic materials and charge-transfer systems.

3.4 Nonlinear Optical (NLO) Properties

Nonlinear optical (NLO) materials have attracted significant attention due to their crucial role in modern photonic and optoelectronic technologies, including frequency doubling, optical switching, electro-optic modulation, and optical data storage [8]. Organic π-conjugated systems are particularly promising for NLO applications because of their high optical nonlinearity, fast response time, structural tunability, and relatively low cost compared to inorganic materials [8,19]. It is well established that molecules possessing donor–acceptor (D–A) architectures and efficient intramolecular charge transfer (ICT) pathways exhibit enhanced first hyperpolarizability (β), which is a key parameter for second-order NLO performance [19].

The NLO properties of 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline were evaluated through the calculation of dipole moment (μ), mean polarizability (α_{ave}), and total first hyperpolarizability (β_{tot}). Table 3 presents the calculated electric dipole moment, mean polarizability, and first-order hyperpolarizability of the investigated compound. The total dipole moment was calculated as 1.3024 D, indicating a moderate degree of molecular polarity. This polarity arises from the asymmetric electronic distribution induced by the electron-withdrawing fluorine substituent and the heteroaromatic quinoxaline core. Although the dipole moment is not extremely large, it reflects sufficient charge separation to support intramolecular charge transfer within the conjugated framework.

The mean polarizability was determined as 27.97×10^{-30} esu, suggesting considerable electron cloud deformability under an external electric field. In π-conjugated aromatic systems, enhanced polarizability is generally associated with extended delocalization of π-electrons, which facilitates charge redistribution and improves optical response properties [8].

The most significant parameter for evaluating second-order NLO activity is the first hyperpolarizability (β_{tot}). The calculated value for 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline was found to be 12568.45×10^{-33} esu. When compared to the standard reference molecule urea ($\beta = 0.3728 \times 10^{-30}$ esu), the compound exhibits a considerably enhanced hyperpolarizability. This improvement can be attributed to the conjugated aromatic backbone and the electronic asymmetry introduced by the fluorine substituent. The −I inductive effect of fluorine lowers the HOMO energy and enhances charge polarization toward the quinoxaline core, thereby strengthening the intramolecular charge transfer mechanism.

Furthermore, according to conceptual DFT principles, molecular softness and electrophilicity are directly related to NLO efficiency [17]. Molecules with moderate chemical hardness and appreciable electrophilicity tend to display improved hyperpolarizability due to their enhanced

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ability to redistribute electron density in response to an applied electric field. The previously calculated HOMO–LUMO gap (4.32 eV) indicates balanced stability and sufficient electronic flexibility, which supports the observed NLO behavior.

Overall, the calculated NLO parameters demonstrate that 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline possesses significant first hyperpolarizability arising from its π-conjugated donor–acceptor framework and fluorine-induced electronic polarization. These findings suggest that the compound may serve as a promising candidate for organic second-order nonlinear optical and optoelectronic applications.

Table 3. NLO Parameters Calculated at The DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) Theory Level for The 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline

Parametre	**Value**	**Parametre**	**Value**
μ_x	-1.2740	ßxxx	-1416.3
μ_y	0.1577	ßxxy	130.4
μ_z	0.2197	ßxyy	32.1
μ_{tot}	1.3024	ßyyy	-5.0
α_{xx}	307.63	ßxxz	-0.2
α_{xy}	13.13	ßxyz	-0.3
α_{yy}	172.33	ßyyz	-0.4
α_{xz}	0.00	ßxzz	-66.4
α_{yz}	0.00	ßyzz	-15.5
α_{zz}	86.36	ßzzz	-0.1
<α> (a.u)	188.77	β_{tot} (a.u)	1454.8
<α> (esu)	27.97 x 10^{-24} esu	β_{tot} (esu)	12568.45 x10^{-33}esu

3.5. Molecular Electrostatic Potential (MEP) Analysis

The Molecular Electrostatic Potential (MEP) surface of 2-(4-Fluorophenyl)quinoxaline was calculated at the DFT/B3LYP/6-311++G(d,p) level to investigate the charge distribution and to identify possible reactive sites within the molecule. The MEP surface provides a three-dimensional visualization of the electrostatic potential mapped onto the electron density surface, allowing prediction of electrophilic and nucleophilic attack regions as well as intermolecular interaction tendencies [20].

As illustrated in Figure X, the most negative electrostatic potential regions (represented in red) are mainly localized around the nitrogen atoms of the quinoxaline ring and around the fluorine atom. These regions correspond to areas of high electron density arising from lone-pair electrons and the strong electronegativity of the fluorine substituent. According to Politzer and Murray, regions with negative electrostatic potential are generally prone to electrophilic attack and may act as hydrogen bond acceptor sites [20]. The localization of negative potential on the

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

quinoxaline nitrogen atoms indicates that these centers are the most reactive sites toward electrophilic interactions.

In contrast, the positive electrostatic potential regions (blue) are primarily distributed over the hydrogen atoms of the aromatic framework. These electron-deficient regions are more susceptible to nucleophilic attack and may serve as potential hydrogen bond donor sites. The green regions observed across the aromatic backbone represent nearly neutral electrostatic potential, reflecting effective π-electron delocalization throughout the conjugated system.

The observed separation between electron-rich and electron-poor regions confirms the presence of intramolecular polarization within the molecule. Such polarization is consistent with the donor–acceptor character suggested by frontier molecular orbital analysis. It is well established that asymmetric charge distribution enhances molecular reactivity and contributes to intermolecular interactions, molecular recognition, and nonlinear optical behavior in conjugated organic systems [19].

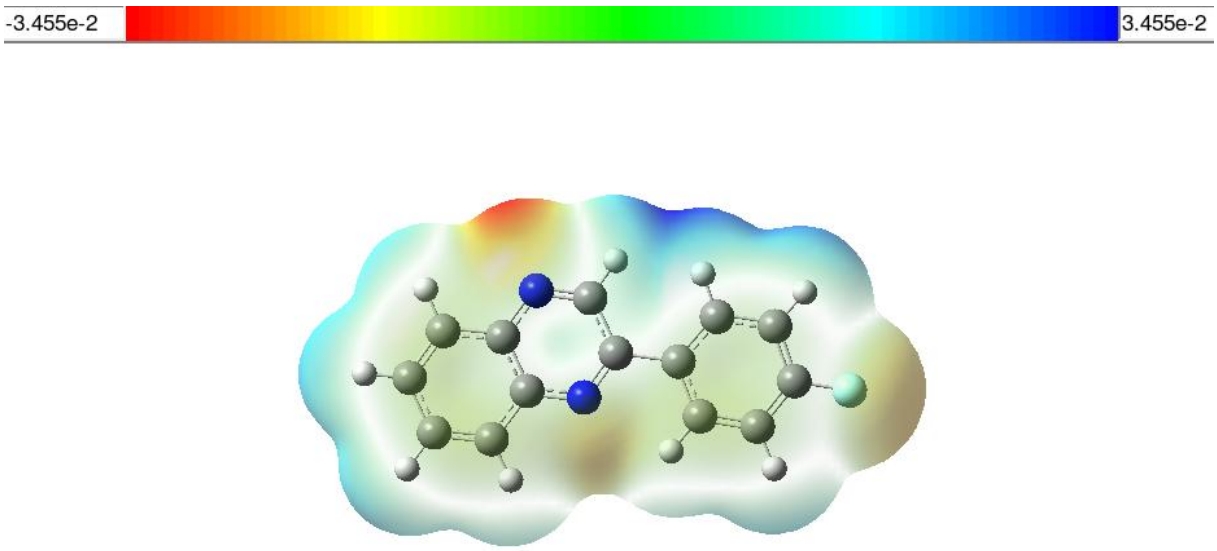


Figure 3. Molecular Electrostatic Potential Surface Map (MEP) of The 2-(4-fluorophenyl)quinoxaline

Furthermore, within the framework of conceptual Density Functional Theory (DFT), electrostatic potential distribution is closely related to global reactivity descriptors such as electronegativity and electrophilicity. Regions exhibiting extreme potential values often correlate with chemically active sites, thereby supporting the interpretation of reactivity patterns derived from HOMO–LUMO and global descriptor analyses.

Overall, the MEP analysis of 2-(4-Fluorophenyl)quinoxaline reveals a distinct electrostatic profile characterized by electron-rich heteroatoms (N and F) and electron-deficient hydrogen regions. This charge distribution supports the molecule's intramolecular polarization, potential reactivity, and suitability for charge-transfer related applications.

4. CONCLUSION

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

In the present study, the structural, electronic, and nonlinear optical properties of 2-(4-Fluorophenyl)quinoxaline were comprehensively investigated using DFT calculations at the B3LYP/6-311++G(d,p) level. The optimized geometrical parameters confirmed the structural stability of the molecule and revealed effective π-conjugation between the fluorophenyl substituent and the quinoxaline core. The absence of structural irregularities and the preservation of aromatic planarity support efficient electronic delocalization across the molecular framework. The calculated bond lengths and bond angles are in very good agreement with the experimental values, confirming the reliability of the selected density functional theory (DFT) method for describing the molecular structure of this compound.

Frontier molecular orbital analysis showed that the HOMO is mainly distributed over the conjugated aromatic system, while the LUMO is predominantly localized on the quinoxaline moiety, indicating partial donor–acceptor character within the molecule. The calculated HOMO and LUMO energies (−6.64 eV and −2.32 eV, respectively) yielded an energy band gap of 4.32 eV, suggesting considerable kinetic stability and moderate chemical reactivity. The derived global reactivity descriptors further confirmed this behavior, with a chemical hardness of 2.16 eV and an electrophilicity index of 4.65 eV, indicating a balanced electronic structure with moderate electrophilic character.

The nonlinear optical (NLO) analysis demonstrated that the molecule possesses appreciable optical response properties. The calculated dipole moment (1.3024 D), mean polarizability (27.97×10^{-30} esu), and first hyperpolarizability (12568.45×10^{-33} esu) reveal significant electronic polarization under an external electric field. The enhanced hyperpolarizability is attributed to the conjugated aromatic backbone and the electron-withdrawing effect of the fluorine substituent, which promotes charge redistribution within the molecular system.

The Molecular Electrostatic Potential (MEP) surface analysis further supported the electronic findings by revealing electron-rich regions localized around the nitrogen and fluorine atoms, while electron-deficient regions were concentrated around hydrogen atoms. This distinct charge separation confirms intramolecular polarization and identifies the probable reactive sites for electrophilic and nucleophilic interactions.

Overall, the combined geometrical, electronic, reactivity, NLO, and MEP analyses indicate that 2-(4-Fluorophenyl)quinoxaline exhibits a stable yet electronically responsive structure with moderate charge-transfer capability. These characteristics suggest that the compound may serve as a promising candidate for optoelectronic and nonlinear optical applications.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

REFERENCES

[1] Kumar, A., Ahmad, I., & Shukla, S. (2013). Synthesis and biological activity of quinoxaline derivatives. European Journal of Medicinal Chemistry, *59*, 1–14.

[2] Ramli, Y., & Essassi, E. M. (2015). Quinoxaline derivatives: Synthesis and biological applications. Research on Chemical Intermediates, *41*(2), 797–826.

[3] Parr, R. G., & Yang, W. *Density-functional theory of atoms and molecules*. Oxford University Press, 1989.

[4] Lee, C., Yang, W., & Parr, R. G. (1988). Development of the Colle–Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. Physical Review B, 37(2), 785–789.

[5] Becke, A. D. (1993). Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange. The Journal of Chemical Physics, 98(7), 5648–5652.

[6] Fukui, K. (1982). Role of frontier orbitals in chemical reactions. Science, *218*(4574), 747–754.

[7] Parr, R. G., Szentpály, L. V., & Liu, S. (1999). Electrophilicity index. Journal of the American Chemical Society, 121(9), 1922–1924.

[8] Prasad, P. N., & Williams, D. J. *Introduction to nonlinear optical effects in molecules and polymers* (Vol. 1). New York: Wiley,1991.

[9] Chemla, D. S., & Zyss, J. *Nonlinear optical properties of organic molecules and crystals*. Academic Press, 1987.

[10] Frisch M. J. et al., Gaussian 09 Revision D.01, Gaussian Inc., Wallingford CT, 2009.

[11] Dennington, R., Keith, T., Millam, J., GaussView Version 0.5, Semichem Inc., Shawnee Mission, KS, 2010.

[12] Becke A. D., Density-functional thermochemistry. III. The role of exact exchange, J. Chem. Phys., 1993, 98, 5648–5652.

[13] Lee, C., Yang, W., & Parr, R. G. (1988). Development of the Colle-Salvetti correlation-energy formula into a functional of the electron density. Physical review B, 37(2), 785.

[14] Wang, C. P., Ma, S., Yu, J. L., Yan, J. B., & Zhang, Z. Q. (2012). 2-(4-Fluorophenyl) quinoxaline. Structure Reports, 68(6), o1779-o1779.

[15] Hansch, C., Leo, A., & Taft, R. W. (1991). A survey of Hammett substituent constants and resonance and field parameters. Chemical reviews, 91(2), 165-195.

[16] Koopmans, T. (1934). Über die Zuordnung von Wellenfunktionen und Eigenwerten zu den einzelnen Elektronen eines Atoms. Physica, 1(1-6), 104-113.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[17] Parr, R. G., & Pearson, R. G. (1983). Absolute hardness: Companion parameter to absolute electronegativity. Journal of the American Chemical Society, 105(26), 7512–7516.

[18] Parr, R. G., Szentpály, L. V., & Liu, S. (1999). Electrophilicity index. Journal of the American Chemical Society, 121(9), 1922–1924.

[19] Marder, S. R., Perry, J. W., & Yakymyshyn, C. P. (1994). Organic salts with large second-order optical nonlinearities. Chemistry of Materials, 6(8), 1137-1147.

[20] Murray, J. S., & Politzer, P. (2011). The electrostatic potential: an overview. Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science, 1(2), 153-163.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SOLVENT-ASSISTED INTERCALATION AND SONOCHEMICAL EXFOLIATION FOR THE FABRICATION OF EVA/GRAPHENE THERMOPLASTIC NANOCOMPOSITE

KAMRAN MUSTAFAZADA [1], Dr. ELVIN MALIKOV [2]

[1]Baku State University, Faculty of Chemistry, Baku, Azerbaijan,
kamranmustafazade716@gmail.com - ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-4755-7079

[2]Baku State University, Faculty of Chemistry, Baku, Azerbaijan, bsuc@hotmail.com -
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-7424-6228

ABSTRACT

This study presents the fabrication of ethylene–vinyl acetate (EVA)/graphene thermoplastic nanocomposites via a combined solvent-assisted intercalation and sonochemical exfoliation approach. EVA was dissolved in acetone to form a homogeneous polymer solution, while natural graphite was ultrasonically treated to achieve partial exfoliation into few-layer graphene. The dispersion was subsequently incorporated into the polymer matrix, allowing intercalation of EVA chains between graphene layers, followed by solvent removal and thermal processing. This method effectively enhanced graphene dispersion and interfacial interaction within the polymer matrix.

The results indicate that ultrasonic cavitation and prolonged intercalation facilitate the transformation of graphite into a partially exfoliated structure, leading to the formation of an intercalated–exfoliated nanocomposite morphology. Improved interfacial adhesion, likely driven by dipole–π interactions between EVA and graphene, contributes to enhanced stress transfer and overall material performance. Compared to conventional melt blending, the solution-based intercalation approach enables better filler distribution due to reduced viscosity and improved molecular-level interactions.

The developed nanocomposites are expected to exhibit enhanced mechanical strength, thermal stability, and potential electrical conductivity due to the formation of semi-continuous graphene networks. These improvements align with previously reported advantages of graphene-based polymer nanocomposites, particularly in terms of stiffness, thermal resistance, and

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

multifunctionality. The proposed method offers a simple, scalable, and cost-effective route for producing high-performance thermoplastic materials.

The resulting EVA/graphene nanocomposites demonstrate strong potential for applications in flexible electronics, advanced adhesives, packaging, and lightweight structural components. Furthermore, tunable properties through controlled processing parameters make these materials promising for emerging technologies such as 3D printing and conductive systems.

Keywords: Solvent-assisted intercalation, Nanocomposites, Graphene.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SPORDA YAPAY ZEKA KARARLARININ ETİK BOYUTLARI

[1]Doktora Öğrencisi, Abdullah KAYABAŞ, [2]Mehmet DALKILIÇ

[1]Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mail: kayabassabdullah@gmail.com

ORCID: 0009-0009-4281-9747

[2]Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, m.dalkilic@hotmail.com,

ORCID: 0000-0002-0776-7365

ÖZET

Yapay zeka spor alanında performans analizi, sakatlık önleme ve stratejik karar alma süreçlerinde önemli katkılar sağlayan yenilikçi bir teknolojidir; aynı zamanda büyük veri analizi sayesinde antrenman süreçlerini optimize ederek sporcuların verimliliğini artırmakta ve daha bilimsel, hızlı ve doğru kararların alınmasına olanak tanımaktadır. Günümüzde spor yönetimi, hakem kararları ve performans değerlendirme süreçlerinde yapay zeka uygulamalarının kullanımının giderek yaygınlaştığı görülmektedir. Bu durum, beraberinde bazı etik tartışmaları da gündeme getirmektedir. Bu çalışmanın amacı sporda yapay zeka kararlarının etik boyutlarının incelenmesidir. Çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden doküman analizi kullanılmıştır. Yapay zekaya ilişkin akademik çalışmalar, raporlar ve ilgili kaynaklar incelenerek kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda, sporda yapay zeka kararlarının özellikle adalet, şeffaflık ve tarafsızlık ilkeleri açısından bazı etik sorunlar barındırdığı tespit edilmiştir. Veri yanlılığı, algoritmaların karar süreçlerinde önyargılı sonuçlar üretmesi, kararların açıklanabilirliğinin sınırlı olması ve insan faktörünün geri planda kalması öne çıkan temel problemler arasında yer almaktadır. Ayrıca, sporun doğasında bulunan insan unsuru ve duygusal faktörlerin yapay zeka tarafından tam anlamıyla değerlendirilememesi de önemli bir sınırlılık olarak görülmektedir. Bununla birlikte yapay zeka uygulamalarının uygun etik ilkeler, şeffaflık politikaları ve etkin denetim mekanizmaları ile desteklenmesi durumunda karar süreçlerine olumlu katkılar sağlayabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Spor, Yapay Zeka, Etik, Sporda Yapay Zeka

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. GİRİŞ

Yapay zekâ teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişim, birçok sektörde olduğu gibi spor endüstrisinde de etkisini artırmış; bu teknolojiler sektörel dönüşümü hızlandırarak spor alanını önemli ölçüde yeniden şekillendirmeye başlamıştır (Davenport ve Kalakota, 2019; Russell ve Norvig, 2021; Güler, 2023). Yapay zekâ teknolojileri; spor eğitiminden başlayarak performans analizine, antrenman programlarının bireyselleştirilmesine ve oyun stratejilerinin geliştirilmesine kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. (Bunker ve Thabtah, 2019; Yıldız ve ark., 2021). Sensör ve kamera sistemleri aracılığıyla toplanan veriler yapay zekâ tabanlı yazılımlar ile analiz edilerek sporcuların hareketlerinin detaylı biçimde incelenmesine ve performanslarının daha nesnel kriterlerle değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Clifford, 2018). Bunun yanı sıra yapay zekâ uygulamaları, sporcuların fiziksel durumlarının izlenmesine ve bireyselleştirilmiş antrenman programlarının daha verimli şekilde geliştirilmesine katkı sağlarken; takım sporlarında stratejik ve taktiksel planlamaların iyileştirilmesine de önemli ölçüde destek olmaktadır (Güler, 2023).

Yapay zekâ temelli öğrenme, sporun temel eğitim süreçlerinde sporcuların güvenliğini korumak, sağlık durumlarını iyileştirmek ve performanslarını artırmak amacıyla kullanılan önemli bir yöntemdir. Bu yaklaşım, büyük veri kümeleri üzerinden çalışan ve elde edilen verilerden öğrenme yeteneğine sahip algoritmalara dayanmaktadır (Bing, 2023). Söz konusu veriler; sporcuların hareketleri, fiziksel durumları, davranışları ve bu unsurların ortaya çıkardığı sonuçları içeren geniş bir veri yelpazesini kapsamaktadır. Yapay zekâ sayesinde bu veriler analiz edilerek sporculara anlık geri bildirim sağlanmakta, bireysel özelliklerine uygun antrenman programları oluşturulmakta, performans gelişimi desteklenmekte ve olası sakatlık riskleri en aza indirilmektedir (Bing, 2023).

Günümüzde antrenman bilimcileri sporcuların becerilerini geliştirmek ve eğitim süreçlerini daha verimli hale getirmek amacıyla teknolojik araçlardan yoğun biçimde yararlanmaktadır (Esmer, 2024). Sporcuların hareketlerini ve antrenman performanslarını detaylı şekilde analiz edebilmek için laboratuvar ortamlarında çeşitli testler uygulanmakta; bu sayede kinematik ve kinetik verilere ulaşılmaktadır (Dündar ve Murathan, 2022). Bunun yanı sıra, sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojileri kullanılarak bilgisayar destekli simülasyon ortamları oluşturulmakta ve sporun dinamikleri bu ortamlarda modellenmektedir. Bu uygulamalar sayesinde sporcular, gerçeğe yakın deneyimler yaşayarak performanslarını geliştirme fırsatı bulmaktadır. Özellikle sanal gerçeklik teknolojisi, farklı coğrafi ortamlarda antrenman yapma imkânı sunarak sporcular için yeni ve esnek çalışma alanları yaratmaktadır (Esmer, 2024).

Ancak yapay zekânın spor alanında karar alma süreçlerine entegre edilmesi, beraberinde çeşitli etik sorunları da gündeme getirmiştir. Özellikle adalet, şeffaflık, hesap verebilirlik ve veri gizliliği gibi konular, spor etiği açısından önemli tartışma alanları oluşturmuştur (Floridi, 2018; Akıllıoğlu, 2025).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2. Sporda Yapay Zekâ Kullanım Alanları

Yapay zekâ teknolojileri sporun farklı alanlarında aktif olarak kullanılmaktadır (Usercompanies, 2018). Bunlar arasında performans analizi, oyuncu izleme sistemleri, sakatlık risk tahmini ve hakem karar destek sistemleri yer almaktadır (Usercompanies, 2018; Bunker ve Thabtah, 2019; Aini, 2020; Çar, 2023).

Yapay zeka teknolojisinin spor endüstrisinde yenilikler getirmesiyle birlikte giyilebilir teknolojik aletlerin kullanımı artması en önemli etkenlerden biri olarak kabul edilmektedir (Esmer, 2024). Giyilebilir teknolojik cihazlar gün geçtikçe daha gelişmiş ve çok yönlü bir yapıya kavuşmakta; sporcuların performansına ilişkin ivme, hız, biyomekanik özellikler ve kalp atış hızı gibi birçok parametreyi anlık olarak izleyebilmektedir. Bu cihazlar aracılığıyla elde edilen veriler, sporcu performansının detaylı biçimde değerlendirilmesine ve antrenman süreçlerinin daha bilimsel temellere dayandırılmasına olanak sağlamaktadır (Rowlands, James ve Lee, 2013; Sarıkabak ve Vural, 2025).

3. Etik Sorunlar ve Tartışmalar

3.1. Adalet ve Tarafsızlık

Yapay zekâ sistemlerinin en önemli etik sorunlarından biri, algoritmik önyargı (bias) problemidir. Eğitildiği veriye bağlı olarak YZ sistemleri taraflı sonuçlar üretebilir ve bu durum spor müsabakalarında adil olmayan sonuçlara yol açabilir (Mehrabi, 2021; Çakır ve ark., 2023; Akıllıoğlu, 2025; Avcı ve Kılınçarslan, 2025).

3.2. Şeffaflık ve Hesap Verebilirlik

YZ sistemlerinin "kara kutu" (black box) yapısı, alınan kararların nasıl üretildiğinin anlaşılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, özellikle tartışmalı hakem kararlarında hesap verebilirlik sorununu gündeme getirmektedir (Floridi, 2018; Karanfil ve ark., 2024; Sarıkabak ve Vural, 2025; Akıllıoğlu, 2025 ; Avcı ve Kılınçarslan, 2025).

3.3. Veri Gizliliği ve Güvenliği

Sporculardan toplanan biyometrik ve performans verileri, kişisel verilerin korunması açısından önemli riskler taşımaktadır. Bu verilerin kötüye kullanılması, sporcuların mahremiyetini ihlal edebilir (Hughes ve Leavey, 2012; Çakır ve ark., 2023; Karanfil ve ark., 2024; Sarıkabak ve Vural, 2025; Akıllıoğlu, 2025; Abdelmohsen, 2025; Avcı ve Kılınçarslan, 2025).

3.4. İnsan Faktörünün Azalması

Yapay zekânın karar alma süreçlerinde artan rolü, sporun doğasında bulunan insan unsurunun azalmasına neden olmaktadır. Bu durum, sporun "insani" yönünün zayıflaması şeklinde eleştirilmektedir (Parry, 2019; Çakır ve ark., 2023; Akıllıoğlu, 2025).

4. Sporda Yapay Zekâ ve Etik İlkeler

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Yapay zekânın spor alanında etik bir şekilde kullanılabilmesi için belirli ilkelerin gözetilmesi gerekmektedir. Bu ilkeler arasında adalet, şeffaflık, hesap verebilirlik ve güvenilirlik ön plana çıkmaktadır (Floridi et al., 2018; Çakır ve ark., 2023; Karanfil ve ark., 2024; Sarıkabak ve Vural, 2025).

Ayrıca Avrupa Komisyonu'nun yapay zekâ etik rehberleri, insan merkezli yapay zekâ anlayışını temel almakta ve teknolojinin insan haklarına uygun şekilde geliştirilmesini önermektedir (European Commission, 2019).

5. Gelecekte Yapay Zekâ ve Spor Etiği

Yapay zekâ, gelecekte sporun oynanma, izlenme ve yönetilme biçimlerini önemli ölçüde dönüştürecek; antrenörlerin yerini tamamen alması beklenmese de performans, strateji ve tüketici analizi alanlarında büyük avantajlar sağlayacak, ancak bu gelişim veri gizliliği ve hukuki sınırlamalar çerçevesinde şekillenecektir. Bu durum, etik düzenlemelerin daha da önem kazanmasına yol açacaktır. Özellikle uluslararası spor kuruluşlarının yapay zekâ kullanımına yönelik standartlar geliştirmesi gerekmektedir (Müller, 2020; Karanfil ve ark., 2024; Sarıkabak ve Vural, 2025; Avcı ve Kılınçarslan, 2025).

6. SONUÇ

Yapay zekâ ve etik kavramlarını ele alan ulusal ve uluslararası çalışmalar incelendiğinde, bu alanın son yıllarda hızla gelişen ve disiplinler arası bir nitelik kazanan önemli bir araştırma sahası olduğu görülmektedir. Yapılan bibliyometrik analizler, özellikle 2020 sonrası dönemde yapay zekâ etiği üzerine gerçekleştirilen çalışmaların sayısında ciddi bir artış olduğunu ve bu çalışmaların sosyal bilimler, sağlık, mühendislik ve spor bilimleri gibi farklı alanlarda yoğunlaştığını ortaya koymaktadır (Öziskender ve Erdem, 2025). Bu durum yapay zekânın yalnızca teknik bir araç olmanın ötesine geçerek toplumsal, ekonomik ve etik boyutlarıyla ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Alan yazında öne çıkan temel etik ilkelerin başında şeffaflık, adalet, hesap verebilirlik ve veri gizliliği gelmektedir. Yapılan sistematik derlemelerde bu ilkelerin yapay zekâ sistemlerinin güvenilirliği ve kabul edilebilirliği açısından kritik olduğu vurgulanmaktadır (Asıl, 2025). Bununla birlikte bu ilkelerin uygulamaya geçirilmesinde çeşitli zorluklar bulunduğu; özellikle etik standartların soyut kalması, uygulama eksiklikleri ve denetim mekanizmalarının yetersizliği gibi sorunların devam ettiği belirtilmektedir.

Yapay zekânın farklı alanlardaki uygulamalarına yönelik çalışmalar, bu teknolojinin önemli faydalar sağladığını ortaya koyarken aynı zamanda ciddi etik riskler barındırdığını da göstermektedir. Örneğin sağlık alanındaki araştırmalar, yapay zekânın teşhis ve tedavi süreçlerinde yüksek başarı sağladığını ancak hatalı kararlar, algoritmik önyargılar, veri güvenliği sorunları ve mesleki özerklik üzerindeki etkiler gibi etik problemlere yol açabileceğini vurgulamaktadır (Güvercin, 2020). Benzer şekilde spor alanında yapılan çalışmalar da yapay zekânın performans analizi, hakem kararları ve seyirci deneyimi gibi

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

alanlarda katkı sağladığını; ancak eşitlik, insan kontrolü ve etik karar verme süreçleri açısından dikkatli bir yaklaşım gerektiğini ortaya koymaktadır (Akıllıoğlu, 2025).

Küresel ölçekte yapılan araştırmalar, yapay zekânın toplumsal etkilerinin coğrafi ve kültürel bağlama göre farklılık gösterebileceğini, özellikle gelişmekte olan ülkelerde eşitsizlikleri artırma potansiyeline sahip olduğunu belirtmektedir (Hagerty ve Rubinov, 2019). Bu durum, etik yaklaşımların evrensel ilkelerle birlikte yerel dinamikleri de dikkate alması gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, yapay zekâ uygulamalarının çoğunlukla performans analizi, optimizasyon ve ekonomik modelleme gibi spesifik alanlara odaklandığı; ancak daha bütüncül ve çok boyutlu etik değerlendirmelerin sınırlı olduğu dikkat çekmektedir.

Sporda yapay zekâ özelinde değerlendirildiğinde ise mevcut çalışmaların ağırlıklı olarak performans artırma, sakatlık tahmini ve veri analizi üzerine yoğunlaştığı; buna karşın etik karar alma süreçleri, sporcu hakları ve veri paylaşımı gibi konuların yeterince derinlemesine incelenmediği görülmektedir.

Sonuç olarak yapay zekâ teknolojilerinin spor başta olmak üzere birçok alanda dönüşüm yaratmaya devam edeceği açıktır. Ancak bu dönüşümün sürdürülebilir ve adil bir şekilde gerçekleşebilmesi için etik ilkelerin yalnızca teorik düzeyde kalmayıp uygulamaya entegre edilmesi gerekmektedir. Gelecekte yapılacak çalışmaların, yapay zekâ uygulamalarını yalnızca teknik başarı açısından değil; aynı zamanda etik, hukuki ve toplumsal etkileri bakımından da çok boyutlu olarak ele alması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, insan merkezli yaklaşımın korunması, veri güvenliğinin sağlanması ve şeffaf algoritmaların geliştirilmesi, yapay zekânın spor alanındaki etik kullanımının temel belirleyicileri olacaktır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

KAYNAKÇA

Abdelmohsen, A. M. (2025). Artificial Intelligence in Biomechanics: A Narrative Review of Current Applications in Diagnostic and Physical Rehabilitation. Physiotherapy Research International, 30(4), e70120.

Aini, G. (2020). Yapay zekânın yargısal uygulamasına ilişkin araştırmanın özeti. *Çin Çalışmaları*, *9*(1), 14.

Akıllıoğlu, O. (2025). Üniversite Öğrencilerinin Sporda Yapay Zekâ Kullanımına Yönelik Görüşleri: E-Spor ve Geleneksel Sporlar Bağlamında Bir Değerlendirme. *Hitit Movement Science Journal*, *2*(1), 33-40.

Avcı, P., & Kılınçarslan, G. (2025). Spor analizi ve performans optimizasyonu için veri işleme teknolojileri. M. Kargün & O. Gök (Ed.), *55. yıl*.

Bing (2023). Sporun Yeni Yıldızı: Yapay Zekâ. Microsoft Edge Ai (Bing). Dijital Çağda Spor Araştırmaları 2, 1- 14.

Bunker, R. P., & Thabtah, F. (2019). A machine learning framework for sport result prediction.

Collins, H., & Evans, R. (2012). Sport-decision aids and fairness.

Çakır, Z., Ceyhan, M. A., Gönen, M., & Erbaş, Ü. (2023). Yapay zeka teknolojilerindeki gelişmeler ile eğitim ve spor bilimlerinde paradigma değişimi. *Dede Korkut Spor Bilimleri Dergisi*, *1*(2), 56-71.

Çar, B. (2023). Beden Eğitimi ve Sporda Yapay Zeka. *Beden Eğitimi ve Spora Multidisipliner Bir Bakış-5-*, *ed*, 1-12.

Davenport, T. H., & Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare (genel AI bağlamı için).

Dündar, A., Murathan, F. (2023). Yeni Nesil Antrenman Teknolojileri. Sportif Antrenmanda Yeni Nesil Uygulama ve Modeller, Efe Akademi Yayınları, 7-24.

Esmer, O. (2024). Sporda yapay zeka teknolojisi kullanımı ve sportif performans. *Hareket, sağlık ve teknoloji: Modern yaşamda sporun evrimi*, 87-96.

European Commission. (2019). Ethics Guidelines for Trustworthy AI.

Floridi, L., et al. (2018). AI4People—An ethical framework for AI.

Güler, H. (2023). Spor ve yapay zeka. *Spor Bilimlerinde Güncel Yaklaşımlar*, 275-290.

Güvercin, C. H. (2020). Yapay zekâ ve tıp etiği. *Türkiye Klinikleri*, *1*, 7-13.

Hagerty, A., & Rubinov, I. (2019). *Global AI ethics: A review of the social impacts and ethical implications of artificial intelligence*. arXiv. https://arxiv.org/abs/1907.07892

Hughes, D., & Leavey, G. (2012). Setting the bar: athletes and vulnerability.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Karafil, A. Y., Abd, S. Y. B., Çifci, Ö. Ü. A., & Kirbaş, İ. (2024, June). E-sporda performans ve strateji optimizasyonu için yapay zeka kullanimi. 4. In *Bilsel International World Science And Research Congress* (pp. 22-23).

Mehrabi, N., et al. (2021). A survey on bias and fairness in machine learning.

Müller, V. C. (2020). Ethics of Artificial Intelligence and Robotics.

Öziskender, E., & Erdem, Z. (2025). Yapay Zeka ve Etik: Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Perspektifinden Bibliyometrik Bir Analiz. *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR), 12*(117), 552-564.

Parry, J. (2019). The ethics of sport.

Rowlands, D. D., James, D. A. & Lee, J. B. (2013). Visualization of wearable sensor data during swimming for performance analysis. Sports Tech, 6 (3), 130- 136.

Russell, S., & Norvig, P. (2021). Artificial Intelligence: A Modern Approach.

Usercompanies. 2018. Yapay zeka sporu. Available http://usercompanies.com/artificial-intelligence-sport/

Yıldız, N. O., & Güngör, N. B. (2021). The effect of physical education and sports teachers' web-technological pedagogy content knowledge on online learning readiness.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SPOR TURİZMİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR DESTİNASYON GELİŞİMİ

Mine Nur DURSUN [1], Prof. Dr. Mehmet DALKILIÇ [2]
[1] Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Spor Yöneticiliği A.B.D
minenurdursun@gmail.com - ORCID ID: 0009-0006-6490-6110
[2] Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Spor Yöneticiliği A.B.D.
mehmetdalkilic@kmu.edu.tr - ORCID ID: 0000-0002-0776-7365

ÖZET

Bu çalışma, spor turizmini sürdürülebilir destinasyon gelişimi perspektifinden ele alarak Türkiye özelinde kapsamlı bir değerlendirme sunmayı amaçlamaktadır. Spor turizmi kavramı, rekabetçi nitelikteki faaliyetlerden oluşan bir spor etkinliğine seyirci veya aktif olarak katılan bir turistin seyahat boyunda edindiği tecrübeleri ifade eden bir turizm faaliyeti türü" olarak tanımlamıştır. Türkiye'nin coğrafi konumu, iklim çeşitliliği ve gelişen spor altyapısı sayesinde spor turizmi önemli bir potansiyeli bünyesinde barındırmaktadır. Kamp turizmi, spor organizasyonları ve doğa sporları gibi etkinlikler Türkiye'de spor turizminin temel uygulama alanlarını oluşturmaktadır. Bu çalışma, spor turizminin sosyal, kültürel ve politik boyutlarıyla destinasyon rekabetçiliğini artıran çok yönlü ve stratejik bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, spor turizmi faaliyetlerinin yerel ekonomik kalkınmaya sağladığı katkılar, destinasyon imajının güçlendirilmesindeki rolü ve sürdürülebilir turizm politikalarının geliştirilmesine olan etkileri kapsamlı bir biçimde ele alınmaktadır. Ayrıca, spor turizmi kapsamında gerçekleştirilen etkinliklerin yerel halkın sosyal katılımını artırdığı, kültürel etkileşimi desteklediği ve uluslararası tanınırlığı güçlendirdiği değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, spor turizminin planlı ve stratejik bir yaklaşımla yönetilmesinin, destinasyonların rekabet avantajı elde etmesinde ve uzun vadeli sürdürülebilirliğin sağlanmasında kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Araştırma bulguları, spor turizminin sürdürülebilir destinasyon gelişimine önemli katkılar sağladığını; çevresel koruma, sosyal bütünleşme ve yerel kalkınma süreçlerini desteklediğini göstermektedir. Özellikle doğa temelli spor turizmi faaliyetlerinin planlı, kontrollü ve sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda yürütülmesi, destinasyonların uzun vadeli rekabet gücünü ve çekiciliğini artırmaktadır. Sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirildiğinde, planlama süreçlerinde çevresel hassasiyetlerin gözetilmesi, doğal kaynakların korunması, yerel halkın karar alma süreçlerine aktif katılımının sağlanması ve altyapı yatırımlarının dengeli biçimde gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, spor etkinliklerinin destinasyon markalaşmasına ve uluslararası tanınırlığa katkı sunduğu; ancak taşıma kapasitesi, çevresel etkiler ve sosyo-kültürel dengeler dikkate alınmadan planlanmasının olumsuz sonuçlar doğurabileceği belirlenmiştir. Sonuç olarak, spor turizmi bütüncül, katılımcı ve uzun vadeli stratejilerle sürdürülebilir kalkınmayı destekleyen etkili ve güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Spor Turizmi, Sürdürebilir Kalkınma, Destinasyon Rekabetçiliği

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1.GİRİŞ

Spor, bireyin beden ve ruh sağlığının geliştirilmesi, belli kurallara göre rekabet ölçüleri içinde mücadele etme, heyecan duyma, yarışma, üstün gelme ve gerçek anlamda başarı gücünün arttırılması kişisel açıdan en yüksek noktaya çıkarılması yolunda gösterilen yoğun çabalardır (Aracı,1999: 13). Günümüzde spor ve turizm alanları önemli bir dönüşüm geçirerek daha karmaşık ve çok boyutlu bir yapıya ulaşmıştır. Turizm sektörü artık yalnızca deniz, kum ve güneş odaklı geleneksel anlayışla sınırlı kalmamakta; farklı ilgi alanlarına hitap eden alternatif ve tematik turizm türleriyle çeşitlenmektedir. Eski dönemlerde varlıklı ve serbest zamanları fazla olan bireylerin yaptıkları geziler ve ulaşım olanaklarının gelişmesiyle turizm gün geçtikçe gelişmiş ve yaygınlaşmıştır (Pehlivan, 2010). Spor ise sadece fiziksel aktiviteye dayalı bir uğraş olmaktan çıkmış, ekonomik, toplumsal, kültürel ve politik boyutlarıyla geniş bir etki alanına sahip olmuştur. Bu dönüşümün en belirgin sonuçlarından biri, spor ve turizm alanlarının kesişim noktasında ortaya çıkan "spor turizmi" kavramının giderek daha fazla önem kazanmasıdır. Bireylerin eğlence veya rekabet amacıyla bir spor etkinliğine katılmak için, sporu amatör ya da elit düzeyde izlemek üzere ya da bir spor cazibe merkezini ziyaret amacıyla, yaşadıkları yerden başka bir yere seyahat etmeleri şeklinde tanımlanmaktadır (Gibson, Attle, ve Yiannakis, 1997, s. 52). Spor turizmi, bireylerin seyahat kararlarında sporu temel bir unsur hâline getiren bir turizm türüdür. Spor turizmi çeşitleri; olay tabanlı spor turizmi, aktif spor turizmi ve nostalji spor turizmi olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Günümüzde düzenlenen spor organizasyonları, küresel ölçekte çok önemli bir yere sahiptir (Bjelac ve Radovanovic, 2003). Sporun küresel ölçekte yarattığı etki ile turizmin dinamik yapısını birleştiren bu alan, ülkeler açısından sadece ekonomik gelir sağlamakla sınırlı kalmaz; aynı zamanda uluslararası görünürlük, şehirlerin marka değerinin artması ve altyapı yatırımlarının gelişmesi gibi çok yönlü katkılar sunar. Türkiye'de gerçekleştirilen spor turizmi faaliyetleri; kamu kurumları, yerel yönetimler, özel sektör, federasyonlar, sivil toplum kuruluşları, spor kulüpleri ve bireysel sporcular gibi çok sayıda paydaşın katkısıyla yürütülmektedir. Ancak bu faaliyetlerin çoğu zaman yeterli düzeyde koordinasyon sağlanmadan ilerlediği, kurumsal bütünlükten uzak kaldığı ve stratejik bir yönetişim anlayışıyla desteklenmediği görülmektedir. Farklı aktörlerin kendi alanlarında yoğun çaba sarf ederek değer üretmeye çalıştığı, ancak bu çabaların ulusal ölçekte bütüncül bir yapı içerisinde birleştirilemediği anlaşılmaktadır. Bu durum, kaynakların etkin kullanılmamasına, benzer çalışmaların farklı paydaşlar tarafından tekrar edilmesine ve spor turizmine yönelik kamuoyunda karmaşık bir algı oluşmasına zemin hazırlayabilmektedir. Türkiye'de spor turizmi alanında karşılaşılan temel sorunlardan biri, bu alanın bütüncül bir bakış açısıyla ele alınamamasıdır. Spor turizminin çoğunlukla destinasyon odaklı stratejik bir politika aracı olarak değil; dönemsel, fırsata dayalı veya branş bazlı girişimler şeklinde değerlendirilmesi, sürdürülebilir bir gelişim sürecinin oluşmasını zorlaştırmaktadır. Bunun yanı sıra kamu ve özel sektör arasındaki iş birliği mekanizmalarının yeterince etkin işlememesi, özellikle yatırım ve tanıtım faaliyetlerinde koordinasyon eksikliğine neden olabilmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'de spor turizminin gelişimi yalnızca doğal kaynaklar ve fiziksel altyapı yatırımlarıyla sınırlı değildir. Aynı zamanda güçlü bir yönetsel kapasite, etkili planlama süreçleri, kamu-özel sektör iş birliğinin geliştirilmesi ve uzun vadeli stratejik yaklaşımların benimsenmesi de bu gelişimin temel belirleyicileri arasında yer almaktadır. Spor turizmine yönetsel, örgütsel ve politika geliştirme perspektifinden yaklaşan bu çalışma, sektörel raporlar,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

resmî belgeler ve saha deneyimlerinden elde edilen bulgular doğrultusunda, Türkiye'de spor turizminin sürdürülebilir destinasyon gelişimi bağlamında yeniden ele alınması gerektiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu kapsamda, spor turizmi paydaşlarının görüş ve önerileri doğrultusunda şekillenecek bütüncül bir yönetsel yapının, destinasyonların sürdürülebilirliği açısından önemli katkılar sunacağı öngörülmektedir. Türkiye; coğrafi konumu, iklim çeşitliliği, genç nüfusu ve gelişmekte olan spor altyapısı ile spor turizmi açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Dört mevsimin yaşanabilmesi, farklı coğrafi alanların çeşitli spor faaliyetlerine uygunluk göstermesi ve ulaşım imkânlarının gelişmiş olması, Türkiye'yi sürdürülebilir spor turizmi destinasyonu olarak öne çıkarabilecek temel unsurlar arasında yer almaktadır. Ancak mevcut potansiyelin çevresel, ekonomik ve sosyal sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda etkin biçimde değerlendirilemediği; faaliyetlerin çoğunlukla kısa vadeli, dağınık ve stratejik planlamadan uzak bir şekilde yürütüldüğü görülmektedir. Bu doğrultuda çalışmanın temel amacı, Türkiye'de spor turizminin sürdürülebilir destinasyon gelişimi çerçevesinde mevcut durumunu çok boyutlu olarak analiz etmek ve çok paydaşlı yapıya sahip bu alanın daha koordineli, planlı ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilebilmesi için yönetsel bir model önerisi geliştirmektir. Böylece spor turizminin yalnızca ekonomik katkı sağlayan bir faaliyet alanı olmanın ötesine geçerek, destinasyonların uzun vadeli rekabet gücünü ve sürdürülebilirliğini destekleyen stratejik bir unsur hâline gelmesi hedeflenmektedir. Sonuç olarak, spor turizmi Türkiye açısından önemli fırsatlar barındıran stratejik bir alan olmasına rağmen, mevcut yapının parçalı, koordinasyondan uzak ve sürdürülebilirlik ilkeleriyle tam anlamıyla bütünleşmemiş olduğu görülmektedir. Spor turizminin yalnızca kısa vadeli ekonomik kazanımlar üzerinden değil; çevresel, sosyal ve yönetsel boyutlarıyla birlikte ele alınması, destinasyonların uzun vadeli başarısı açısından kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Bu doğrultuda, spor turizminin sürdürülebilir destinasyon gelişimiyle uyumlu hâle getirilebilmesi için paydaşlar arasında güçlü bir iş birliği ve koordinasyon mekanizmasının kurulması, görev ve sorumlulukların netleştirilmesi ve bütüncül bir stratejik planlama yaklaşımının benimsenmesi gerekmektedir. Ayrıca veri temelli karar alma süreçlerinin geliştirilmesi, ölçülebilir hedeflerin belirlenmesi ve politika uygulamalarının düzenli olarak izlenmesi, alanın etkin yönetimi açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu doğal, coğrafi ve altyapısal avantajların sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda değerlendirilmesi, spor turizminin yalnızca belirli faaliyetlerle sınırlı kalmamasını sağlayarak çeşitliliğin artırılmasına katkı sunacaktır. Bu bağlamda önerilen yönetsel modelin uygulanmasıyla birlikte, spor turizminin daha planlı, koordineli ve sürdürülebilir bir yapıya kavuşması hem destinasyonların rekabet gücünü artıracak hem de Türkiye'nin uluslararası alandaki konumunu güçlendirecektir.

2.KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1 Spor Turizmi

Spor kelimesi, tarihsel olarak Latince kökenli terimlerden türemiş olup zamanla eğlenme, bedensel hareket ve rekabet gibi anlamlar kazanarak günümüzdeki biçimini almıştır (Akın A., 2018). Spor, bireylerin fiziksel ve zihinsel sağlıklarını korumak, eğlenmek ve boş zamanlarını verimli bir şekilde değerlendirmek amacıyla gerçekleştirdikleri planlı ve düzenli hareketler bütünüdür. İnsana var olduğundan beri eşlik eden, belirli kuralları içeren, rekabet ortamına

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

sahip, zevk veren faaliyetler bütünüdür (Mıhçıoğulları, 2004). Spor turizmi kendi içerisinde birden fazla konu içerdiğinden çok fazla bir yapıya sahip olduğundan yorum yapmakta zorlanılmaktadır. Bu yorumlar günümüzde araştırmacılar tarafından farklı yönleri ile araştırılmakta ve zaman geçtikçe gelişen bir olgu olarak görülmektedir (Şahin ve Ören, 2018). Fiziksel etkinlikler ile seyahat olgusunun birleştiği bir alan olarak değerlendirilen spor turizmi, ekonomik ve toplumsal açıdan önem taşıyan bir yapıdır. Turizm endüstrisi içerisinde dikkate değer bir paya sahip olan bu alan, son dönemlerde yükselen ilgi ve farklılaşan organizasyonlar sayesinde ekonomik değerini her geçen gün daha da artırmaktadır. Spor Turizmi, sportif aktivitelere katılmak, izlemek veya orada bulunmak amacıyla uluslararası veya ulusal alanda seyahat etmek olarak tanımlanmaktadır" (Kurtzman ve Zauhar, 2001). Bir başka tanıma göre ise "spor turizmi, evden uzakta spor aktivitelerine katılma veya seyretme amacıyla yapılan ve ticari amaç taşımayan seyahattir." (Weed 1997). Spor turizmi kapsamında bireyler etkinliklere aktif ya da pasif biçimde katılım gösterebilmektedir. Aktif katılım, bireylerin spor faaliyetlerine doğrudan katılımcı olarak yer almasını ifade ederken; pasif katılım, spor etkinliklerini izleyici olarak takip etmeyi ve sporla ilişkili önemli mekânları ziyaret etmeyi kapsamaktadır. Literatürde spor turizmine ilişkin çalışmalar; spor turistlerinin harcama davranışları ve bu davranışları etkileyen faktörler, motivasyon ve katılım eğilimleri, memnuniyet ve tekrar ziyaret niyeti gibi bireysel boyutların yanı sıra; spor turizminin ekonomik, sosyal, mekânsal ve zamansal etkileri üzerine yoğunlaşmaktadır. Ayrıca sürdürülebilirlik, yerel halkın desteği, yoksulluğun azaltılması, küçük ölçekli etkinliklerin rolü ve çevresel faktörler gibi konular da önemli araştırma alanları arasında yer almaktadır. Bununla birlikte, spor turizminin destinasyon gelişimi, kalite algısı, rekabetçilik ve gelecekteki gelişim dinamikleri üzerine yapılan çalışmalar, bu alanın çok katmanlı ve disiplinler üstü bir özelliğe sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşın, spor turizminin sürdürülebilir destinasyon gelişimindeki paydaş rollerini (yerel halk, turistler, uzmanlar, kamu kurumları, sivil toplum ve işletmeler) kapsamlı bir perspektifle inceleyen araştırmaların yeterli düzeyde olmadığı dikkat çekmektedir. Sporun turizm içindeki önemli yeri, iki alan arasındaki güçlü ilişkiyi ortaya koyarken; bu ilişkinin niteliği paydaşların bakış açılarına ve ilgi alanlarına göre değişiklik göstermektedir. Bu durum, spor turizmi alanındaki çok boyutlu çıkar yapısının daha kapsamlı ve bütünleşik bir şekilde ele alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Spor ve turizm kavramlarının köklü geçmişe sahip olması, bu alanların kapsamlı ve çok yönlü biçimde incelenmesini zorlaştırmaktadır. Her iki kavramın farklı disiplinlere yayılması; sosyal, kültürel, ekonomik ve çevresel boyutlarda derinlemesine analiz yapılmasına imkân tanırken, aynı zamanda alan yazında bütüncül ve güçlü bir teorik çerçeve oluşturulmasını güçleştirmektedir.

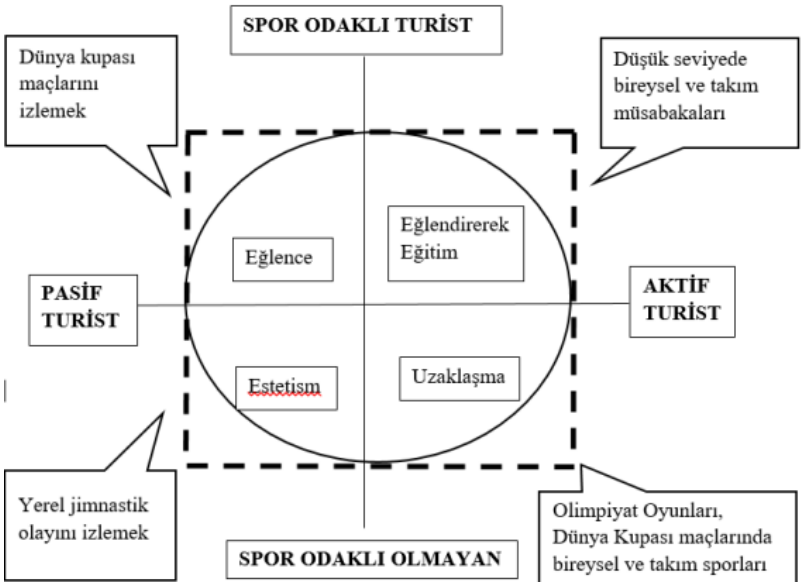
2.2 Spor Turizmi Türleri

Spor türleri ile ilgili yapılan çalışmalar doğrultusunda genellikle üç tür spor turizmi davranışı incelenmiştir: aktif spor turizmi, olay tabanlı ve nostalji spor turizmi (Ross, 2001: 3). Aktif spor turizmi, bireylerin seyahat ederek doğrudan spor faaliyetlerine katıldığı organizasyonları kapsarken; pasif spor turizmi, spor etkinliklerini izleme amacıyla yapılan seyahatleri ifade eder. Nostalji temelli spor turizmi ise bireylerin geçmişe ait spor deneyimlerini yeniden yaşamak, önemli spor mekânlarını ziyaret etmek veya spor kültürüne ait unsurları deneyimlemek amacıyla gerçekleştirdikleri faaliyetleri içermektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Olay Tabanlı Spor Turizmi: Herhangi bir spor branşında düzenlenen Olimpiyatlar, Dünya Kupaları gibi organizasyonların içerisinde yer aldığı spor turizmi çeşidi olay tabanlı spor turizmi şeklinde tanımlanabilir (Osmanoğlu, 2017)

Bu sınıflandırma, spor turizminin yalnızca fiziksel katılım üzerinden değil; aynı zamanda sosyal, kültürel ve duygusal bağlar üzerinden de şekillendiğini göstermektedir. Spor etkinliklerine katılım ya da izleyicilik, bireyler arasında ortak bir kimlik ve aidiyet duygusu oluştururken; bu durum sosyal etkileşimi artıran önemli bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Aynı zamanda spor turizmi türleri, bireylerin motivasyonlarına, beklentilerine ve sosyo-demografik özelliklerine göre farklılaşmakta ve destinasyonların sunduğu imkânlara bağlı olarak çeşitlenmektedir. Bununla birlikte, spor turizmi faaliyetlerinin kitlesel hareketlilik yaratması, destinasyonların ekonomik ve sosyal açıdan gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Spor etkinlikleri aracılığıyla oluşan turist akışı, yerel ekonomiye katkı sağlarken; aynı zamanda destinasyonların tanıtımına ve marka değerinin artmasına da destek olmaktadır. Bu durum, spor turizmi türlerinin yalnızca bireysel deneyimler değil, aynı zamanda destinasyonların kalkınma süreçlerinde etkili bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bağlamda Perić (2010), spor turizmi kapsamında bireylerin deneyimlerini daha iyi analiz edebilmek amacıyla; spor odaklı ve spor odaklı olmayan turistlerin yanı sıra aktif ve pasif katılımcıları da içeren farklı modellemeler geliştirmiştir.



Görsel 1: Deneyim Sistemi – Spor Turizmi (Peric, 2010)

Görsel 1, spor turizmi ve spor deneyimini bütüncül bir çerçevede ele alan bir yapı sunmaktadır. Bu modelde; aktif spor turizmi, müsabaka odaklı spor turizmi ve nostalji temelli spor turizmi faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan deneyimler bir arada değerlendirilmektedir.

Spor turistlerinin deneyimleri; eğlence, öğrenme (eğlenerek öğrenme), günlük yaşamdan uzaklaşma ve estetik haz gibi temel boyutlar üzerinden açıklanmaktadır.

Model ayrıca, turizm faaliyetlerinin spor odaklı olup olmamasına bağlı olarak turistleri aktif ya da pasif katılımcılar şeklinde sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırma çerçevesinde, bireylerin

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

spor deneyimlerinden ne tür kazanımlar elde etmek istedikleri modelin merkezinde konumlandırılarak analiz edilmektedir.

2.3 Sürdürülebilir Destinasyon Gelişimi Kavramı

Sürdürülebilir turizm destinasyonu, destinasyonlarda sürdürülebilir kalkınmayı teşvik etmek için tanıma programlarında kullanılan bir terim olarak öne çıkmaktadır (Lee, 2001: 313). Destinasyon gelişiminde sürdürülebilirlik; çevresel sürdürülebilirlik, ekonomik sürdürülebilirlik ve sosyo-kültürel sürdürülebilirlik olmak üzere üç temel boyut üzerinden ele alınmaktadır (UNEP & UNWTO, 2005).

Sürdürülebilir destinasyon gelişimi, turizm faaliyetlerinin ekonomik fayda sağlarken çevresel kaynakları korumasını ve yerel toplumun sosyal refahını desteklemesini amaçlayan bir yönetim anlayışı olarak tanımlanmaktadır (UNWTO, 2018). Bu yaklaşım, turizm planlamasında kısa süreli kazanımlar yerine uzun vadeli stabilizasyonu esas almakta ve doğal, kültürel ve beşerî kaynakların korunmasını temel almaktadır. Sürdürülebilirlik ilkeleri çerçevesinde geliştirilen destinasyonlar, rekabet avantajı sağlarken bir taraftan da turizm etkinliklerinin olumsuz etkilerini en aza indirgemektedir. Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakların korunmasını ve doğa üzerindeki baskının azaltılmasını amaçlarken; ekonomik sürdürülebilirlik, turizm gelirlerinin yerel ekonomi içerisinde stabil ve kalıcı olacak şekilde dağıtılmasını hedeflemektedir. Sosyo-kültürel sürdürülebilirlik ise bölge halkının yaşam kalitesinin artırılmasını ve kültürel değerlerin korunmasını ön plana çıkarmaktadır.

2.4 Spor Turizmi ve Sürdürülebilir Destinasyon Gelişimi Arasındaki İlişki

Spor turizmi, sürdürülebilir destinasyon gelişimi açısından önemli fırsatlar sunan bir turizm türü olarak değerlendirilmektedir (Higham, 2007). Spor faaliyetleri sayesinde turizm talebinin yıl geneline yayılması, destinasyonların mevsimsellik problemini azaltmakta ve altyapının daha etkin değerlendirilmesini sağlamaktadır. Özellikle kamp turizmi ve rekreasyonel spor faaliyetleri, çevresel etkilerin kontrol edilebilir olması sebebiyle sürdürülebilir turizm politikalarıyla yüksek seviyede uyum göstermektedir. Bununla birlikte spor turizminin sürdürülebilirlik açısından bazı riskler barındırdığı da literatürde vurgulanmaktadır (Preuss, 2007). Mega spor organizasyonlarının yüksek maliyetleri ve çevresel baskılarının yanı sıra yerel halk üzerindeki sosyo-kültürel etkileri, etkinlik sonrası altyapının sürdürülebilir biçimde kullanılamaması sorununu beraberinde getirebilmektedir. Bu nedenle spor turizminin destinasyon planlamasında, çok aktörlü katılımı, çevresel etki değerlendirmesi ve uzun vadeli kullanım politikaları ile bütüncül bir şekilde ele alınması gerekmektedir. Türkiye bağlamında spor turizmi, sürdürülebilir destinasyon gelişimini ileriye taşıyacak stratejik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu doğal ve coğrafi avantajlar, spor turizminin çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak bu potansiyelin doğru ve etkin bir şekilde değerlendirilebilmesi, spor turizmi politikalarının bütüncül bir planlama stratejisiyle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

2.5 Türkiye'de Spor Turizmi Uygulamaları ve Sürdürebilirlik Açısından Değerlendirilmesi

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Türkiye'de spor turizmi uygulamaları, ülkenin coğrafi çeşitliliği, iklim avantajları ve gelişen altyapısı doğrultusunda farklı branşlarda ve destinasyonlarda yoğunlaşmaktadır. Türkiye, özellikle dört mevsim turizme uygun yapısı sayesinde hem yaz hem de kış sporlarına ev sahipliği yapabilen önemli bir potansiyele sahiptir. Türkiye'de spor turizmi uygulamaları incelendiğinde, en yaygın faaliyetlerin futbol turizmi kapsamında gerçekleştirilen kamp organizasyonları olduğu görülmektedir. Özellikle Antalya bölgesi, iklim avantajı ve konaklama tesisleri sayesinde uluslararası futbol takımlarının tercih ettiği önemli bir merkez hâline gelmiştir. Bunun yanı sıra basketbol, voleybol ve tenis gibi branşlarda da kamp ve turnuva organizasyonları düzenlenmektedir. Kış sporları turizmi açısından Uludağ, Erciyes, Palandöken ve Kartalkaya gibi merkezler öne çıkmakta; kayak, snowboard ve diğer kış sporları faaliyetleri yerli ve yabancı turistlerin ilgisini çekmektedir. Yaz ve doğa sporları kapsamında ise trekking, dağcılık, rafting, yamaç paraşütü ve bisiklet gibi aktiviteler özellikle Akdeniz, Ege ve Karadeniz bölgelerinde yoğun olarak gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra Türkiye, küresel ölçekte düzenlenen sportif etkinliklere ev sahipliği üstlenerek spor turizmini ilerletme yönünde adımlar atmaktadır. Maratonlar, bisiklet turları, triatlon yarışları ve çeşitli dünya şampiyonaları bu kapsamda düzenlenen etkinlikler arasında yer almaktadır. Bu organizasyonlar hem turizm gelirlerini artırmakta hem de Türkiye'nin uluslararası tanıtımına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, Türkiye'de spor turizmi uygulamalarının çoğu zaman belirli bölgelerde yoğunlaştığı, branş çeşitliliğinin sınırlı kaldığı ve faaliyetlerin yeterince planlı ve koordineli bir şekilde yürütülmediği görülmektedir. Bu nedenle spor turizminin sürdürülebilir bir şekilde geliştirilmesi için stratejik planlama, altyapı yatırımları ve paydaşlar arası iş birliğinin güçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Türkiye'de spor turizmi uygulamaları sürdürülebilirlik perspektifinden değerlendirildiğinde, alanın önemli bir potansiyel taşımasına karşın bu potansiyelin bütüncül ve sistematik bir yaklaşımla yeterince değerlendirilemediği görülmektedir. Sürdürülebilirlik; ekonomik, çevresel ve sosyo-kültürel boyutlarıyla ele alındığında spor turizminin çok yönlü etkileri ve mevcut yapısal sorunları daha açık bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Ekonomik sürdürülebilirlik açısından bakıldığında, Türkiye'de spor turizmi faaliyetlerinin özellikle belirli destinasyonlarda ve belirli spor branşları etrafında yoğunlaştığı dikkat çekmektedir. Özellikle futbol turizmi kapsamında gerçekleştirilen kamp organizasyonları, kısa vadede önemli gelir artışları sağlamakla birlikte, bu gelirlerin sürekliliği ve çeşitliliği sınırlı kalmaktadır. Spor turizminin ekonomik anlamda sürdürülebilir bir yapıya kavuşabilmesi için faaliyetlerin yıl geneline yayılması, branş çeşitliliğinin artırılması ve farklı destinasyonların sürece dâhil edilmesi gerekmektedir. Çevresel sürdürülebilirlik bağlamında, Türkiye'nin sahip olduğu doğal kaynaklar ve coğrafi çeşitlilik spor turizmi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu kaynakların plansız ve yoğun kullanımı, doğal çevre üzerinde olumsuz etkiler yaratma riski taşımaktadır. Özellikle doğa sporlarının gerçekleştirildiği alanlarda taşıma kapasitesinin dikkate alınmaması, çevresel bozulmalara yol açabilmektedir. Bu nedenle spor turizmi faaliyetlerinin çevresel hassasiyetler gözetilerek planlanması ve koruma-kullanma dengesinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Sosyo-kültürel sürdürülebilirlik açısından spor turizmi, farklı kültürler arasında etkileşim ve iletişimi artıran bir araç olarak öne çıkmaktadır. Ancak yerel halkın bu süreçte yeterince aktif bir şekilde yer almaması ve elde edilen ekonomik faydalardan eşit düzeyde yararlanamaması, sürdürülebilirlik açısından önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu bağlamda, yerel halkın spor turizmi

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

faaliyetlerine katılımının teşvik edilmesi ve karar alma süreçlerine dâhil edilmesi gerekmektedir. Yönetsel ve stratejik açıdan değerlendirildiğinde ise Türkiye'de spor turizmi uygulamalarının en önemli eksikliğinin kurumsal koordinasyon yetersizliği, uzun vadeli planlama eksikliği ve veri temelli yönetim anlayışının yeterince gelişmemiş olması olduğu görülmektedir. Spor ve turizm alanında faaliyet gösteren kurumlar arasında etkin bir iş birliğinin sağlanamaması, uygulamaların parçalı bir yapıda ilerlemesine neden olmaktadır. Bu durum, spor turizminin sürdürülebilir bir şekilde gelişimini sınırlandırmaktadır. Sonuç olarak, Türkiye'de spor turizmi sürdürülebilirlik açısından güçlü doğal ve altyapısal potansiyele rağmen ekonomik çeşitlilik, çevresel koruma, sosyo-kültürel katılım ve yönetsel koordinasyon alanlarında geliştirilmesi gereken yönlerin bulunduğu anlaşılmaktadır.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, spor turizmini sürdürülebilir destinasyon gelişimi perspektifiyle ele alarak Türkiye özelinde kavramsal, yapısal ve uygulamaya yönelik bir değerlendirme sunmayı amaçlamıştır Bulgular, spor turizminin Türkiye'de yalnızca ekonomik getiriler sağlayan bir turizm türü olmadığını; aynı zamanda destinasyon rekabetçiliğini artıran, kültürel etkileşimi güçlendiren ve politik görünürlüğü destekleyen çok boyutlu bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Türkiye'nin sahip olduğu coğrafi çeşitlilik, iklim avantajı ve gelişmekte olan spor altyapısı, spor turizminin sürdürülebilir biçimde geliştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Ancak bu potansiyelin etkin biçimde değerlendirilebilmesi, spor turizminin plansız ve yalnızca kısa vadeli ekonomik kazançlar üzerinden ele alınmamasını zorunlu kılmaktadır. Çalışma kapsamında elde edilen değerlendirmeler, mega spor organizasyonlarının yüksek maliyetleri ve çevresel baskıları nedeniyle sürdürülebilirlik açısından dikkatle ele alınması gerektiğini göstermektedir. Bu tür organizasyonların uzun vadeli fayda yaratabilmesi, etkinlik sonrası tesis kullanım planlarının önceden belirlenmesine ve yerel halkın sürece aktif katılımının sağlanmasına bağlıdır. Aksi takdirde spor turizmi yatırımları, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir olmayan sonuçlar doğurabilmektedir. Bu doğrultuda Türkiye'de spor turizminin sürdürülebilir destinasyon gelişimine katkı sağlayabilmesi için bazı politika önerileri geliştirilmektedir. Öncelikle spor turizmi, ulusal turizm stratejileri içerisinde ayrı ve bütüncül bir politika alanı olarak ele alınmalı ve merkezi yönetim ile yerel yönetimler arasında etkin bir koordinasyon sağlanmalıdır. Spor turizmi yatırımlarında çevresel etki değerlendirmeleri zorunlu hâle getirilmeli ve doğal kaynakların korunmasına yönelik sürdürülebilirlik kriterleri planlama sürecine entegre edilmelidir. Bununla birlikte yerel halkın spor turizmi faaliyetlerine katılımını artıracak mekanizmaların geliştirilmesi, sosyo-kültürel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından önem taşımaktadır. Yerel girişimcilerin, spor kulüplerinin ve sivil toplum kuruluşlarının sürece dâhil edilmesi, spor turizminin ekonomik faydalarının daha dengeli biçimde dağıtılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca spor turizmi alanında uzmanlaşmış insan kaynağının yetiştirilmesi, hizmet kalitesinin artırılması ve destinasyon imajının güçlendirilmesi açısından kritik bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır. Sonuç olarak spor turizmi, Türkiye açısından sürdürülebilir destinasyon gelişimini destekleyebilecek stratejik bir araç olarak değerlendirilmektedir. Spor turizminin uzun vadeli ve kalıcı faydalar üretebilmesi; çevresel, ekonomik ve sosyo-kültürel sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda planlanmasına, paydaşlar arası iş birliğinin güçlendirilmesine ve etkin politika uygulamalarının hayata geçirilmesine bağlıdır. Bu

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

çerçevede spor turizmine yönelik geliştirilecek bütüncül politikalar, Türkiye'nin uluslararası turizm rekabetçiliğini artırırken sürdürülebilir kalkınma hedeflerine de önemli katkılar sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

1. Akın, A. (2018). *Spor ve turizm*. Ekin Basım Yayın Dağıtım.
2. Aracı, H(1999); Okullarda Beden Eğitimi, Bağırgan Vakfı Yayınları, Ankara.
3. Balcı, V. (2020.). *Spor turizmi* (Ünite 9). Atatürk Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi. Ders notu
4. Bjelac, Z. ve Radovanovic, M. (2003). Sports events as a form of tourist product, relating to the volume and character of demand. Journal of Sport tourism, 8(4), 260-269.
5. Eroğlu, A., ve Kaynar, Ö. (2021). Spor turizminin bölgesel kalkınma üzerindeki etkileri: Türkiye örneği. *Turizm Akademik Dergisi, 8*(2), 45–62.
6. Getz, D. (2008). Event tourism: Definition, evolution, and research. *Tourism Management, 29*(3), 403–428.
7. Gibson, H. J., Attle, S., and Yiannakis, A. (1997). Segmenting the active sport tourist market: A life span perspective. *Journal of Vacation Marketing, 4*(1), 52–64.
8. Gibson, H. J. (1998). Sport tourism: A critical analysis of research. *Sport Management Review, 1*(1), 45–76.
9. Gibson, H. J. (2004). Moving beyond the "what is and who" of sport tourism to understanding "why". *Journal of Sport ve Tourism, 9*(3), 247–265.
10. Higham, J. (2007). *Critical issues in sport tourism*. Elsevier Butterworth-Heinemann.
11. Higham, J. (2007). *Sport tourism destinations: Issues, opportunities and analysis*. Elsevier.
12. Kurtzman, J., and Zauhar, J. (2001). Virtual sport tourism. In Hudson, S. (ed.). Sport and adventure tourism. Haworth Pres.
13. Lee, K. (2001). Sustainable tourism destinations: The importance of cleaner production. Journal of Cleaner Production, 9(4), 313-323.
14. Mıhçıoğulları, B.O. (2004). Türkiye İçin Spor Turizm Stratejisinin Belirlenmesi ve Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Muğla

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

15. Osmanoğlu, H. (2017). Spor Turizmi Yapan Otel İşletmelerinin Hizmet Kalitesinin Sporcular Açısından Değerlendirilmesi. Yayımlanmamış Doktora Tezi, Abant Duman İzzet Baysal Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Spor Yöneticiliği Anabilim Dalı, Spor Yöneticiliği Bilim Dalı, Bolu.
16. Pehlivan, E. (2010). Ulaşım Faaliyetlerinin Turizm Faaliyetlerine Etkisi (İstanbul Örneği). Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
17. Peric, M. (2010). "Sports Tourism and System of Experiences". Tourism and Hospitality Management, 16 (2): 197-206
18. Preuss, H. (2007). The conceptualisation and measurement of mega sport event legacies. *Journal of Sport ve Tourism, 12*(3–4), 207–228.
19. Ross, S. D. (2001). "Developing Sports Tourism: An e Guide for Destination Marketers and Sports Events Planners". National Laboratory for Tourism and E-Commerce, Illınois.
20. Silik, C. E., ve Güçer, E. (2016). Rekreasyonel spor turizminin yerel halk üzerindeki sosyo-kültürel etkileri. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 9*(43), 1830–1838.
21. Şahin-Ören, T. (2018). Spor turizmi aracılığı ile sürdürülebilir destinasyon geliştirme: hava sporları açısından Uşak ili potansiyeli. Akdeniz Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, s.27-60, Antalya
22. UNEP and UNWTO. (2005). *Making tourism more sustainable: A guide for policy makers*. United Nations Environment Programme ve World Tourism Organization.
23. UNWTO. (2018). *Tourism and the sustainable development goals – Journey to 2030*. World Tourism Organization.
24. Weed, M. (2003). Why the two won't tango! Explaining the lack of integrated policies for sport and tourism. *Journal of Sport Management*.
25. World Tourism Organization (UNWTO). (2018). *Tourism highlights, 2018 edition*. UNWTO.
26. World Tourism Organization. (2019). *UNWTO tourism definitions*. UNWTO.
27. Yasun, A., ve Kaynar, Ö. (2022). Doğa sporları temelli turizmin sürdürülebilir destinasyon gelişimine etkisi. *Spor Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 7*(1), 112–128.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SPOR EKONOMİSİ VE FİNANS YÖNETİMİ

Doktora Öğrencisi, Muhammet KÜÇÜKKORAŞ[1], Prof. Dr. Mehmet DALKILIÇ[2]
[1]Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü,
E-mail: muhammetkucukkoras@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1187-3697
[2]Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi,
E-mail: m.dalkilic@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-0776-7365

ÖZET

Bu çalışma, sporun tarihsel süreçte fiziksel bir aktivite olmanın ötesine geçerek küresel ölçekte milyarlarca dolarlık bir endüstriye dönüşümünü ve bu süreçte finans yönetiminin kritik rolünü incelemeyi amaçlamaktadır. Spor ekonomisi; yayın hakları, sponsorluklar, bilet satışları ve lisanslı ürünler gibi temel gelir kaynakları ile oyuncu maaşları ve transfer harcamaları gibi yüksek maliyet kalemleri arasındaki dengeye odaklanan bir disiplindir. Araştırma kapsamında ele alınan temel bulgular şunlardır: Finansal Sürdürülebilirlik: Spor kulüplerinin uzun vadeli başarısı, yalnızca sportif performansa değil, mali disiplin ve şeffaflığa dayalı finansal politikalara bağlıdır. Küresel Standartlar: UEFA'nın Finansal Fair Play (FFP) düzenlemeleri, kulüplerin gelir-gider dengesini korumak ve aşırı borçlanmayı önlemek adına stratejik bir çerçeve sunmaktadır. Dijitalleşme ve Yeni Modeller: Yeni medya teknolojileri, e-spor ve dijital bilet uygulamaları, geleneksel gelir kaynaklarını çeşitlendirerek spor ekonomisinin büyümesini hızlandırmaktadır. Türkiye Perspektifi: Türkiye'de spor ekonomisi büyük oranda futbol ve yayın haklarına bağımlı bir yapı sergilemekte; yüksek borçlanma oranları ve mali disiplin eksikliği nedeniyle Avrupa kulüplerine kıyasla daha kırılgan bir finansal yapı ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, spor organizasyonlarının finansal krizlerden korunması ve rekabet güçlerini koruyabilmeleri için gelir çeşitliliğinin sağlanması, şeffaflık ilkelerine bağlı kalınması ve dijital dönüşümün stratejik bir araç olarak kullanılması zorunluluk arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Spor Ekonomisi, Finans Yönetimi, Finansal Sürdürülebilirlik, Yayın Hakları, Dijitalleşme.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. GİRİŞ

Spor, insanlık tarihi boyunca yalnızca fiziksel bir aktivite değil, aynı zamanda kültürel ve toplumsal bir olgu olarak varlığını sürdürmüştür. Antik Yunan'daki olimpiyat oyunlarından günümüz modern spor organizasyonlarına kadar spor, toplumların sosyal yapısını şekillendiren ve bireyler arasında etkileşimi artıran bir unsur olmuştur. Ancak 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren sporun ekonomik boyutu giderek ön plana çıkmış, spor endüstrisi küresel ölçekte milyarlarca dolarlık bir sektör haline gelmiştir (Zimbalist, 2003).

Özellikle futbol, basketbol ve olimpiyat oyunları gibi branşlar, yalnızca sportif başarılarla değil aynı zamanda ekonomik getirileriyle de dikkat çekmektedir. Yayın hakları, sponsorluk anlaşmaları, bilet satışları ve lisanslı ürünler, spor kulüplerinin ve organizasyonlarının temel gelir kaynaklarını oluşturmaktadır. Bu gelirlerin yönetimi ise finansal sürdürülebilirlik açısından kritik öneme sahiptir. Yanlış finansal politikalar, kulüplerin borç yükünü artırmakta ve uzun vadede sportif başarıyı da olumsuz etkilemektedir (Yeghiazaryan, 2020).

Literatürde spor ekonomisi, finansal yatırımların takım performansı üzerindeki etkisi, rekabet dengesi ve kulüplerin uzun vadeli sürdürülebilirliği bağlamında ele alınmaktadır. Özellikle Avrupa'da futbol kulüplerinin finansal yapıları üzerine yapılan çalışmalar, gelir-gider dengesinin bozulmasının sportif başarıyı doğrudan etkilediğini göstermektedir (Feiler ve ark., 2023). Bu bağlamda finans yönetimi, kulüplerin bütçeleme süreçleri, gelir çeşitliliği ve borçlanma politikalarıyla ekonomik istikrarı belirleyen temel faktörlerden biri olarak öne çıkmaktadır.

Küreselleşme ve dijitalleşme süreçleri, spor finansmanında yeni modellerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Yeni medya teknolojileri, e-sporun yükselişi ve dijital bilet uygulamaları, spor ekonomisinin büyümesini hızlandıran unsurlar arasında yer almaktadır (Zheng ve Mason, 2022; Çınar, 2022). Bu gelişmeler, sporun yalnızca sportif bir faaliyet değil aynı zamanda ekonomik ve teknolojik bir sektör olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın amacı, spor ekonomisinin temel unsurlarını ve finans yönetiminin spor kulüpleri açısından önemini incelemektir. Çalışmada ayrıca Türkiye'de spor ekonomisinin mevcut durumu ve kulüplerin karşılaştığı finansal sorunlar ele alınacaktır. Araştırma soruları şu şekilde belirlenmiştir:

2. Literatür Taraması

2.1. Spor Ekonomisi

Sporun ekonomik faaliyetler içerisindeki rolünü ve spor kulüplerinin gelir-gider dengelerini inceleyen bir alan olarak tanımlanır (Zimbalist, 2003). Sporun bir hizmet sektörü oluşturması, üretici ve tüketici gruplarıyla kendi ekonomik döngüsünü yaratması bu kavramın temelini oluşturur (Değer, 2022). Türkiye'de spor ekonomisi üzerine yapılan çalışmalar, özellikle futbol kulüplerinin finansal yapısına odaklanmaktadır (Ataçocuğu, 2023). Spor ekonomisi, 20.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

yüzyılın ikinci yarısından itibaren akademik araştırmaların önemli bir konusu haline gelmiştir. İlk çalışmalar, sporun ekonomik boyutunu özellikle profesyonel takım sporları üzerinden incelemiş ve gelir-gider dengesi ile rekabet yapısına odaklanmıştır (Fort ve Quirk, 1995). Bu araştırmalar, spor kulüplerinin yalnızca sportif başarıya değil aynı zamanda finansal sürdürülebilirliğe de bağlı olduğunu göstermiştir.

2.2. Finans Yönetimi

Spor kulüplerinin mali disiplinini sağlamak, gelir-gider dengesini korumak ve uzun vadeli sürdürülebilirliği güvence altına almak için kullanılan yöntem ve politikaları ifade eder (Sevim ve Bülbül, 2020). Türkiye'de futbol kulüplerinin finansal sürdürülebilirliği üzerine yapılan çalışmalarda, kulüplerin yönetim modellerinin mali disiplin ve sürdürülebilirlik açısından belirleyici olduğu görülmektedir (Devecioğlu ve ark., 2011). Benzer şekilde Boztepe ve Atalay (2020), spor ekonomisi literatüründe muhasebe-finans temalı çalışmaların metodolojik eğilimlerini inceleyerek kulüplerin finansal sorunlarının akademik düzeyde tartışıldığını ortaya koymuştur.

Andreff ve Szymanski'nin (2006) derlediği kapsamlı çalışmada spor ekonomisinin temel teorik çerçevesi ortaya konmuş; yayın hakları, sponsorluklar ve bilet satışlarının kulüplerin finansal yapısındaki belirleyici rolü vurgulanmıştır. Kesenne (2014) ise profesyonel takım sporlarının ekonomik teorisini analitik bir bakış açısıyla ele alarak, kulüplerin gelir maksimizasyonu ile rekabet dengesi arasındaki ilişkiyi tartışmıştır.

Finans yönetimi literatürün de ise kulüplerin mali disiplin sorunları öne çıkmaktadır. Cordery ve arkadaşları (2013), spor kulüplerinin finansal durumlarının algılanış biçimini incelemiş ve birçok kulübün borçlanma politikaları nedeniyle sürdürülebilirlik sorunları yaşadığını ortaya koymuştur. UEFA'nın Finansal Fair Play düzenlemeleri, bu sorunlara çözüm getirmek amacıyla geliştirilmiş; kulüplerin gelirlerinden daha fazla harcama yapmalarını engellemeyi hedeflemiştir (UEFA, 2023).

Son yıllarda spor ekonomisi literatürü, küreselleşme ve dijitalleşme süreçlerine yoğunlaşmıştır. Zheng ve Mason (2022), yeni medya teknolojilerinin spor endüstrisini nasıl dönüştürdüğünü incelemiş ve dijitalleşmenin gelir kaynaklarını çeşitlendirdiğini göstermiştir. Benzer şekilde Çınar (2025), sporun dijitalleşme sürecinde inovasyonların ve yeni finansal modellerin önemini vurgulamıştır. Bu çalışmalar, spor ekonomisinin yalnızca geleneksel gelir kaynaklarına değil aynı zamanda dijital platformlara da dayandığını ortaya koymaktadır.

Türkiye özelinde yapılan araştırmalar ise futbol kulüplerinin finansal yapısına odaklanmaktadır. Özellikle yayın gelirlerinin kulüplerin bütçelerinde belirleyici olduğu, ancak borçlanma oranlarının yüksekliği nedeniyle sürdürülebilirlik sorunlarının devam ettiği görülmektedir (Devecioğlu ve ark., 2011; Boztepe ve Atalay, 2020). Bu bağlamda Türkiye'de spor ekonomisi literatürü, Avrupa kulüpleriyle karşılaştırıldığında finansal yönetim açısından daha kırılgan bir yapı sergilemektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.3. Spor Ekonomisinin Temel Unsurları

Spor ekonomisi, temel olarak gelir ve gider dengesine dayalı bir yapıya sahiptir. Kulüplerin ve organizasyonların gelir kaynakları arasında yayın hakları, bilet satışları, sponsorluk anlaşmaları, lisanslı ürünler ve spor turizmi öne çıkmaktadır (Miceli, 2024; Hacıhasanoğlu ve ark., 2023). Buna karşılık, oyuncu maaşları, transfer harcamaları, tesis yatırımları ve altyapı giderleri spor ekonomisinin başlıca maliyet kalemlerini oluşturmaktadır (Gümüşdağ, 2024). Bu ekonomik döngü, yalnızca kulüplerin finansal sürdürülebilirliği açısından değil, aynı zamanda ülkelerin makroekonomik gelişimi açısından da kritik bir rol oynamaktadır (Wu, 2024). Nitekim FIFA Dünya Kupası ve Olimpiyat Oyunları gibi mega etkinlikler, ev sahibi ülkelere milyarlarca dolarlık ekonomik katkı sağlayarak sporun küresel ölçekte bir endüstri olduğunu göstermektedir (Kalogiannidis ve Syndoukas, 2023; Lang ve ark., 2025). Türkiye'de yapılan çalışmalar da sporun, sosyal bir faaliyet olmanın ötesinde, devlet destekleri ve özel sektör yatırımlarıyla büyüyen bir ekonomik alan haline geldiğini ortaya koymaktadır (Kuyzu ve Lökçü, 2019). Spor kulüplerinin mali tabloları üzerine yapılan araştırmalar ise yayın hakları, sponsorluklar ve bilet satışlarının gelir tarafında; oyuncu maaşları, transfer harcamaları ve tesis giderlerinin ise gider tarafında belirleyici olduğunu vurgulamaktadır (Hacıhasanoğlu ve ark., 2023). Ayrıca Türkiye'de spor ekonomisi üzerine yapılan tez ve akademik çalışmalarda, bu alanın akademik bir disiplin olarak geliştiği ve gelir-gider dengesi, finansal sürdürülebilirlik ile mega etkinliklerin ekonomik etkilerinin öne çıkan araştırma temaları olduğu görülmektedir.

2.4. Finans Yönetimi Perspektifi

Spor kulüplerinde finans yönetimi, yalnızca sportif başarıların değil aynı zamanda kurumsal sürdürülebilirliğin de temel belirleyicisidir; gelir ve giderlerin dengelenmesi, uzun vadeli mali stratejilerin oluşturulması, borçlanma risklerinin kontrolü, sponsorluk yatırımları ve UEFA'nın Finansal Fair Play (FFP) düzenlemeleri bu sürecin kritik unsurlarını oluşturur. Gelir kalemleri arasında yayın hakları, bilet satışları ve sponsorluklar yer alırken, giderler oyuncu maaşları, transfer harcamaları ve tesis masraflarını kapsar; bu dengenin bozulması kulüpleri finansal krizlere sürükleyebilir (Morrow, 2013). Profesyonel futbolda "soft budget constraint" olgusunun kulüplerin mali sürdürülebilirliğini tehdit ettiği belirtilmiştir (Storm ve Nielsen, 2012). Sportif performansın gelirler ve ekonomik sonuçlar üzerindeki etkisi, sponsorluk ve yatırımın önemini ortaya koymaktadır (Barajas ve ark., 2016). İngiltere futbolunda iflas süreçleri, mali yönetim eksikliklerinin sonuçlarını göstermektedir (Szymanski, 2017). FFP'nin kulüplerin mali disiplinini artırarak uzun vadeli sürdürülebilirliği desteklediği ifade edilmektedir (Franck, 2014). UEFA'nın yeni finansal sürdürülebilirlik kuralları ise borç ödeme gücü, istikrar ve maliyet kontrolü ilkelerine dayandırılmıştır (UEFA. 2023). Bu bütünsel yaklaşım, spor kulüplerinin yalnızca sahada değil finansal alanda da sürdürülebilir bir gelecek kurmasına olanak tanımaktadır.

2.5. Türkiye'de Spor Ekonomisi

Türkiye'de spor ekonomisi büyük ölçüde futbol kulüplerinin gelirlerine dayanmaktadır; yayın gelirleri ve sponsorluk anlaşmaları kulüplerin finansal yapısında belirleyici rol oynarken,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

borçlanma sorunu ciddi bir risk oluşturmaktadır (Dayı ve Mousa, 2025). Avrupa ile karşılaştırmalı çalışmalar, Türkiye'de futbol ekonomisinin özellikle Süper Lig yayın haklarına bağımlı olduğunu ve bu durumun kulüplerin gelir çeşitliliğini sınırladığını göstermektedir (Saatçioğlu ve Çakmak, 2019). Bunun yanında, küreselleşmenin etkisiyle sporun Türkiye'deki yapısı dönüşmekte, futbolun yanı sıra farklı branşlarda da ekonomik katkılar ortaya çıkmaktadır (Sahin, 2018). Spor turizmi ise Türkiye ekonomisine doğrudan katkı sağlayan bir diğer alan olup, UEFA finalleri, Formula 1 ve uluslararası turnuvalar gibi büyük organizasyonlar turizm gelirlerini artırmakta ve ülke imajını güçlendirmektedir; benzer şekilde Avrupa'daki örnekler bu etkinliklerin ev sahibi ülkeler için uzun vadeli ekonomik faydalar yarattığını ortaya koymaktadır (Constantinescu ve Ungureanu, 2024). Bu bütünsel çerçeve, Türkiye'de spor ekonomisinin futbol kulüplerinin finansal sürdürülebilirliği, yayın gelirleri ve spor turizmi üzerinden şekillendiğini göstermektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, sporun ekonomik ve finansal sürdürülebilirlikleri açısından ciddi sorunlar yaşadığını ortaya koymaktadır. Türkiye'deki spor alanındaki gelir-gider dengesi bozulmuş, borçlanma oranları artmış ve Avrupa ile karşılaştırıldığında finansal yönetim konusunda daha fazla zorluk yaşandığı görülmektedir. Dolayısıyla sporun uzun vadeli varlığını güvence altına alabilmesi için finansal disiplinin ve şeffaflığın vazgeçilmez olduğu görülmektedir. Özellikle şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkelerine bağlı kalınması hem taraftar güvenini hem de yatırımcı ilgisini artıracaktır. Bunların yanı sıra, gelir çeşitliliğinin sağlanması büyük önem taşımaktadır; dijitalleşme, spor turizmi ve yeni gelir kaynaklarının devreye alınması kulüplerin kırılgan mali yapısını güçlendirebilir. Sporun ekonomik gücünün yalnızca kulüplerin finansal istikrarına değil, aynı zamanda toplumsal faydaya dönüştürülmesi gerektiğini düşünüyorum; bu bağlamda sosyal sorumluluk projelerinin desteklenmesi sporun toplumla bağını kuvvetlendirecek ve sürdürülebilirliği pekiştirecektir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

KAYNAKÇA

Andreff, W., & Szymanski, S. (Eds.). (2006). *Handbook on the Economics of Sport*. Edward Elgar Publishing.

Ataçocuğu, M. Ş. (2023). Akademik bir alan olarak spor ekonomisi: Türkiye'de spor ekonomisi tezleri ve yaygın temalar. *Sportif Bakış: Spor ve Eğitim Bilimleri Dergisi*, *10*(3), 203-228.

Barajas, A., Fernández-Jardón, C., & Crolley, L. (2005). Does sports performance influence revenues and economic results in Spanish football?.

Boztepe, E., & Atalay, A. (2020). Türkiye'de Spor Ekonomisi Alanında Yayımlanan Muhasebe-Finans Temalı Makalelerde Metodolojik Eğilimler. *Turkish Studies-Economics, Finance, Politics*, *15*(3).

Constantinescu, M., & Ungureanu, L. (2024). Economic Effects of Sports Events in Tourism. Case Study EURO 2024. *Journal of Environmental Management & Tourism*, *15*(4), 664-672.

Çınar, D. (2025). Digitalization in Sports: Innovations and Future Perspectives. *Spor ve Bilim Dergisi*, *3*(1), 149-160.

Dayı, F., & Mousa, I. R. A. (2025). Financial Sustainability of Football Clubs: An Evaluation of Debts of Four Major Clubs in Türkiye. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, *14*(2), 807-824.

Değer, R. (2022). Türkiye'de Spor Ekonomisinin Gelişimi ve Devlet Eliyle Desteklenmesi. *Scientific Journal of Finance and Financial Law Studies*, *2*(1), 61-70.

Devecioğlu, S., Çoban, B., & Karakaya, Y. E. (2011). Spor kulüplerinin yönetim modellerinin değerlendirilmesi. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (31).

Feiler, S., Coates, D., Wicker, P., & Breuer, C. (2023). The perceived financial situation of nonprofit sports clubs explained by objective financial measures. *Sport Management Review*, *26*(4), 607-627.

Fort, R., & Quirk, J. (1995). Cross-subsidization, incentives, and outcomes in professional team sports leagues. *Journal of Economic literature*, *33*(3), 1265-1299.

Franck, E. (2014). Financial fair play in European club football: what is it all about?. *International Journal of Sport Finance*, *9*(3), 193-217.

Hacıhasanoğlu, T., Aslan, T., & Ünlü, A. (2023). FUTBOL KULÜPLERİNDE GELİR VE GİDER FAALİYETLERİ: ÖRNEK MUHASEBE UYGULAMALARI. *R&S-Research Studies Anatolia Journal*, *6*(3), 195-210.

Gümüşdağ, H. (2024). Sport Economics and Financial Management. *Economic Research*, *8*(4), 155-166.

Kalogiannidis, S., & Syndoukas, D. (2023). Mega sporting events and their socio-economic impact: Case study of the 2022 FIFA World Cup. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, *7*(2).

Késenne, S. (2014). *The economic theory of professional team sports: An analytical treatment _*. Edward Elgar Publishing.

Kuyzu, M. M., & Lökçü, S. (2019). TÜRKİYE FUTBOL STADYUMLARI DOLULUK ORANLARININ ANALİZİ ve ÖRNEK GELİR YÖNETİMİ UYGULAMALARI. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *19*(4), 1017-1041.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Lang, M., Gogishvili, D., & Müller, M. (2025). What makes mega-events profitable? Determinants of revenues and costs of the Olympic games and the football world cup. *Journal of Global Sport Management*, 1-25.

Miceli, T. J. (2024). Patent races and pennant races: A new rationale for revenue sharing in sports leagues. *Economics Letters*, *234*, 111488.

Morrow, S. (2013). Football club financial reporting: time for a new model?. *Sport, Business and Management: An International Journal*, *3*(4), 297-311.

Saatçioğlu, C., & Çakmak, U. D. (2019). Avrupa Ve Türkiye'de Futbol Ekonomisi: Karşilaştirmali Bir İnceleme. *Sakarya İktisat Dergisi*, *8*(4), 331-350.

Sahin, M. (2018). The Influence of Globalization on Turkish Sports. *Journal of Education and Training Studies*, *6*(4), 26-31.

Sevim, A., & Bülbül, S. (2020). Spor Kulüplerinde Finansal Raporlama Ve Türkiye Muhasebe Standartlarına (TMS) Göre Özellikli İşlemlere İlişkin Örnek Yevmiye Kayıtları. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, (85), 45-64.

Smith, A. C., & Stewart, B. (2013). The special features of sport: A critical revisit. In *Handbook of research on sport and business* (pp. 526-547). Edward Elgar Publishing.

Soygüden, A. (2016). Profesyonel futbol kulüplerinin gelir kaynaklarinin incelenmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *9*(4), 21-35.

Storm, R. K., & Nielsen, K. (2012). Soft budget constraints in professional football. *European Sport Management Quarterly*, *12*(2), 183-201.

Szymanski, S. (2017). Entry into exit: insolvency in English professional football. *Scottish Journal of Political Economy*, *64*(4), 419-444.

UEFA. (2023). *Financial Fair Play regulations*. Union of European Football Associations. https://www.uefa.com

Wu, C. (2025). The impact of sports industry output on economic growth: evidence from China. *Journal of the Knowledge Economy*, *16*(2), 8420-8440.

Yeghiazaryan, G. (2020). Expert evaluation of Financial Management strategies of sport clubs.

Zheng, J., & Mason, D. S. (2022). New media, digitalization, and the evolution of the professional sport industry. *Frontiers in sports and active living*, *4*, 921329.

Zimbalist, A. (2003). Sport as business. *Oxford review of economic policy*, *19*(4), 503-511.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SPORDA BEYİN SARSINTISININ CONCUSSİON ETKİLERİ

Esra ALTUN[1], Dr. Mehmet DALKILIÇ[2],

[1]Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimler Enstitüsü,
altunesra70100@gmail.com, ORCID:0009-0007-7524-3655

[2]Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi,

m.dalkilic@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-0776-7365

ÖZET

Spor ortamlarında ortaya çıkan yaralanmalar arasında kafa travmaları önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle temasın yoğun olduğu branşlarda görülen beyin sarsıntısı (concussion), sporcuların hem performansını hem de genel sağlık durumunu etkileyen ciddi bir durum olarak değerlendirilmektedir. Bu tür yaralanmalar, doğrudan baş bölgesine alınan darbeler ya da vücuda gelen kuvvetin başa iletilmesi sonucunda oluşabilmekte ve bireylerde çeşitli nörolojik belirtiler ortaya çıkarabilmektedir.

Beyin sarsıntısı yaşayan sporcularda dikkat azalması, denge problemleri, baş dönmesi ve reaksiyon süresinde gecikme gibi etkiler gözlemlenebilmektedir. Bu durum yalnızca kısa süreli performans kaybına neden olmakla kalmayıp, gerekli önlemler alınmadığında daha ciddi ve kalıcı sorunlara da yol açabilmektedir. Özellikle tekrarlayan travmaların, uzun vadede sporcuların bilişsel fonksiyonları üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği bilinmektedir.

Bu doğrultuda, beyin sarsıntısının erken dönemde fark edilmesi ve uygun şekilde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Sporcuların yeterli dinlenme sürecine girmesi ve kontrollü bir şekilde spora geri dönmesi, olası risklerin azaltılmasında etkili olmaktadır. Bununla birlikte antrenörlerin ve sporcuların konu hakkında bilinçlendirilmesi, koruyucu yaklaşımların uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Sonuç olarak, sporcu sağlığının korunabilmesi için beyin sarsıntısına yönelik farkındalığın artırılması ve bilimsel temelli uygulamaların benimsenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Beyin Sarsıntısı, Spor Yaralanmaları, Nörolojik Etkiler, Sporcu Sağlığı

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

GİRİŞ

Spor, bireylerin fiziksel, psikolojik ve sosyal gelişimlerine önemli katkılar sağlayan bir etkinlik alanı olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, özellikle temasın yoğun olduğu spor dallarında çeşitli yaralanma riskleri de ortaya çıkmaktadır. Bu yaralanmalar arasında beyin sarsıntısı (*concussion*), son yıllarda hem bilimsel literatürde hem de spor kamuoyunda önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Harmon et al., 2019; McCrory et al., 2017). Açıkçası dışarıdan bakıldığında çoğu zaman çok ciddi gibi algılanmasa da, bu durumun etkileri düşündüğümüzden daha kapsamlı ve önemli olabilmektedir.

Beyin sarsıntısı; başa alınan doğrudan darbeler ya da vücuda gelen kuvvetin beyne iletilmesi sonucu ortaya çıkan hafif travmatik beyin yaralanması olarak tanımlanmaktadır (Giza & Hovda, 2014; Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2018). Spor ortamında özellikle taekwondo, futbol, boks ve rugby gibi temasın yoğun olduğu branşlarda bu tür yaralanmaların görülme sıklığı daha yüksektir (Pfister et al., 2016; Broglio et al., 2014). Yani aslında sahada karşılaşabileceğimiz, çok da uzak olmayan bir durumdur.

Beyin sarsıntısının etkileri yalnızca fiziksel semptomlarla sınırlı kalmamakta; baş ağrısı, baş dönmesi ve mide bulantısı gibi belirtilerin yanı sıra dikkat eksikliği, hafıza problemleri ve reaksiyon süresinde yavaşlama gibi bilişsel bozulmaları da içermektedir (Guskiewicz et al., 2003; McCrory et al., 2017). Bununla birlikte bazı sporcularda duygusal değişimler, irritabilite ve uyku bozuklukları gibi semptomlar da gözlemlenebilmektedir (Kutcher & Eckner, 2010; Harmon et al., 2019). Açık konuşmak gerekirse, bu belirtiler bazen sporcular tarafından yeterince önemsenmeyebilmekte, ancak bu durum ilerleyen süreçte daha ciddi problemlere yol açabilmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, tekrarlayan beyin sarsıntılarının uzun vadede kronik travmatik ensefalopati (CTE) gibi nörodejeneratif hastalıklarla ilişkili olabileceğini göstermektedir (Stern et al., 2011; Mez et al., 2017). Özellikle gelişim çağındaki sporcular açısından bu risk daha da önem kazanmaktadır. Çünkü genç bireylerde beynin gelişim sürecinde olması, travmatik etkilerin daha kalıcı sonuçlar doğurmasına neden olabilmektedir (Field et al., 2003; Broglio et al., 2014). Yani bu durumun "önemsiz" olarak değerlendirilmesi doğru değildir.

Bu bağlamda, sporda beyin sarsıntısının etkilerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesi; erken tanı, uygun tedavi ve önleyici stratejilerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (McCrory et al., 2017; Harmon et al., 2019). Aynı zamanda antrenörler, sporcular ve sağlık profesyonelleri arasında bu konuda farkındalık oluşturulması gerekmektedir. Çünkü ancak bu şekilde sporun sağladığı faydalar korunurken, sporcu sağlığı da güvence altına alınabilecektir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

GELİŞME

Beyin sarsıntısının sporcular üzerindeki etkileri incelendiğinde, bu durumun yalnızca kısa süreli bir yaralanma olmadığı, aksine çok boyutlu ve karmaşık sonuçlar doğurabildiği görülmektedir. Literatürde beyin sarsıntısının nörometabolik bir süreç olduğu ve darbe sonrasında beyinde geçici enerji dengesizliklerine yol açtığı belirtilmektedir (Giza & Hovda, 2014). Bu süreçte nöronal fonksiyonlarda bozulmalar meydana gelmekte ve bu durum sporcuların hem fiziksel hem de bilişsel performanslarını doğrudan etkilemektedir. Açıkçası bu noktada olayın sadece "başını çarptı geçti" gibi basit bir durum olmadığı net bir şekilde anlaşılmaktadır.

Beyin sarsıntısının akut etkileri arasında baş ağrısı, baş dönmesi, denge kaybı ve görsel bozukluklar gibi fiziksel semptomlar yer almaktadır (McCrory et al., 2017). Bununla birlikte, dikkat eksikliği, bilgi işleme hızında azalma ve hafıza problemleri gibi bilişsel etkiler de sıkça rapor edilmektedir (Guskiewicz et al., 2003). Sporcular açısından bakıldığında bu durum, performans düşüşüne ve karar verme mekanizmalarında yavaşlamaya neden olabilmektedir. Yani sahada bir sporcunun geç reaksiyon vermesi ya da hatalı kararlar alması, aslında altta yatan bir beyin sarsıntısının sonucu olabilir.

Beyin sarsıntısının psikolojik etkileri de göz ardı edilmemelidir. Yapılan çalışmalar, sporcularda irritabilite, anksiyete, depresif belirtiler ve duygusal dalgalanmaların görülebildiğini ortaya koymaktadır (Kutcher & Eckner, 2010; Harmon et al., 2019). Bu durum özellikle müsabık sporcular için ciddi bir problem oluşturabilmektedir. Çünkü sadece fiziksel olarak değil, mental olarak da performans düşüşü yaşanmaktadır. Açık konuşmak gerekirse, bazen bu psikolojik etkiler fiziksel belirtilerden bile daha uzun sürebilmektedir.

Tekrarlayan beyin sarsıntıları ise çok daha ciddi sonuçlara yol açabilmektedir. Literatürde "ikinci darbe sendromu" (second impact syndrome) olarak adlandırılan durum, ilk sarsıntı tam olarak iyileşmeden ikinci bir darbenin alınmasıyla ortaya çıkmakta ve hayati risk oluşturabilmektedir (McCrory et al., 2017). Bununla birlikte, uzun vadede tekrarlayan travmaların kronik travmatik ensefalopati (CTE) ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Stern et al., 2011; Mez et al., 2017). Bu hastalık; bilişsel gerileme, davranış değişiklikleri ve nörolojik bozukluklarla karakterizedir. Yani olay sadece o anlık bir sakatlık değil, ilerleyen yıllarda bile etkisini gösterebilen bir süreçtir.

Özellikle genç sporcular üzerinde yapılan çalışmalar, beyin sarsıntısının etkilerinin yaşa bağlı olarak farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Gelişim çağındaki bireylerde beynin henüz tam olgunlaşmamış olması nedeniyle iyileşme sürecinin daha uzun sürdüğü ve etkilerin daha belirgin olduğu ifade edilmektedir (Field et al., 2003; Broglio et al., 2014). Bu nedenle genç sporcuların korunması ve uygun dinlenme süreçlerinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Yani burada antrenörlere de ciddi sorumluluk düşmektedir.

Beyin sarsıntısının yönetimi ve önlenmesine yönelik yaklaşımlar da literatürde geniş yer bulmaktadır. Erken tanı, uygun dinlenme süresi ve kademeli olarak spora dönüş protokollerinin uygulanması, sporcu sağlığının korunmasında kritik rol oynamaktadır (Harmon et al., 2019; McCrory et al., 2017). Bunun yanında, koruyucu ekipmanların kullanımı ve eğitim programları ile farkındalığın artırılması da önemli stratejiler arasında yer almaktadır (CDC, 2018). Açıkçası

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

bu işin en kritik noktası, belirtileri doğru tanımak ve sporcuyu erken aşamada oyundan çekebilmektir.

Sonuç olarak, beyin sarsıntısı sporcular üzerinde fiziksel, bilişsel ve psikolojik boyutları olan çok yönlü etkiler yaratmaktadır. Bu etkilerin kısa ve uzun vadede ciddi sonuçlara yol açabilmesi, konunun yalnızca tıbbi değil aynı zamanda eğitsel ve yönetsel bir perspektifle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, spor ortamında bilinçli yaklaşımın benimsenmesi ve bilimsel veriler doğrultusunda hareket edilmesi büyük önem taşımaktadır.

SONUÇ

Sporcularda beyin sarsıntısı, yalnızca geçici bir yaralanma olarak değerlendirilmemelidir. Fiziksel, bilişsel ve psikolojik etkileri bir araya geldiğinde, sporcular üzerinde karmaşık ve uzun vadeli sonuçlar doğurabilmektedir. Açıkçası bazen bu durum "geçer" gibi düşünülebilir, fakat yaşanan semptomlar ve performanstaki düşüşler bunun çok ciddi bir sağlık sorunu olduğunu gösteriyor. Baş dönmesi, baş ağrısı, dikkat ve hafıza problemleri gibi etkiler, sahada sporcunun karar verme mekanizmasını doğrudan etkileyebiliyor ve tekrarlayan darbeler uzun vadede kalıcı sorunlara yol açabiliyor.

Genç sporcular açısından risk daha da yüksek. Beyin gelişimi tamamlanmamış olan bireylerde iyileşme süreci daha uzun sürüyor ve etkiler daha belirgin olabiliyor. Burada benim vurgulamak istediğim şey şudur: sporun sağladığı faydalar kadar, risklerini bilmek ve ona göre önlem almak da son derece önemli.

Beyin sarsıntısının yönetimi, erken fark edilmesi, uygun dinlenme süreleri ve kademeli olarak spora dönüş süreçleriyle mümkün olabiliyor. Ayrıca antrenörlerin ve sporcuların bilinçli olması, farkındalığın artırılması ve koruyucu ekipmanların kullanımı da bu sürecin kritik parçaları. Açıkçası sahada sporcunun sağlığını korumak, sadece fiziksel önlem almakla değil, aynı zamanda bilinçli bir yaklaşım ve eğitimle sağlanabiliyor.

Sonuç olarak, beyin sarsıntısı sadece anlık bir sakatlık değil, uzun vadeli etkileri olan ve sporcuların hem performansını hem de genel sağlığını etkileyen bir durumdur. Bu nedenle spor ortamında bilinçli hareket etmek, sporcunun korunmasını sağlamak ve riskleri en aza indirmek için gerekli adımların atılması büyük önem taşımaktadır. Ben de her zaman vurgulamak isterim ki; sporun keyfi ve faydaları kadar, olası riskleri de bilmek ve ona göre hareket etmek işin özüdür.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

KAYNAKÇA

Broglio, S. P., Cantu, R. C., Gioia, G. A., Guskiewicz, K. M., Kutcher, J., Palm, M., & McLeod, T. C. V. (2014). National Athletic Trainers' Association position statement: Management of sport concussion. *Journal of Athletic Training, 49*(2), 245–265.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2018). *Traumatic brain injury & concussion*.

Field, M., Collins, M. W., Lovell, M. R., & Maroon, J. (2003). Does age play a role in recovery from sports-related concussion? A comparison of high school and collegiate athletes. *Journal of Pediatrics, 142*(5), 546–553.

Giza, C. C., & Hovda, D. A. (2014). The new neurometabolic cascade of concussion. *Neurosurgery, 75*(Suppl 4), S24–S33.

Guskiewicz, K. M., McCrea, M., Marshall, S. W., Cantu, R. C., Randolph, C., Barr, W., Onate, J. A., & Kelly, J. P. (2003). Cumulative effects associated with recurrent concussion in collegiate football players. *JAMA, 290*(19), 2549–2555.

Harmon, K. G., Clugston, J. R., Dec, K., Hainline, B., Herring, S., Kane, S. F., Kontos, A. P., Leddy, J. J., McCrea, M., Poddar, S. K., Putukian, M., Wilson, J. C., & Roberts, W. O. (2019). American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. *British Journal of Sports Medicine, 53*(4), 213–225.

Kutcher, J. S., & Eckner, J. T. (2010). At-risk populations in sports-related concussion. Current Sports Medicine Reports, 9(1), 16–20.

McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvořák, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., Cantu, R., Cassidy, D., Echemendia, R., Castellani, R. J., Davis, G. A., Ellenbogen, R., Emery, C., Engebretsen, L., Feddermann-Demont, N., Giza, C., Guskiewicz, K., Herring, S., Iverson, G. L., … Vos, P. E. (2017). Consensus statement on concussion in sport—the 5th international conference on concussion in sport. *British Journal of Sports Medicine, 51*(11), 838–847.

Mez, J., Daneshvar, D. H., Kiernan, P. T., Abdolmohammadi, B., Alvarez, V. E., Huber, B. R., Alosco, M. L., Solomon, T. M., Nowinski, C. J., McHale, L., Cormier, K. A., Kubilus, C. A., Martin, B. M., Murphy, L., Baugh, C. M., Montenigro, P. H., Chaisson, C. E., Tripodis, Y., Kowall, N. W., … Stern, R. A. (2017). Clinicopathological evaluation of chronic traumatic encephalopathy in players of American football. *JAMA, 318*(4), 360–370.

Pfister, T., Pfister, K., Hagel, B., Ghali, W. A., & Ronksley, P. E. (2016). The incidence of concussion in youth sports: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine, 50*(5), 292–297.

Stern, R. A., Riley, D. O., Daneshvar, D. H., Nowinski, C. J., Cantu, R. C., & McKee, A. C. (2011). Long-term consequences of repetitive brain trauma: Chronic traumatic encephalopathy. *PM&R, 3*(10 Suppl 2), S460–S467.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SPORDA BEYİN SARSINTISININ CONCUSSİON ETKİLERİ

Esra ALTUN[1], Dr. Mehmet DALKILIÇ[2],

[1]Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sağlık Bilimler Enstitüsü,
altunesra70100@gmail.com, ORCID:0009-0007-7524-3655

[2]Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi,

m.dalkilic@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-0776-7365

ÖZET

Spor ortamlarında ortaya çıkan yaralanmalar arasında kafa travmaları önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle temasın yoğun olduğu branşlarda görülen beyin sarsıntısı (concussion), sporcuların hem performansını hem de genel sağlık durumunu etkileyen ciddi bir durum olarak değerlendirilmektedir. Bu tür yaralanmalar, doğrudan baş bölgesine alınan darbeler ya da vücuda gelen kuvvetin başa iletilmesi sonucunda oluşabilmekte ve bireylerde çeşitli nörolojik belirtiler ortaya çıkarabilmektedir.

Beyin sarsıntısı yaşayan sporcularda dikkat azalması, denge problemleri, baş dönmesi ve reaksiyon süresinde gecikme gibi etkiler gözlemlenebilmektedir. Bu durum yalnızca kısa süreli performans kaybına neden olmakla kalmayıp, gerekli önlemler alınmadığında daha ciddi ve kalıcı sorunlara da yol açabilmektedir. Özellikle tekrarlayan travmaların, uzun vadede sporcuların bilişsel fonksiyonları üzerinde olumsuz etkiler oluşturabileceği bilinmektedir.

Bu doğrultuda, beyin sarsıntısının erken dönemde fark edilmesi ve uygun şekilde yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. Sporcuların yeterli dinlenme sürecine girmesi ve kontrollü bir şekilde spora geri dönmesi, olası risklerin azaltılmasında etkili olmaktadır. Bununla birlikte antrenörlerin ve sporcuların konu hakkında bilinçlendirilmesi, koruyucu yaklaşımların uygulanmasını kolaylaştırmaktadır. Sonuç olarak, sporcu sağlığının korunabilmesi için beyin sarsıntısına yönelik farkındalığın artırılması ve bilimsel temelli uygulamaların benimsenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Beyin Sarsıntısı, Spor Yaralanmaları, Nörolojik Etkiler, Sporcu Sağlığı

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

GİRİŞ

Spor, bireylerin fiziksel, psikolojik ve sosyal gelişimlerine önemli katkılar sağlayan bir etkinlik alanı olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, özellikle temasın yoğun olduğu spor dallarında çeşitli yaralanma riskleri de ortaya çıkmaktadır. Bu yaralanmalar arasında beyin sarsıntısı (*concussion*), son yıllarda hem bilimsel literatürde hem de spor kamuoyunda önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir (Harmon et al., 2019; McCrory et al., 2017). Açıkçası dışarıdan bakıldığında çoğu zaman çok ciddi gibi algılanmasa da, bu durumun etkileri düşündüğümüzden daha kapsamlı ve önemli olabilmektedir.

Beyin sarsıntısı; başa alınan doğrudan darbeler ya da vücuda gelen kuvvetin beyne iletilmesi sonucu ortaya çıkan hafif travmatik beyin yaralanması olarak tanımlanmaktadır (Giza & Hovda, 2014; Centers for Disease Control and Prevention [CDC], 2018). Spor ortamında özellikle taekwondo, futbol, boks ve rugby gibi temasın yoğun olduğu branşlarda bu tür yaralanmaların görülme sıklığı daha yüksektir (Pfister et al., 2016; Broglio et al., 2014). Yani aslında sahada karşılaşabileceğimiz, çok da uzak olmayan bir durumdur.

Beyin sarsıntısının etkileri yalnızca fiziksel semptomlarla sınırlı kalmamakta; baş ağrısı, baş dönmesi ve mide bulantısı gibi belirtilerin yanı sıra dikkat eksikliği, hafıza problemleri ve reaksiyon süresinde yavaşlama gibi bilişsel bozulmaları da içermektedir (Guskiewicz et al., 2003; McCrory et al., 2017). Bununla birlikte bazı sporcularda duygusal değişimler, irritabilite ve uyku bozuklukları gibi semptomlar da gözlemlenebilmektedir (Kutcher & Eckner, 2010; Harmon et al., 2019). Açık konuşmak gerekirse, bu belirtiler bazen sporcular tarafından yeterince önemsenmeyebilmekte, ancak bu durum ilerleyen süreçte daha ciddi problemlere yol açabilmektedir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar, tekrarlayan beyin sarsıntılarının uzun vadede kronik travmatik ensefalopati (CTE) gibi nörodejeneratif hastalıklarla ilişkili olabileceğini göstermektedir (Stern et al., 2011; Mez et al., 2017). Özellikle gelişim çağındaki sporcular açısından bu risk daha da önem kazanmaktadır. Çünkü genç bireylerde beynin gelişim sürecinde olması, travmatik etkilerin daha kalıcı sonuçlar doğurmasına neden olabilmektedir (Field et al., 2003; Broglio et al., 2014). Yani bu durumun "önemsiz" olarak değerlendirilmesi doğru değildir.

Bu bağlamda, sporda beyin sarsıntısının etkilerinin kapsamlı bir şekilde incelenmesi; erken tanı, uygun tedavi ve önleyici stratejilerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır (McCrory et al., 2017; Harmon et al., 2019). Aynı zamanda antrenörler, sporcular ve sağlık profesyonelleri arasında bu konuda farkındalık oluşturulması gerekmektedir. Çünkü ancak bu şekilde sporun sağladığı faydalar korunurken, sporcu sağlığı da güvence altına alınabilecektir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

GELİŞME

Beyin sarsıntısının sporcular üzerindeki etkileri incelendiğinde, bu durumun yalnızca kısa süreli bir yaralanma olmadığı, aksine çok boyutlu ve karmaşık sonuçlar doğurabildiği görülmektedir. Literatürde beyin sarsıntısının nörometabolik bir süreç olduğu ve darbe sonrasında beyinde geçici enerji dengesizliklerine yol açtığı belirtilmektedir (Giza & Hovda, 2014). Bu süreçte nöronal fonksiyonlarda bozulmalar meydana gelmekte ve bu durum sporcuların hem fiziksel hem de bilişsel performanslarını doğrudan etkilemektedir. Açıkçası bu noktada olayın sadece "başını çarptı geçti" gibi basit bir durum olmadığı net bir şekilde anlaşılmaktadır.

Beyin sarsıntısının akut etkileri arasında baş ağrısı, baş dönmesi, denge kaybı ve görsel bozukluklar gibi fiziksel semptomlar yer almaktadır (McCrory et al., 2017). Bununla birlikte, dikkat eksikliği, bilgi işleme hızında azalma ve hafıza problemleri gibi bilişsel etkiler de sıkça rapor edilmektedir (Guskiewicz et al., 2003). Sporcular açısından bakıldığında bu durum, performans düşüşüne ve karar verme mekanizmalarında yavaşlamaya neden olabilmektedir. Yani sahada bir sporcunun geç reaksiyon vermesi ya da hatalı kararlar alması, aslında altta yatan bir beyin sarsıntısının sonucu olabilir.

Beyin sarsıntısının psikolojik etkileri de göz ardı edilmemelidir. Yapılan çalışmalar, sporcularda irritabilite, anksiyete, depresif belirtiler ve duygusal dalgalanmaların görülebildiğini ortaya koymaktadır (Kutcher & Eckner, 2010; Harmon et al., 2019). Bu durum özellikle müsabık sporcular için ciddi bir problem oluşturabilmektedir. Çünkü sadece fiziksel olarak değil, mental olarak da performans düşüşü yaşanmaktadır. Açık konuşmak gerekirse, bazen bu psikolojik etkiler fiziksel belirtilerden bile daha uzun sürebilmektedir.

Tekrarlayan beyin sarsıntıları ise çok daha ciddi sonuçlara yol açabilmektedir. Literatürde "ikinci darbe sendromu" (second impact syndrome) olarak adlandırılan durum, ilk sarsıntı tam olarak iyileşmeden ikinci bir darbenin alınmasıyla ortaya çıkmakta ve hayati risk oluşturabilmektedir (McCrory et al., 2017). Bununla birlikte, uzun vadede tekrarlayan travmaların kronik travmatik ensefalopati (CTE) ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Stern et al., 2011; Mez et al., 2017). Bu hastalık; bilişsel gerileme, davranış değişiklikleri ve nörolojik bozukluklarla karakterizedir. Yani olay sadece o anlık bir sakatlık değil, ilerleyen yıllarda bile etkisini gösterebilen bir süreçtir.

Özellikle genç sporcular üzerinde yapılan çalışmalar, beyin sarsıntısının etkilerinin yaşa bağlı olarak farklılık gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Gelişim çağındaki bireylerde beynin henüz tam olgunlaşmamış olması nedeniyle iyileşme sürecinin daha uzun sürdüğü ve etkilerin daha belirgin olduğu ifade edilmektedir (Field et al., 2003; Broglio et al., 2014). Bu nedenle genç sporcuların korunması ve uygun dinlenme süreçlerinin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Yani burada antrenörlere de ciddi sorumluluk düşmektedir.

Beyin sarsıntısının yönetimi ve önlenmesine yönelik yaklaşımlar da literatürde geniş yer bulmaktadır. Erken tanı, uygun dinlenme süresi ve kademeli olarak spora dönüş protokollerinin uygulanması, sporcu sağlığının korunmasında kritik rol oynamaktadır (Harmon et al., 2019; McCrory et al., 2017). Bunun yanında, koruyucu ekipmanların kullanımı ve eğitim programları ile farkındalığın artırılması da önemli stratejiler arasında yer almaktadır (CDC, 2018). Açıkçası

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

bu işin en kritik noktası, belirtileri doğru tanımak ve sporcuyu erken aşamada oyundan çekebilmektir.

Sonuç olarak, beyin sarsıntısı sporcular üzerinde fiziksel, bilişsel ve psikolojik boyutları olan çok yönlü etkiler yaratmaktadır. Bu etkilerin kısa ve uzun vadede ciddi sonuçlara yol açabilmesi, konunun yalnızca tıbbi değil aynı zamanda eğitsel ve yönetsel bir perspektifle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle, spor ortamında bilinçli yaklaşımın benimsenmesi ve bilimsel veriler doğrultusunda hareket edilmesi büyük önem taşımaktadır.

SONUÇ

Sporcularda beyin sarsıntısı, yalnızca geçici bir yaralanma olarak değerlendirilmemelidir. Fiziksel, bilişsel ve psikolojik etkileri bir araya geldiğinde, sporcular üzerinde karmaşık ve uzun vadeli sonuçlar doğurabilmektedir. Açıkçası bazen bu durum "geçer" gibi düşünülebilir, fakat yaşanan semptomlar ve performanstaki düşüşler bunun çok ciddi bir sağlık sorunu olduğunu gösteriyor. Baş dönmesi, baş ağrısı, dikkat ve hafıza problemleri gibi etkiler, sahada sporcunun karar verme mekanizmasını doğrudan etkileyebiliyor ve tekrarlayan darbeler uzun vadede kalıcı sorunlara yol açabiliyor.

Genç sporcular açısından risk daha da yüksek. Beyin gelişimi tamamlanmamış olan bireylerde iyileşme süreci daha uzun sürüyor ve etkiler daha belirgin olabiliyor. Burada benim vurgulamak istediğim şey şudur: sporun sağladığı faydalar kadar, risklerini bilmek ve ona göre önlem almak da son derece önemli.

Beyin sarsıntısının yönetimi, erken fark edilmesi, uygun dinlenme süreleri ve kademeli olarak spora dönüş süreçleriyle mümkün olabiliyor. Ayrıca antrenörlerin ve sporcuların bilinçli olması, farkındalığın artırılması ve koruyucu ekipmanların kullanımı da bu sürecin kritik parçaları. Açıkçası sahada sporcunun sağlığını korumak, sadece fiziksel önlem almakla değil, aynı zamanda bilinçli bir yaklaşım ve eğitimle sağlanabiliyor.

Sonuç olarak, beyin sarsıntısı sadece anlık bir sakatlık değil, uzun vadeli etkileri olan ve sporcuların hem performansını hem de genel sağlığını etkileyen bir durumdur. Bu nedenle spor ortamında bilinçli hareket etmek, sporcunun korunmasını sağlamak ve riskleri en aza indirmek için gerekli adımların atılması büyük önem taşımaktadır. Ben de her zaman vurgulamak isterim ki; sporun keyfi ve faydaları kadar, olası riskleri de bilmek ve ona göre hareket etmek işin özüdür.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

KAYNAKÇA

Broglio, S. P., Cantu, R. C., Gioia, G. A., Guskiewicz, K. M., Kutcher, J., Palm, M., & McLeod, T. C. V. (2014). National Athletic Trainers' Association position statement: Management of sport concussion. *Journal of Athletic Training, 49*(2), 245–265.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2018). *Traumatic brain injury & concussion*.

Field, M., Collins, M. W., Lovell, M. R., & Maroon, J. (2003). Does age play a role in recovery from sports-related concussion? A comparison of high school and collegiate athletes. *Journal of Pediatrics, 142*(5), 546–553.

Giza, C. C., & Hovda, D. A. (2014). The new neurometabolic cascade of concussion. *Neurosurgery, 75*(Suppl 4), S24–S33.

Guskiewicz, K. M., McCrea, M., Marshall, S. W., Cantu, R. C., Randolph, C., Barr, W., Onate, J. A., & Kelly, J. P. (2003). Cumulative effects associated with recurrent concussion in collegiate football players. *JAMA, 290*(19), 2549–2555.

Harmon, K. G., Clugston, J. R., Dec, K., Hainline, B., Herring, S., Kane, S. F., Kontos, A. P., Leddy, J. J., McCrea, M., Poddar, S. K., Putukian, M., Wilson, J. C., & Roberts, W. O. (2019). American Medical Society for Sports Medicine position statement on concussion in sport. *British Journal of Sports Medicine, 53*(4), 213–225.

Kutcher, J. S., & Eckner, J. T. (2010). At-risk populations in sports-related concussion. Current Sports Medicine Reports, 9(1), 16–20.

McCrory, P., Meeuwisse, W., Dvořák, J., Aubry, M., Bailes, J., Broglio, S., Cantu, R., Cassidy, D., Echemendia, R., Castellani, R. J., Davis, G. A., Ellenbogen, R., Emery, C., Engebretsen, L., Feddermann-Demont, N., Giza, C., Guskiewicz, K., Herring, S., Iverson, G. L., … Vos, P. E. (2017). Consensus statement on concussion in sport—the 5th international conference on concussion in sport. *British Journal of Sports Medicine, 51*(11), 838–847.

Mez, J., Daneshvar, D. H., Kiernan, P. T., Abdolmohammadi, B., Alvarez, V. E., Huber, B. R., Alosco, M. L., Solomon, T. M., Nowinski, C. J., McHale, L., Cormier, K. A., Kubilus, C. A., Martin, B. M., Murphy, L., Baugh, C. M., Montenigro, P. H., Chaisson, C. E., Tripodis, Y., Kowall, N. W., … Stern, R. A. (2017). Clinicopathological evaluation of chronic traumatic encephalopathy in players of American football. *JAMA, 318*(4), 360–370.

Pfister, T., Pfister, K., Hagel, B., Ghali, W. A., & Ronksley, P. E. (2016). The incidence of concussion in youth sports: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine, 50*(5), 292–297.

Stern, R. A., Riley, D. O., Daneshvar, D. H., Nowinski, C. J., Cantu, R. C., & McKee, A. C. (2011). Long-term consequences of repetitive brain trauma: Chronic traumatic encephalopathy. *PM&R, 3*(10 Suppl 2), S460–S467.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ELECTRONIC CIGARETTES: BETWEEN SMOKING CESSATION BENEFITS AND RISKS

Saadi Fatima Zohra

Ahmed Ben Bella University 1.Oran; Algeria

saadizahraatoxico@gmail.com– https://orcid.org/0000-0002-3801-8228

ABSTRACT

Electronic cigarettes, also known as Electronic Nicotine Delivery Systems, are increasingly used worldwide as alternatives to conventional tobacco and as smoking cessation tools. Their growing popularity is largely driven by the perception of reduced harm. However, accumulating evidence indicates that e-cigarette aerosols contain toxic compounds capable of inducing oxidative stress and inflammation, raising concerns about their long-term safety. The objective of the present work was to synthesize current evidence on the health risks associated with e-cigarette use.

A narrative review was conducted using Google Scholar as the primary source for literature retrieval, with the keyword “electronic cigarettes.” The search was limited to review articles published in 2026. A total of 180 articles were identified, from which the 10 most relevant peer-reviewed studies were selected based on their scientific relevance and methodological quality.

Analysis of the selected studies indicates that e-cigarette aerosols promote excessive production of reactive oxygen species, mitochondrial dysfunction, DNA damage, and activation of redox-sensitive pathways such as NF-κB and NRF2. These molecular alterations contribute to oxidative stress and inflammation, potentially leading to long-term cellular damage. Epidemiological evidence also suggests increased odds of major adverse cardiovascular events, including stroke and coronary heart disease, particularly among dual users. Conversely, nicotine-containing e-cigarettes may enhance smoking cessation rates compared with conventional therapies, although evidence regarding serious adverse events remains inconclusive.

In conclusion, e-cigarettes represent a complex public health issue, combining potential benefits in smoking cessation with emerging health risks. Further high-quality longitudinal studies are needed to clarify their long-term safety.

Keywords:
Electronic cigarettes; oxidative stress; health risk; smoking cessation

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

TİP 2 DİYABETTE DİYABETİK NEFROPATİ: GÜNCEL BÖBREK KORUYUCU STRATEJİLER VE YENİ TEDAVİ HEDEFLERİ

Prof. Dr., MEHTAP KAVURMACI [1], Dr. Öğr. Üyesi, BÜŞRA CEREN DEMİREL YILDIZ [2]

[1] Atatürk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, mehtap.kavurmaci@atauni.edu.tr- 0000-0001-7062-4845

[2]Siirt Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, busra.demirel@siirt.edu.tr- 0000-0003-4971-9115

ÖZET

Diyabetik nefropati, tip 2 diyabetes mellitusun en ciddi mikrovasküler komplikasyonlarından biri olup, dünya genelinde kronik böbrek hastalığı ve son dönem böbrek yetmezliğinin başlıca nedenlerinden biridir. Diyabetik nefropatinin patogenezi; hiperglisemiye bağlı metabolik değişiklikler, hemodinamik bozukluklar, inflamasyon, oksidatif stres ve ilerleyici renal fibrozisi içeren kompleks ve çok faktörlü bir süreçtir. Hastalığın erken tanısı ve etkin yönetimi, hastalık progresyonunun önlenmesi ve hasta sonuçlarının iyileştirilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Güncel böbrek koruyucu stratejiler; temel olarak glisemik kontrolün sağlanması, kan basıncının düzenlenmesi ve renin-anjiyotensin-aldosteron sistemi (RAAS) inhibitörleri kullanılarak albuminürinin azaltılmasına odaklanmaktadır. Son yıllarda, (SGLT2) sodyum-glukoz kotransporter 2 inhibitörleri ve (GLP-1) glukagon benzeri peptid-1 reseptör agonistleri gibi yeni tedavi ajanlarının, sadece glisemik kontrol için değil aynı zamanda anti-inflamatuar, antifibrotik ve hemodinamik etkiler yoluyla belirgin böbrek koruyucu faydalar sağladığı gösterilmiştir.

Gelişmekte olan tedavi hedefleri ise giderek daha fazla altta yatan patofizyolojik mekanizmalara, özellikle oksidatif stres, inflamatuar yolaklar ve fibrotik süreçlere yönelmektedir. Bu yaklaşımlar, tip 2 diyabetli hastalarda renal sonuçların iyileştirilmesi açısından umut verici görünmektedir.

Bu derlemenin amacı, diyabetik nefropatide güncel böbrek koruyucu stratejileri özetlemek ve patofizyolojik içgörüler doğrultusunda gelişmekte olan yeni tedavi hedeflerini ortaya koymaktır.

Anahtar Kelimeler : Diyabetik nefropati; Tip 2 diyabet; SGLT2 inhibitörleri

1. GİRİŞ

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Diyabetes mellitus, dünya genelinde prevalansı hızla artan kronik metabolik bir hastalık olup, ciddi mikrovasküler ve makrovasküler komplikasyonlara yol açmaktadır. Bu komplikasyonlar arasında yer alan diyabetik nefropati, kronik böbrek hastalığı ve son dönem böbrek yetmezliğinin başlıca nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Tip 2 diyabetli bireylerin yaklaşık %30–40'ında diyabetik nefropati geliştiği bildirilmektedir. Hastalık, genellikle sinsi bir seyir izleyerek erken evrelerde belirgin klinik bulgu vermemekte ve bu durum tanı ve tedavide gecikmelere neden olmaktadır. (Alicic et al., 2017; Thomas et al., 2015)

Diyabetik nefropatinin gelişimi, kronik hipergliseminin tetiklediği metabolik ve hemodinamik değişikliklerin karmaşık etkileşimi sonucu ortaya çıkmaktadır. Sürekli yüksek kan glukoz düzeyleri; ileri glikasyon son ürünlerinin (AGEs) birikimine, protein kinaz C (PKC) aktivasyonuna ve poliol yolunun artmasına neden olarak hücresel düzeyde hasarı başlatmaktadır. Bununla birlikte, intraglomerüler basınç artışı ve hiperfiltrasyon gibi hemodinamik değişiklikler glomerüler yapıda bozulmalara yol açmaktadır. Bu süreçler sonucunda glomerüler bazal membran kalınlaşması, mezangial genişleme ve podosit hasarı gibi yapısal değişiklikler gelişmekte ve hastalığın ilerlemesine katkı sağlamaktadır. (Brosius et al., 2021; Samsu, 2021)

Son yıllarda yapılan çalışmalar, diyabetik nefropatinin patogenezinde inflamasyon ve oksidatif stresin merkezi bir rol oynadığını ortaya koymuştur. Kronik hiperglisemiye bağlı olarak artan reaktif oksijen türleri (ROS), hücresel yapılarda hasara yol açarken aynı zamanda inflamatuar yanıtı tetiklemektedir. Bu süreçte tümör nekroz faktör-alfa (TNF-α), interlökin-6 (IL-6) ve transforming growth factor-beta (TGF-β) gibi sitokinlerin artışı, böbrek dokusunda inflamasyonun ve fibrotik süreçlerin ilerlemesine katkı sağlamaktadır. Oksidatif stres ve inflamasyon arasındaki karşılıklı etkileşim, podosit kaybı, mezangial hücre proliferasyonu ve ekstrasellüler matriks birikimi gibi patolojik değişikliklere yol açarak renal fibrozisin gelişimini hızlandırmaktadır. Bu nedenle inflamasyon ve oksidatif stres, diyabetik nefropatinin hem gelişiminde hem de ilerlemesinde önemli terapötik hedefler olarak değerlendirilmektedir.(Liyun & Yanyun, 2021; Yang et al., 2024)

Bu bağlamda, diyabetik nefropatinin erken tanısı ve hastalığın ilerlemesini önlemeye yönelik etkili tedavi stratejilerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Geleneksel tedavi yaklaşımları çoğunlukla glisemik kontrol ve kan basıncının düzenlenmesine odaklanırken, son yıllarda böbrek hasarının altında yatan patofizyolojik mekanizmaların daha iyi anlaşılması, yeni tedavi hedeflerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Özellikle sodyum-glukoz kotransporter 2 (SGLT2) inhibitörleri ve glukagon benzeri peptid-1 (GLP-1) reseptör agonistleri gibi ajanlar, yalnızca glisemik kontrol sağlamakla kalmayıp aynı zamanda anti-inflamatuar ve antifibrotik etkileriyle böbrek koruyucu özellikler göstermektedir. Bu doğrultuda, bu derlemenin amacı; tip 2 diyabette diyabetik nefropatide güncel böbrek koruyucu stratejileri incelemek ve gelişmekte olan yeni tedavi hedeflerini patofizyolojik bir bakış açısıyla değerlendirmektir.(Heerspink et al., 2020; Mann et al., 2017)

2. DİYABETİK NEFROPATİNİN PATOFİZYOLOJİSİ

Diyabetik nefropati, kronik hipergliseminin tetiklediği metabolik ve hemodinamik değişikliklerin bir araya gelmesiyle gelişen kompleks bir hastalıktır. Hiperglisemiye bağlı

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

olarak ileri glikasyon son ürünlerinin (AGEs) birikimi, protein kinaz C (PKC) aktivasyonu ve poliol yolunun artışı gibi mekanizmalar hücresel düzeyde hasarı başlatmaktadır. Bu süreçler, böbrek dokusunda oksidatif stresin artmasına ve inflamatuar yanıtın aktive olmasına yol açmaktadır. Aynı zamanda intraglomerüler basınç artışı ve hiperfiltrasyon gibi hemodinamik değişiklikler, glomerüler yapıda bozulmalara neden olarak hastalığın ilerlemesine katkı sağlamaktadır.(Adamczak et al., 2024; Samsu, 2021)

Diyabetik nefropatinin patogenezinde inflamasyon ve oksidatif stres temel belirleyici mekanizmalar arasında yer almaktadır. Kronik hiperglisemiye bağlı olarak artan reaktif oksijen türleri (ROS), hücresel lipit, protein ve DNA yapılarında hasara neden olmakta ve böbrek dokusunda oksidatif stresin artmasına yol açmaktadır. Bu durum, nükleer faktör kappa-B (NF-κB) gibi inflamatuar yolakların aktivasyonunu tetikleyerek tümör nekroz faktör-alfa (TNF-α), interlökin-1 (IL-1) ve interlökin-6 (IL-6) gibi proinflamatuar sitokinlerin salınımını artırmaktadır. Artan inflamatuar yanıt, mezangial hücre proliferasyonu, podosit hasarı ve ekstrasellüler matriks birikimi gibi patolojik süreçleri hızlandırarak böbrek hasarının ilerlemesine katkı sağlamaktadır. Oksidatif stres ve inflamasyon arasındaki bu karşılıklı etkileşim, diyabetik nefropatinin progresyonunda önemli bir rol oynamaktadır.(Liyun & Yanyun, 2021)

Diyabetik nefropatinin ilerleyici doğasının temelinde renal fibrozis yer almaktadır. Kronik inflamasyon ve oksidatif stresin etkisiyle aktive olan transforming growth factor-beta (TGF-β) sinyal yolu, fibrotik süreçlerin başlıca düzenleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir. TGF-β'nın artışı, fibroblast aktivasyonu ve ekstrasellüler matriks (ECM) proteinlerinin birikimini tetikleyerek glomerulosklerozve tübülointerstisyel fibrozise yol açmaktadır. Bununla birlikte, podosit kaybı ve epitel-mezenkimal geçiş (EMT) süreçleri de böbrek dokusunda yapısal bozulmayı hızlandırmaktadır. Bu fibrotik değişiklikler, glomerüler filtrasyon hızında azalma ve ilerleyici böbrek fonksiyon kaybı ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle renal fibrozis, diyabetik nefropatinin geri dönüşümsüz evresine geçişte anahtar rol oynayan bir süreç olarak değerlendirilmektedir.(Tang & Yiu, 2020)

Son yıllarda diyabetik nefropatinin tedavisinde yalnızca glisemik kontrolü hedefleyen yaklaşımların ötesine geçilerek, böbrek koruyucu etkileri ön planda olan yeni tedavi stratejileri geliştirilmiştir. Özellikle sodyum-glukoz kotransporter 2 (SGLT2) inhibitörleri, intraglomerüler basıncı azaltarak ve tübüloglomerüler geri bildirimi düzenleyerek böbrek fonksiyonlarını koruyucu etki göstermektedir. Bunun yanı sıra, glukagon benzeri peptid-1 (GLP-1) reseptör agonistlerinin anti-inflamatuar ve antioksidan etkileri sayesinde renal hasarı azaltabileceği bildirilmektedir. Yeni tedavi yaklaşımları yalnızca hemodinamik düzenleme ile sınırlı kalmayıp, aynı zamanda inflamasyon, oksidatif stres ve fibrozis süreçlerini hedef alarak hastalığın progresyonunu yavaşlatmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, endotelin reseptör antagonistleri ve antifibrotik ajanlar gibi yeni terapötik hedefler de diyabetik nefropatinin yönetiminde umut verici seçenekler olarak öne çıkmaktadır.(Bakris et al., 2020; Heerspink et al., 2020)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

3. GÜNCEL BÖBREK KORUYUCU STRATEJİLER

Diyabetik nefropatinin yönetiminde böbrek fonksiyonlarının korunmasına yönelik stratejiler, hastalığın progresyonunu yavaşlatmada temel yaklaşımı oluşturmaktadır. Güncel tedavi yaklaşımları; glisemik kontrolün sağlanması, kan basıncının düzenlenmesi, albuminürinin azaltılması ve böbrek hasarına yol açan patofizyolojik mekanizmaların hedeflenmesini içermektedir. Bu doğrultuda, farmakolojik tedaviler ve yaşam tarzı düzenlemeleri birlikte ele alınarak multidisipliner bir yaklaşım benimsenmektedir. Erken dönemde uygulanan böbrek koruyucu stratejiler, kronik böbrek hastalığı gelişimini önlemede ve hastalığın ilerlemesini geciktirmede kritik öneme sahiptir.("2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2024", 2024; de Boer et al., 2022)

Diyabetik nefropatinin önlenmesi ve progresyonunun yavaşlatılmasında glisemik kontrol temel bir rol oynamaktadır. Uzun dönemli çalışmalar, iyi glisemik kontrolün mikroalbüminüri gelişimini geciktirdiğini ve mevcut böbrek hasarının ilerlemesini yavaşlattığını göstermektedir. Bu doğrultuda, çoğu hasta için bireyselleştirilmiş olmakla birlikte HbA1c düzeyinin genellikle %7'nin altında tutulması önerilmektedir. Bununla birlikte, hipoglisemi riski yüksek olan hastalarda daha esnek hedefler belirlenmesi gerekmektedir.(de Boer et al., 2022)

Kan basıncının kontrolü de böbrek korunmasında kritik öneme sahiptir. Hipertansiyon, diyabetik nefropatinin ilerlemesini hızlandıran en önemli risk faktörlerinden biridir. Bu nedenle diyabetik nefropatisi olan bireylerde kan basıncının genellikle <130/80 mmHg düzeyinde tutulması önerilmektedir. Etkili kan basıncı kontrolü, glomerüler basıncı azaltarak proteinüriyi düşürmekte ve böbrek fonksiyon kaybını yavaşlatmaktadır.("2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2024", 2024; de Boer et al., 2022)

Diyabetik nefropatinin tedavisinde renin-anjiyotensin-aldosteron sistemi (RAAS) inhibitörleri, böbrek koruyucu etkileri nedeniyle uzun yıllardır temel tedavi seçenekleri arasında yer almaktadır. Anjiyotensin dönüştürücü enzim (ACE) inhibitörleri ve anjiyotensin reseptör blokerleri (ARB'ler), intraglomerüler basıncı azaltarak proteinüriyi düşürmekte ve böbrek fonksiyonlarının korunmasına katkı sağlamaktadır. Özellikle albuminürisi olan diyabetik hastalarda bu ajanların kullanımı, hastalığın ilerlemesini yavaşlatmada etkili bulunmuştur. RAAS blokajı, yalnızca hemodinamik etkilerle sınırlı kalmayıp aynı zamanda inflamatuar ve fibrotik süreçleri de modüle ederek böbrek hasarını azaltmaktadır. Bu nedenle, diyabetik nefropatili hastalarda ACE inhibitörleri veya ARB'ler, klinik kılavuzlar tarafından birinci basamak tedavi olarak önerilmektedir.(Neumiller et al., 2024)

Son yıllarda sodyum-glukoz kotransporter 2 (SGLT2) inhibitörleri, diyabetik nefropatinin tedavisinde önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilmektedir. Bu ajanlar, proksimal tübüllerde glukoz ve sodyum geri emilimini azaltarak tübüloglomerüler geri bildirimi düzenlemekte ve intraglomerüler basıncı düşürmektedir. Bu mekanizma, hiperfiltrasyonu azaltarak böbrek hasarının ilerlemesini yavaşlatmaktadır. Klinik çalışmalar, SGLT2 inhibitörlerinin yalnızca glisemik kontrol sağlamakla kalmayıp aynı zamanda proteinüriyi azalttığını, glomerüler filtrasyon hızındaki düşüşü yavaşlattığını ve son dönem böbrek yetmezliği riskini azalttığını göstermiştir. Ayrıca bu ajanların anti-inflamatuar ve antifibrotik etkilerinin de böbrek koruyucu mekanizmalara katkı sağladığı bildirilmektedir. Bu nedenle

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SGLT2 inhibitörleri, güncel kılavuzlarda diyabetik nefropati tedavisinde temel ajanlar arasında yer almaktadır.(Heerspink et al., 2020; Perkovic et al., 2019; Zelniker et al., 2019)

Glukagon benzeri peptid-1 (GLP-1) reseptör agonistleri, diyabet yönetiminde glisemik kontrol sağlamak amacıyla kullanılan ajanlar olmakla birlikte, son yıllarda böbrek koruyucu etkileri ile de dikkat çekmektedir. Bu ilaçların, doğrudan renal hemodinamik etkilerinin yanı sıra anti-inflamatuar ve antioksidan özellikler gösterdiği bildirilmektedir. Klinik çalışmalar, GLP-1 reseptör agonistlerinin albuminüride azalma sağladığını ve böbrek fonksiyon kaybını yavaşlatabileceğini ortaya koymuştur. Ayrıca kilo kaybı ve kardiyovasküler risk faktörleri üzerindeki olumlu etkileri sayesinde dolaylı olarak böbrek sağlığının korunmasına katkıda bulunmaktadır. Bu nedenle GLP-1 reseptör agonistleri, özellikle SGLT2 inhibitörleri ile birlikte kullanıldığında diyabetik nefropatinin yönetiminde önemli bir tamamlayıcı tedavi seçeneği olarak değerlendirilmektedir.(Alicic & Neumiller, 2025)

Son yıllarda diyabetik nefropatinin tedavisinde klasik yaklaşımların ötesine geçilerek, hastalığın altta yatan patofizyolojik mekanizmalarını hedef alan yeni tedavi seçenekleri geliştirilmiştir. Özellikle non-steroidal mineralokortikoid reseptör antagonistleri (örneğin finerenon), inflamasyon ve fibrozis süreçlerini baskılayarak böbrek fonksiyonlarının korunmasına katkı sağlamaktadır. Klinik çalışmalarda finerenonun, tip 2 diyabet ve kronik böbrek hastalığı olan bireylerde albuminüride azalma ve böbrek hastalığı progresyonunda yavaşlama sağladığı gösterilmiştir. Bunun yanı sıra endotelin reseptör antagonistleri ve antifibrotik ajanlar gibi tedavi yaklaşımları da diyabetik nefropatinin yönetiminde umut verici seçenekler olarak öne çıkmaktadır. Bu yeni tedavi hedefleri, yalnızca semptom kontrolüne değil, aynı zamanda hastalığın moleküler düzeydeki mekanizmalarını modüle etmeye yönelik yaklaşımlar sunarak gelecekte daha etkili tedavi stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.(Bakris et al., 2020; Filippatos et al., 2022)

4. HEMŞİRELİK BAKIMI VE HASTA EĞİTİMİ

Diyabetik nefropatinin önlenmesi, erken tanılanması ve yönetiminde hemşirelerin rolü oldukça önemlidir. Hemşireler, kronik hastalık yönetiminde hasta ile en fazla etkileşimde bulunan sağlık profesyonelleri olarak, bireylerin öz bakım becerilerinin geliştirilmesinde ve tedaviye uyumlarının artırılmasında kilit bir konuma sahiptir. Özellikle diyabetik nefropati gelişim riskinin yüksek olduğu bireylerde, düzenli izlem, erken belirti ve bulguların fark edilmesi ve uygun müdahalelerin zamanında uygulanması hemşirelik bakımının temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu süreçte hemşireler, hastaların yaşam tarzı değişikliklerini benimsemelerini destekleyerek komplikasyonların önlenmesinde aktif rol almaktadır.("2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2024", 2024; Powers et al., 2016)

Diyabetik nefropatinin önlenmesi ve progresyonunun yavaşlatılmasında hasta eğitimi ve öz bakım davranışlarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Hemşireler, hastalara diyabet yönetimi, kan şekeri takibi, ilaç kullanımı ve beslenme düzeni konusunda kapsamlı eğitimler vererek bireylerin hastalıklarını etkin bir şekilde yönetmelerine katkı sağlamaktadır. Özellikle tuz kısıtlaması, protein alımının düzenlenmesi, düzenli fiziksel aktivite ve sigaranın bırakılması gibi yaşam tarzı değişiklikleri, böbrek fonksiyonlarının korunmasında önemli rol oynamaktadır. Ayrıca hastaların kan basıncı ve kan glukoz düzeylerini düzenli olarak takip etmeleri konusunda

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

bilinçlendirilmesi, komplikasyonların erken dönemde fark edilmesine olanak tanımaktadır. Bu bağlamda hemşireler, bireylerin öz bakım becerilerini güçlendirerek tedaviye uyumun artırılmasında ve hastalığın ilerlemesinin önlenmesinde kritik bir rol üstlenmektedir.("2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2024", 2024; Chrvala et al., 2016)

Diyabetik nefropatinin erken tanılanması ve komplikasyonların önlenmesinde düzenli hasta izlemi büyük önem taşımaktadır. Hemşireler, risk altındaki bireylerde mikroalbüminüri, serum kreatinin düzeyi ve glomerüler filtrasyon hızı (GFR) gibi parametrelerin düzenli olarak değerlendirilmesini sağlayarak hastalığın erken evrede saptanmasına katkıda bulunmaktadır. Bunun yanı sıra ödem, hipertansiyon ve idrar değişiklikleri gibi klinik bulguların yakından izlenmesi, böbrek fonksiyonlarındaki bozulmanın erken dönemde fark edilmesini mümkün kılmaktadır. Hemşirelik bakımında erken tanı ve izlem süreçlerinin etkin yürütülmesi, hastalığın ilerlemesini yavaşlatmakta ve son dönem böbrek yetmezliği gelişimini önlemede kritik rol oynamaktadır. Ayrıca hastaların tedaviye uyumlarının düzenli olarak değerlendirilmesi ve gerekli durumlarda eğitimlerin yeniden planlanması, bakımın sürekliliğini ve etkinliğini artırmaktadır.("2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2024", 2024; de Boer et al., 2022)

Diyabetik nefropatinin yönetimi, multidisipliner bir yaklaşım gerektiren kompleks bir süreçtir ve bu süreçte hemşireler sağlık ekibinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Hemşireler; hekimler, diyetisyenler ve diğer sağlık profesyonelleri ile iş birliği içerisinde çalışarak bireyselleştirilmiş bakım planlarının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Bu yaklaşım, yalnızca hastalığın tedavisine değil, aynı zamanda hastanın yaşam kalitesinin artırılmasına ve komplikasyonların önlenmesine de odaklanmaktadır. Hemşirelik bakımında bütüncül yaklaşım benimsenerek hastanın fiziksel, psikolojik ve sosyal gereksinimleri birlikte ele alınmalıdır. Ayrıca hasta ve ailesinin sürece aktif katılımının sağlanması, bakımın etkinliğini artırmakta ve sürdürülebilir sonuçlar elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle hemşirelik uygulamaları, diyabetik nefropatinin yönetiminde tedavi başarısını doğrudan etkileyen önemli bir bileşen olarak değerlendirilmektedir.(Megahed Ibrahim et al., 2025; TEKIR & TÜREYEN, 2025)

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Diyabetik nefropati, tip 2 diyabetin en önemli komplikasyonlarından biri olup, kronik böbrek hastalığı ve son dönem böbrek yetmezliğinin başlıca nedenleri arasında yer almaktadır. Hastalığın patogenezi; hiperglisemiye bağlı metabolik değişiklikler, hemodinamik bozukluklar, inflamasyon, oksidatif stres ve renal fibrozis gibi çok sayıda mekanizmanın etkileşimi ile şekillenmektedir. Bu süreçlerin daha iyi anlaşılması, hastalığın önlenmesi ve yönetiminde yeni tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

Güncel böbrek koruyucu stratejiler; glisemik kontrolün sağlanması, kan basıncının düzenlenmesi ve RAAS inhibitörlerinin kullanımı gibi klasik yaklaşımların yanı sıra, SGLT2 inhibitörleri ve GLP-1 reseptör agonistleri gibi yeni tedavi seçeneklerini de kapsamaktadır. Ayrıca finerenon gibi yeni nesil ajanlar ve antifibrotik tedaviler, diyabetik nefropatinin ilerlemesini yavaşlatmada umut verici sonuçlar ortaya koymaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Diyabetik nefropatinin yönetiminde yalnızca farmakolojik tedaviler değil, aynı zamanda hemşirelik bakımı ve hasta eğitimi de büyük önem taşımaktadır. Hemşireler; hastaların öz bakım becerilerinin geliştirilmesi, tedaviye uyumlarının artırılması ve komplikasyonların erken dönemde fark edilmesi süreçlerinde kritik rol üstlenmektedir. Multidisipliner yaklaşımın benimsenmesi, bireyselleştirilmiş bakım planlarının oluşturulmasını ve daha etkili klinik sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak, diyabetik nefropatinin önlenmesi ve yönetiminde erken tanı, etkili tedavi stratejileri ve güçlü hemşirelik bakımı birlikte ele alınmalıdır. Gelecekte, hastalığın patofizyolojik mekanizmalarını hedef alan yeni tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi ve klinik uygulamaya entegrasyonu ile hasta sonuçlarının daha da iyileştirilmesi beklenmektedir.

6. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Diyabetik nefropati, tip 2 diyabetin en önemli ve ilerleyici komplikasyonlarından biri olup, erken tanı ve etkin yönetim ile hastalığın seyrinin önemli ölçüde değiştirilebileceği bir klinik tablodur. Hastalığın gelişiminde rol oynayan inflamasyon, oksidatif stres ve fibrozis gibi mekanizmaların daha iyi anlaşılması, tedavi yaklaşımlarının yalnızca semptom kontrolünden öteye geçerek hedefe yönelik hale gelmesini sağlamıştır.

Günümüzde böbrek koruyucu stratejiler; glisemik kontrol, kan basıncı yönetimi ve RAAS inhibitörlerinin kullanımının yanı sıra, SGLT2 inhibitörleri ve GLP-1 reseptör agonistleri gibi yeni nesil tedavileri de içermektedir. Ayrıca finerenon gibi ajanlar ve yeni terapötik hedefler, diyabetik nefropatinin progresyonunun yavaşlatılmasında umut verici sonuçlar sunmaktadır.

Bununla birlikte, diyabetik nefropatinin yönetiminde hemşirelik bakımı ve hasta eğitimi vazgeçilmez bir yere sahiptir. Hemşirelerin birey merkezli bakım yaklaşımı, hastaların öz bakım becerilerinin geliştirilmesi ve tedaviye uyumlarının artırılması açısından kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, diyabetik nefropatinin etkili yönetimi; farmakolojik tedavi, yaşam tarzı değişiklikleri ve hemşirelik bakımının bütüncül bir yaklaşımla ele alınmasını gerektirmektedir. Gelecekte, daha spesifik moleküler hedeflere yönelik tedavilerin geliştirilmesi ve klinik uygulamaya entegrasyonu ile hasta sonuçlarının daha da iyileştirilmesi mümkün olacaktır.

KAYNAKÇA

2. Diagnosis and Classification of Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2024. (2024). *Diabetes Care*, *47*(Suppl 1), S20–s42. https://doi.org/10.2337/dc24-S002

Adamczak, M., Kurnatowska, I., Naumnik, B., Stompor, T., Tylicki, L., & Krajewska, M. (2024). Pharmacological nephroprotection in chronic kidney disease patients with type 2 diabetes mellitus—Clinical practice position statement of the Polish society of nephrology. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(23), 12941.

Alicic, R. Z., & Neumiller, J. J. (2025). Role of Glucagon-Like Peptide-1 and Glucose-Dependent Insulinotropic Polypeptide/Glucagon-Like Peptide-1 Receptor Agonists in Management of Cardiovascular-Kidney-Metabolic (CKM) Conditions. *Cardiology clinics*, *43*(3), 415–432.

Alicic, R. Z., Rooney, M. T., & Tuttle, K. R. (2017). Diabetic Kidney Disease: Challenges, Progress, and Possibilities. *Clin J Am Soc Nephrol*, *12*(12), 2032–2045. https://doi.org/10.2215/cjn.11491116

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Bakris, G. L., Agarwal, R., Anker, S. D., Pitt, B., Ruilope, L. M., Rossing, P., Kolkhof, P., Nowack, C., Schloemer, P., Joseph, A., & Filippatos, G. (2020). Effect of Finerenone on Chronic Kidney Disease Outcomes in Type 2 Diabetes. *N Engl J Med*, *383*(23), 2219–2229. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2025845

Brosius, F. C., Cherney, D., Gee, P. O., Harris, R. C., Kliger, A. S., Tuttle, K. R., & Quaggin, S. E. (2021). Transforming the Care of Patients with Diabetic Kidney Disease. *Clin J Am Soc Nephrol*, *16*(10), 1590–1600. https://doi.org/10.2215/cjn.18641120

Chrvala, C. A., Sherr, D., & Lipman, R. D. (2016). Diabetes self-management education for adults with type 2 diabetes mellitus: A systematic review of the effect on glycemic control. *Patient Educ Couns*, *99*(6), 926–943. https://doi.org/10.1016/j.pec.2015.11.003

de Boer, I. H., Khunti, K., Sadusky, T., Tuttle, K. R., Neumiller, J. J., Rhee, C. M., Rosas, S. E., Rossing, P., & Bakris, G. (2022). Diabetes Management in Chronic Kidney Disease: A Consensus Report by the American Diabetes Association (ADA) and Kidney Disease: Improving Global Outcomes (KDIGO). *Diabetes Care*, *45*(12), 3075–3090. https://doi.org/10.2337/dci22-0027

Filippatos, G., Anker, S. D., Agarwal, R., Ruilope, L. M., Rossing, P., Bakris, G. L., Tasto, C., Joseph, A., Kolkhof, P., Lage, A., & Pitt, B. (2022). Finerenone Reduces Risk of Incident Heart Failure in Patients With Chronic Kidney Disease and Type 2 Diabetes: Analyses From the FIGARO-DKD Trial. *Circulation*, *145*(6), 437–447. https://doi.org/10.1161/circulationaha.121.057983

Heerspink, H. J. L., Stefánsson, B. V., Correa-Rotter, R., Chertow, G. M., Greene, T., Hou, F. F., Mann, J. F. E., McMurray, J. J. V., Lindberg, M., Rossing, P., Sjöström, C. D., Toto, R. D., Langkilde, A. M., & Wheeler, D. C. (2020). Dapagliflozin in Patients with Chronic Kidney Disease. *N Engl J Med*, *383*(15), 1436–1446. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2024816

Liyun, A., & Yanyun, X. (2021). Research advance in the mechanism for oxidative stress-induced podocyte injury in diabetic kidney disease. *Journal of Central South University Medical Sciences*, *46*(12), 1403.

Mann, J. F. E., Ørsted, D. D., & Buse, J. B. (2017). Liraglutide and Renal Outcomes in Type 2 Diabetes. *N Engl J Med*, *377*(22), 2197–2198. https://doi.org/10.1056/NEJMc1713042

Megahed Ibrahim, A., Abdel-Aziz, H., Elneblawi, N., & Zaghamir, D. (2025). Tailoring Nursing Interventions to Empower Patients: Personal Coping Strategies and Self-Management in Type 2 Diabetes Care. *Mansoura Nursing Journal*, *12*(1).

Neumiller, J. J., Alicic, R. Z., & Tuttle, K. R. (2024). Optimization of guideline-directed medical therapies in patients with diabetes and chronic kidney disease. *Clinical Kidney Journal*, *17*(1), sfad285.

Perkovic, V., Jardine, M. J., Neal, B., Bompoint, S., Heerspink, H. J. L., Charytan, D. M., Edwards, R., Agarwal, R., Bakris, G., Bull, S., Cannon, C. P., Capuano, G., Chu, P. L., de Zeeuw, D., Greene, T., Levin, A., Pollock, C., Wheeler, D. C., Yavin, Y.,…Mahaffey, K. W. (2019). Canagliflozin and Renal Outcomes in Type 2 Diabetes and Nephropathy. *N Engl J Med*, *380*(24), 2295–2306. https://doi.org/10.1056/NEJMoa1811744

Powers, M. A., Bardsley, J., Cypress, M., Duker, P., Funnell, M. M., Fischl, A. H., Maryniuk, M. D., Siminerio, L., & Vivian, E. (2016). Diabetes self-management education and support in type 2 diabetes: a joint position statement of the American Diabetes Association, the American Association of Diabetes Educators, and the Academy of Nutrition and Dietetics. *Clinical Diabetes*, *34*(2), 70–80.

Samsu, N. (2021). Diabetic Nephropathy: Challenges in Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment. *Biomed Res Int*, *2021*, 1497449. https://doi.org/10.1155/2021/1497449

Tang, S. C. W., & Yiu, W. H. (2020). Innate immunity in diabetic kidney disease. *Nat Rev Nephrol*, *16*(4), 206–222. https://doi.org/10.1038/s41581-019-0234-4

TEKIR, Ö., & TÜREYEN, A. (2025). The Importance of the Empowerment Approach in Self-Management Levels of Individuals With Diabetes. *EVIDENCE-BASED AND TECHNOLOGY-INTEGRATED NURSING CARE: CLINICAL PRACTICES ACROSS THE LIFESPAN*, 109.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Thomas, M. C., Brownlee, M., Susztak, K., Sharma, K., Jandeleit-Dahm, K. A., Zoungas, S., Rossing, P., Groop, P. H., & Cooper, M. E. (2015). Diabetic kidney disease. *Nat Rev Dis Primers*, *1*, 15018. https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.18

Yang, H., Sun, J., Sun, A., Wei, Y., Xie, W., Xie, P., Zhang, L., Zhao, L., & Huang, Y. (2024). Podocyte programmed cell death in diabetic kidney disease: Molecular mechanisms and therapeutic prospects. *Biomed Pharmacother*, *177*, 117140. https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.117140

Zelniker, T. A., Wiviott, S. D., Raz, I., Im, K., Goodrich, E. L., Bonaca, M. P., Mosenzon, O., Kato, E. T., Cahn, A., Furtado, R. H. M., Bhatt, D. L., Leiter, L. A., McGuire, D. K., Wilding, J. P. H., & Sabatine, M. S. (2019). SGLT2 inhibitors for primary and secondary prevention of cardiovascular and renal outcomes in type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis of cardiovascular outcome trials. *Lancet*, *393*(10166), 31–39. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(18)32590-x

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DİJİTAL "BEYİN ÇÜRÜMESİ": DÜŞÜK KALİTELİ İÇERİK TÜKETİMİNİN BİLİŞSEL, PSİKOLOJİK VE DAVRANIŞSAL ETKİLERİ

Prof. Dr., MEHTAP KAVURMACI [1], Dr. Öğr. Üyesi, BÜŞRA CEREN DEMİREL YILDIZ [2]

[1] Atatürk Üniversitesi, Hemşirelik Fakültesi, mehtap.kavurmaci@atauni.edu.tr- 0000-0001-7062-4845

[2]Siirt Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, busra.demirel@siirt.edu.tr- 0000-0003-4971-9115

ÖZET

Dijital medya platformlarının yaygınlaşmasıyla birlikte kısa, tekrarlayan ve düşük kaliteli içeriklerin tüketimi önemli ölçüde artmıştır. "Beyin çürümesi" (brain rot) olarak adlandırılan bu olgu, özellikle sosyal medya ve kısa video içeriklerinin yoğun tüketimiyle ilişkilendirilen yeni bir kavramsal tartışma alanı olarak öne çıkmaktadır. Henüz klinik olarak tanımlanmış bir kavram olmamakla birlikte, beyin çürümesi; bilişsel yüklenme, dikkat parçalanması ve pasif içerik tüketimi bağlamında değerlendirilmektedir.

Bu derlemenin amacı, düşük kaliteli dijital içeriklere maruziyetin bireylerin bilişsel, psikolojik ve davranışsal süreçleri üzerindeki etkilerini incelemektir. Mevcut literatür, yoğun ve yüzeysel içerik tüketiminin dikkat süresinde azalma, derin bilişsel işlemlemede zayıflama ve zihinsel yorgunluk ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu süreç, motivasyon kaybı, duygusal küntleşme ve dijital uyaranlara bağımlılık gibi psikolojik etkilerle de ilişkilendirilmektedir. Davranışsal düzeyde ise erteleme eğilimi, üretkenlikte azalma ve akademik performansta düşüş gibi sonuçlar dikkat çekmektedir.

Özellikle gençler ve öğrenciler, gelişimsel özellikleri ve yoğun dijital maruziyetleri nedeniyle bu etkiler açısından daha riskli bir grubu oluşturmaktadır. Dijital içeriklerin hızlı tüketim yapısı, bireylerin dikkat süreçlerini yeniden şekillendirerek yüzeysel bilgi işleme eğilimini artırabilmektedir.

Sonuç olarak, beyin çürümesi kavramı dijital çağda giderek önem kazanan bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu alanda yapılacak çalışmalar, kavramın daha iyi anlaşılmasına ve bireylerin dijital içerik tüketim alışkanlıklarının daha sağlıklı hale getirilmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler : Beyin çürümesi; Dijital içerik; Bilişsel etkiler; Sosyal medya; Dikkat

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. GİRİŞ

Dijital teknolojilerin yaygınlaşmasıyla birlikte bireylerin içerik tüketim alışkanlıklarında belirgin bir dönüşüm yaşanmıştır. Özellikle sosyal medya platformlarının algoritma temelli içerik sunumu, kullanıcıların kısa, hızlı ve sürekli yenilenen içeriklere maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu durum, bilgiye erişimi kolaylaştırmakla birlikte, bilişsel süreçler üzerinde yeni risk alanlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır. Güncel çalışmalar, dijital medya kullanımının dikkat, bellek ve yürütücü işlevler gibi temel bilişsel alanlarla ilişkili olduğunu göstermektedir.(Ali et al., 2024; Naik et al., 2025)

Son yıllarda özellikle kısa video içeriklerinin (TikTok, Reels, Shorts vb.) yaygınlaşması, bireylerin içerik tüketim hızını önemli ölçüde artırmıştır. Bu tür içeriklerin hızlı, kesintili ve sürekli uyarıcı yapısı, bireylerin dikkat sürelerini olumsuz etkileyebilmekte ve odaklanma becerilerinde zayıflamaya yol açabilmektedir. Araştırmalar, kısa video tüketiminin artmasının dikkat kontrolünü azalttığını ve yürütücü işlevlerde zayıflamaya neden olabileceğini ortaya koymaktadır.(Li et al., 2022; Yan et al., 2024)

Dijital içerik tüketiminin yoğunluğu ile bilişsel performans arasındaki ilişki giderek daha fazla araştırılmaktadır. Özellikle sosyal medya kullanımının artmasıyla birlikte, dikkat süresinde azalma ve bilişsel kontrol süreçlerinde bozulmalar olduğu bildirilmektedir. Ayrıca, hızlı ve yüzeysel içeriklere sürekli maruz kalmanın, bireylerin derin öğrenme ve bilgi işleme becerilerini olumsuz yönde etkileyebileceği ifade edilmektedir.(Clemente-Suárez et al., 2024; Özbay, 2026)

Bu bağlamda, son dönemde literatürde ve popüler söylemde “beyin çürümesi” (brain rot) kavramı dikkat çekmektedir. Her ne kadar klinik olarak tanımlanmış bir kavram olmasa da, bu terim; yoğun dijital içerik tüketimi sonucunda ortaya çıkan bilişsel yorgunluk, dikkat dağınıklığı ve zihinsel verimlilikte azalma gibi durumları tanımlamak için kullanılmaktadır. Güncel çalışmalar, bu olgunun bilişsel yük artışı, duygusal küntleşme ve psikolojik sıkıntılarla ilişkili olabileceğini göstermektedir.(Özbay, 2026; Yousef et al., 2025)

Özellikle gençler ve üniversite öğrencileri, hem gelişimsel özellikleri hem de yoğun dijital maruziyetleri nedeniyle bu etkiler açısından daha hassas bir grubu oluşturmaktadır. Kısa süreli ve yüksek yoğunluklu dijital uyaranlara sürekli maruz kalma, bireylerin dikkat süreçlerini yeniden şekillendirmekte ve uzun süreli odaklanma gerektiren görevlerde performans düşüşüne yol açabilmektedir. Bu durum, akademik başarı ve bilişsel dayanıklılık açısından önemli sonuçlar doğurabilmektedir.(Haliti-Sylaj & Sadiku, 2024; Zhan et al., 2025)

Sonuç olarak, dijital içerik tüketiminin niteliği ve yoğunluğu, bireylerin bilişsel ve psikolojik işlevleri üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. “Beyin çürümesi” kavramı, bu etkileri bütüncül biçimde ele alan yeni bir yaklaşım olarak öne çıkmakta ve dijital çağın bilişsel risklerini anlamak açısından önemli bir kavramsal çerçeve sunmaktadır. Bu nedenle, bu derlemede düşük kaliteli dijital içerik tüketiminin bilişsel, psikolojik ve davranışsal etkilerinin güncel literatür doğrultusunda incelenmesi amaçlanmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Dijital içerik tüketiminin bilişsel süreçler üzerindeki etkilerini açıklamada bilişsel yük (cognitive load) önemli bir çerçeve sunmaktadır. Hızlı, kısa ve ardışık içeriklere maruz kalmak, zihinsel kaynakların aşırı kullanılmasına yol açarak bilgilerin derinlemesine işlenmesini zorlaştırmakta ve yüzeysel öğrenmeyi artırmaktadır. Bu durum, özellikle sürekli uyarana maruz kalınan ortamlarda dikkat ve öğrenme performansını olumsuz etkileyebilmektedir.(Yousef et al., 2025; Zhang et al., 2023)

Kavramsal çerçevenin ikinci önemli bileşeni **dikkat parçalanması**dır. Sosyal medya ve kısa video platformlarında içeriklerin birkaç saniyede bir değişmesi, bireyin dikkatini tek bir uyaranda sürdürmesini güçleştirmektedir. Bu durum, özellikle uzun süreli dikkat, odaklanma ve çalışma belleği gerektiren görevlerde performans düşüşüne neden olabilmektedir. Güncel bulgular, dijital medya kullanımının dikkat, bellek işleme ve dürtü düzenleme gibi alanlarla ilişkili olduğunu; ayrıca akıllı telefonun yalnızca varlığının bile dikkat performansını azaltabildiğini göstermektedir. Bu bağlamda "beyin çürümesi", dikkat sisteminin giderek daha kısa ve bölünmüş uyaranlara uyum sağlamasıyla da açıklanabilir.(Skowronek et al., 2023; Wallace et al., 2023)

Bu konuyu açıklayan bir diğer kavram **pasif içerik tüketimi**dir. Pasif tüketimde birey, içerik üzerinde durup düşünmek, sorgulamak ya da değerlendirmek yerine, algoritmanın sunduğu akışı olduğu gibi izlemektedir. Böylece kullanıcı giderek daha az seçim yapan, daha çok izleyen bir konuma geçmektedir. İçeriğin birey tarafından aktif olarak seçilmemesi ve zihinsel emeğin azalması, bilişsel katılımı düşürmekte ve dijital tüketimi alışkanlık temelli bir davranış biçimine dönüştürmektedir. Özellikle sosyal medya platformlarının "karanlık yüzü" üzerine yapılan çalışmalar, aşırı yüklenme, bağımlılık eğilimi ve akademik performansta düşüş gibi sonuçların bu pasif kullanım modeliyle ilişkili olduğunu göstermektedir.(Jabeen et al., 2023)

Son yıllarda "beyin çürümesi" tartışmalarıyla en çok ilişkilendirilen davranışlardan biri de **doomscrolling**dir. Doomscrolling, bireyin olumsuz, kaygı uyandırıcı ya da dikkat çekici içerikleri kontrolsüz biçimde sürekli kaydırarak tüketmesi anlamına gelmektedir. Bu davranışın sosyal medya bağımlılığı, FOMO, günlük sosyal medya kullanım süresi ve psikolojik sıkıntı ile pozitif ilişkili olduğu bildirilmektedir. Ayrıca olumsuz içeriklere tekrar tekrar maruz kalmak, zihinsel yorgunluğu artırmakta ve bireyin çevrimiçi ortamdan kopmasını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle doomscrolling, "beyin çürümesi"nin davranışsal görünümünü açıklayan temel kavramlardan biri olarak değerlendirilebilir.(Güme, 2024; Yousef et al., 2025)

Kavramsal çerçevenin son halkasında, dijital içerik tüketiminin yalnızca davranışsal değil, aynı zamanda **nörobilişsel** düzeyde de etkiler oluşturabileceği görülmektedir. Güncel nörofizyolojik çalışmalar, sosyal medya kullanımının dikkat ve duygusal düzenlemeyle ilişkili beyin dalga örüntülerinde değişikliklere yol açabildiğini; özellikle uzun süreli kullanımın zihinsel yorgunluk ve dijital tükenmişlik ile bağlantılı olabileceğini göstermektedir. Bu açıdan bakıldığında "beyin çürümesi", dikkat dağınıklığı, bilişsel aşırı

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

yük, pasif içerik tüketimi ve zihinsel tükenmişlik gibi süreçlerin birleştiği çok boyutlu bir olgu olarak değerlendirilebilir.(Satani et al., 2025; Yousef et al., 2025)

3. DÜŞÜK KALİTELİ İÇERİĞE MARUZ KALMA

Dijital ortamlarda sunulan içeriklerin niteliği, bireylerin bilişsel ve psikolojik süreçleri üzerinde doğrudan etkili olmaktadır. Son yıllarda özellikle kısa video platformlarının yaygınlaşmasıyla birlikte, kullanıcılar daha çok hızlı tüketilen, yüzeysel ve tekrarlayan içeriklere maruz kalmaktadır. Bu tür içerikler genellikle eğlence odaklı olup derin düşünme, analiz etme veya öğrenme süreçlerini desteklemekten uzaktır. Bu durum, bireylerin bilgiyle kurduğu ilişkinin yüzeyselleşmesine ve içerik tüketiminin daha pasif bir alışkanlık haline gelmesine yol açmaktadır.(Yousef et al., 2025)

Düşük kaliteli içerikler, genellikle kısa süreli dikkat çekmeye yönelik, tekrar eden ve sınırlı bilişsel katkı sağlayan yapılardan oluşmaktadır. Bu içeriklerin hızlı tüketilebilir olması, kullanıcıların uzun süreli odaklanma gerektiren içeriklerden uzaklaşmasına neden olmaktadır. Özellikle sürekli kaydırma (scrolling) davranışı, içerik tüketimini otomatik ve kontrolsüz bir sürece dönüştürerek bireylerde alışkanlık temelli kullanım davranışı geliştirmektedir. Bu süreç, bireylerin daha fazla içerik tüketmesine rağmen daha az bilişsel kazanım elde etmesine yol açabilmektedir.(Zhang et al., 2023)

Algoritmalar tarafından yönlendirilen içerik akışları, bireylerin içerik seçimi üzerindeki kontrolünü azaltmaktadır. Kullanıcının ilgi alanlarına göre sürekli içerik sunulması, bireyin aktif seçim yapmasını engelleyerek pasif tüketimi artırmaktadır. Bu durum, bireylerin içerik üzerinde düşünme ve sorgulama süreçlerini sınırlamakta, bunun yerine otomatik ve alışkanlığa dayalı bir tüketim davranışı geliştirmelerine neden olmaktadır. Özellikle algoritmik içerik sunumunun, kullanıcıların platformda daha uzun süre kalmasını teşvik ettiği ve bu durumun dijital bağımlılık eğilimini artırabileceği belirtilmektedir.(Yousef et al., 2025)

Düşük kaliteli dijital içeriklere sürekli maruz kalma, bireylerin dikkat sistemleri üzerinde yeniden yapılandırıcı bir etki yaratabilmektedir. Hızlı ve kesintili içerik akışı, beynin sürekli yeni uyaranlara yönelmesine neden olarak sürdürülebilir dikkat süreçlerini zayıflatmaktadır. Bu durum, özellikle akademik performans, uzun süreli okuma ve problem çözme gibi bilişsel süreçleri olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Ayrıca yüzeysel içeriklerin yoğun tüketimi, bireylerin eleştirel düşünme ve derin öğrenme becerilerinde zayıflamaya yol açabilmektedir.(Skowronek et al., 2023)

Düşük kaliteli içeriklere maruz kalmanın bir diğer önemli sonucu, bireylerin zaman algısında ve üretkenlik düzeyinde meydana gelen değişimlerdir. Kullanıcılar, dijital ortamlarda geçirdikleri sürenin farkında olmadan uzun süre içerik tüketmeye devam edebilmekte ve bu durum günlük işlevsellik üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Özellikle akademik görevlerin ertelenmesi, zaman yönetimi sorunları ve verimlilik kaybı, düşük kaliteli içerik tüketimi ile ilişkili önemli davranışsal sonuçlar arasında yer almaktadır.(Güme, 2024)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Sonuç olarak, düşük kaliteli dijital içeriklere maruziyet, yalnızca bireysel bir tercih değil; aynı zamanda dijital platformların yapısal özellikleriyle şekillenen bir davranış biçimidir. Bu içeriklerin hızlı, tekrarlayan ve ödül temelli yapısı, bireylerin bilişsel süreçlerini etkileyerek yüzeysel bilgi işleme eğilimini artırmaktadır. Bu bağlamda düşük kaliteli içerik tüketimi, "beyin çürümesi" olarak ifade edilen olgunun temel bileşenlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

4. BİLİŞSEL ETKİLER

Dijital içerik tüketiminin bilişsel süreçler üzerindeki etkileri son yıllarda giderek daha fazla araştırılmaktadır. Özellikle kısa ve hızlı tüketilen içeriklerin yoğunluğu, bireylerin dikkat sürelerinde belirgin bir azalmaya yol açabilmektedir. Sürekli değişen uyaranlara maruz kalmak, bireyin tek bir göreve uzun süre odaklanmasını zorlaştırmakta ve dikkat sürelerinin parçalanmasına neden olmaktadır. Bu durum, özellikle akademik performans ve öğrenme süreçleri açısından önemli bir risk oluşturmaktadır.(Skowronek et al., 2023)

Dijital içeriklerin hızlı ve yüzeysel yapısı, bireylerin derin bilişsel işlemleme süreçlerini de olumsuz etkileyebilmektedir. Özellikle uzun metinleri okuma, analiz etme ve anlamlandırma gibi yüksek düzey bilişsel beceriler, kısa içeriklere alışkanlık geliştiren bireylerde zayıflayabilmektedir. Bu durum, bilgi işleme süreçlerinin yüzeyselleşmesine ve öğrenmenin kalitesinin düşmesine yol açabilmektedir. Güncel çalışmalar, yoğun dijital medya kullanımının bilişsel kontrol ve yürütücü işlevlerle ilişkili olduğunu göstermektedir.(Yousef et al., 2025)

Bilişsel etkiler yalnızca dikkat ve öğrenme süreçleriyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda **zihinsel yorgunluk** ve bilişsel tükenmişlik ile de ilişkilidir. Sürekli içerik akışına maruz kalmak, beynin dinlenme ve toparlanma süreçlerini sekteye uğratmakta ve zihinsel enerji kaynaklarının hızla tükenmesine neden olabilmektedir. Bu durum, bireylerin günlük işlevselliğini ve karar verme süreçlerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Özellikle yoğun sosyal medya kullanımının zihinsel yorgunluk ve bilişsel yük ile ilişkili olduğu belirtilmektedir.(Satani et al., 2025)

Dijital içerik tüketimi aynı zamanda çalışma belleği ve bilgi işleme kapasitesi üzerinde de etkili olabilmektedir. Sürekli olarak yeni uyaranlara maruz kalmak, bireyin mevcut bilgiyi zihinde tutma ve işleme becerisini zorlaştırmaktadır. Bu durum, özellikle problem çözme, planlama ve karar verme gibi yürütücü işlevleri olumsuz etkileyebilmektedir. Dijital ortamda çoklu görev davranışlarının artması, bilişsel performansın düşmesine ve hata oranlarının artmasına yol açabilmektedir.(Wallace et al., 2023)

Bununla birlikte, dijital içerik tüketiminin uzun vadede bilişsel alışkanlıkları yeniden şekillendirdiği de görülmektedir. Hızlı ve yüzeysel içeriklere sürekli maruz kalan bireyler, zamanla daha kısa dikkat aralıklarına uyum sağlamakta ve derin odaklanma gerektiren görevlerden kaçınma eğilimi gösterebilmektedir. Bu durum, öğrenme süreçlerinin kalitesini düşürmekte ve bireylerin bilişsel dayanıklılığını zayıflatmaktadır. Dolayısıyla dijital içerik tüketimi, yalnızca anlık bilişsel performansı değil, aynı zamanda uzun vadeli bilişsel yapı ve alışkanlıkları da etkilemektedir.(Yousef et al., 2025)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

5. PSİKOLOJİK VE DUYGUSAL ETKİLER

Dijital içerik tüketiminin yalnızca bilişsel değil, aynı zamanda psikolojik ve duygusal süreçler üzerinde de önemli etkileri bulunmaktadır. Özellikle düşük kaliteli ve hızlı tüketilen içeriklere yoğun maruz kalma, bireylerde duygusal dalgalanmalar ve içsel boşluk hissi ile ilişkilendirilmektedir. Sürekli uyarana maruz kalma, kısa süreli haz ve tatmin sağlarken, uzun vadede duygusal doyumun azalmasına ve içsel huzursuzluğa yol açabilmektedir. Bu durum, bireylerin kendilerini zihinsel olarak yorgun ve duygusal olarak tükenmiş hissetmelerine neden olabilmektedir.(Islam et al., 2025; Yousef et al., 2025)

Düşük kaliteli dijital içeriklerin yoğun tüketimi, motivasyon düzeyinde azalma ile de ilişkilendirilmektedir. Özellikle sürekli eğlence odaklı ve düşük bilişsel çaba gerektiren içeriklere maruz kalan bireylerde, daha fazla zihinsel efor gerektiren görevlere karşı isteksizlik gelişebilmektedir. Bu durum, bireylerin üretkenlik düzeyini azaltmakta ve akademik ya da profesyonel sorumluluklardan kaçınma davranışlarını artırabilmektedir. Güncel çalışmalar, sosyal medya kullanımının motivasyon kaybı ve psikolojik iyi oluş düzeyinde azalma ile ilişkili olduğunu göstermektedir.(Jabeen et al., 2023)

Dijital içerik tüketiminin bir diğer önemli psikolojik sonucu, **bağımlılık benzeri kullanım davranışlarıdır**. Özellikle algoritmalar tarafından sürekli yeni içeriklerin sunulması, bireylerde "kaçırma korkusu" (FOMO) ve sürekli çevrimiçi olma ihtiyacı yaratabilmektedir. Bu durum, bireylerin sosyal medya platformlarından uzaklaşmakta zorlanmasına ve dijital ortamlara karşı bağımlılık geliştirmesine neden olabilmektedir. Araştırmalar, aşırı sosyal medya kullanımının anksiyete, stres ve depresyon düzeyleri ile ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.(Güme, 2024)

Düşük kaliteli içeriklere sürekli maruz kalma, bireylerde **duygusal küntleşme** ve duyarsızlaşma gibi etkiler de yaratabilmektedir. Sürekli tekrarlayan ve yüzeysel içerikler, bireylerin duygusal tepkilerini zayıflatmakta ve gerçek yaşam deneyimlerine karşı ilgilerinin azalmasına neden olabilmektedir. Bu durum, bireylerin sosyal ilişkilerinde zayıflama ve gerçek yaşamdan kopma gibi sonuçlar doğurabilmektedir. Özellikle genç bireylerde bu durumun daha belirgin olduğu ve sosyal etkileşim kalitesini olumsuz etkileyebildiği belirtilmektedir.(Satani et al., 2025)

Bununla birlikte, dijital içerik tüketimi bireylerde **zihinsel boşluk ve anlamsızlık hissi** oluşturabilmektedir. Uzun süre düşük kaliteli içeriklere maruz kalan bireyler, zamanlarını verimsiz geçirdiklerini fark ederek suçluluk ve tatminsizlik hissi yaşayabilmektedir. Bu durum, hem psikolojik iyi oluşu hem de bireyin kendine yönelik algısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Dolayısıyla düşük kaliteli içerik tüketimi, yalnızca kısa vadeli bir eğlence aracı değil; aynı zamanda uzun vadede psikolojik iyi oluşu etkileyen önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir.(Ünsal & Korkmaz)

Sonuç olarak, düşük kaliteli dijital içeriklere yoğun maruz kalma; motivasyon kaybı, duygusal tükenmişlik, bağımlılık eğilimi ve psikolojik iyi oluşta azalma gibi çok boyutlu psikolojik etkilerle ilişkilidir. Bu etkiler, "beyin çürümesi" olgusunun duygusal ve

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

psikolojik boyutunu oluşturarak bireyin genel yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

6. DAVRANIŞSAL SONUÇLAR

Düşük kaliteli dijital içeriklere yoğun maruz kalmanın en belirgin sonuçlarından biri, bireylerin günlük davranış örüntülerinde meydana gelen değişimlerdir. Özellikle sürekli içerik tüketimi, bireylerin zaman yönetimi becerilerini olumsuz etkileyerek planlı davranma kapasitesini zayıflatmaktadır. Dijital platformların kesintisiz içerik akışı sunması, bireylerin farkında olmadan uzun süre çevrimiçi kalmasına neden olmakta ve bu durum günlük sorumlulukların ertelenmesine yol açabilmektedir.(Yousef et al., 2025)

Dijital içerik tüketimi ile **erteleme davranışı (procrastination)** arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Özellikle akademik sorumluluklar söz konusu olduğunda, bireylerin zihinsel çaba gerektiren görevler yerine daha kolay ve hızlı tüketilebilen dijital içeriklere yöneldiği dikkat çekmektedir. Bu durum, görevden kaçınma davranışını pekiştirerek akademik performansın düşmesine neden olabilmektedir. Güncel çalışmalar, yoğun sosyal medya kullanımının erteleme davranışı ve düşük akademik başarı ile ilişkili olduğunu göstermektedir.(Güme, 2024)

Düşük kaliteli içerik tüketiminin bir diğer davranışsal sonucu, **üretkenlikte azalma**dır. Sürekli olarak kısa ve hızlı içeriklere maruz kalan bireyler, daha uzun süreli dikkat ve çaba gerektiren görevleri sürdürmekte zorlanabilmektedir. Bu durum, özellikle akademik çalışma, okuma ve problem çözme gibi faaliyetlerde performans düşüşüne yol açmaktadır. Aynı zamanda bireyler, dijital ortamda geçirdikleri süre arttıkça gerçek yaşam aktivitelerine ayırdıkları zamanı azaltabilmektedir.(Grant, 2025; Jabeen et al., 2023)

Dijital içerik tüketimi ayrıca **alışkanlık ve bağımlılık davranışlarının gelişmesiyle** de ilişkilidir. Algoritmaların kullanıcıya sürekli yeni içerikler sunması, bireylerde platforma tekrar tekrar girme isteği oluşturmakta ve bu durum zamanla otomatik bir davranış kalıbına dönüşebilmektedir. Özellikle "kontrol etme" davranışının sıklaşması, bireyin dikkatinin sürekli bölünmesine ve günlük işlevselliğinin azalmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda dijital içerik tüketimi, davranışsal bağımlılıklar kapsamında değerlendirilmektedir.(Satani et al., 2025)

Bununla birlikte, düşük kaliteli içerik tüketimi bireylerin **zaman algısını da bozabilmektedir**. Kullanıcılar dijital ortamda geçirdikleri sürenin farkına varmakta zorlanmakta ve planladıklarından çok daha uzun süre içerik tüketmeye devam edebilmektedir. Bu durum, bireylerin günlük yaşam düzenlerini bozarak uyku, çalışma ve sosyal yaşam dengelerini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Özellikle genç bireylerde bu etkinin daha belirgin olduğu görülmektedir.(Huang et al., 2025; Skowronek et al., 2023)

Sonuç olarak, düşük kaliteli dijital içeriklere maruz kalma; erteleme davranışı, üretkenlik kaybı, zaman yönetimi sorunları ve bağımlılık eğilimleri gibi çok boyutlu davranışsal sonuçlara yol açmaktadır. Bu etkiler, "beyin çürümesi" olgusunun davranışsal boyutunu

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

oluşturarak bireylerin akademik, sosyal ve günlük yaşam performansını önemli ölçüde etkileyebilmektedir.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu derlemede elde edilen bulgular, dijital içerik tüketiminin niteliğinin bireylerin bilişsel, psikolojik ve davranışsal süreçleri üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle düşük kaliteli, hızlı ve tekrarlayan içeriklere maruz kalmanın dikkat süresinde azalma, yüzeysel bilgi işleme ve zihinsel yorgunluk gibi bilişsel etkilerle ilişkili olduğu görülmektedir. Bu durum, dijital içerik tüketiminin yalnızca bir zaman geçirme aracı olmadığını, aynı zamanda bilişsel işlevleri şekillendiren önemli bir faktör olduğunu ortaya koymaktadır.

Psikolojik açıdan değerlendirildiğinde, düşük kaliteli içerik tüketiminin motivasyon kaybı, duygusal tükenmişlik ve zihinsel boşluk hissi ile ilişkili olduğu dikkat çekmektedir. Sürekli uyarana maruz kalma, kısa süreli haz sağlarken uzun vadede bireylerin psikolojik iyi oluş düzeyini olumsuz etkileyebilmektedir. Özellikle genç bireylerde bu durumun daha belirgin olduğu ve dijital içerik tüketiminin duygusal denge üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmektedir.

Davranışsal boyutta ise, dijital içerik tüketiminin erteleme davranışı, zaman yönetimi sorunları ve üretkenlik kaybı ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle akademik sorumlulukların ertelenmesi ve dijital ortamlara yönelme eğiliminin artması, bireylerin günlük işlevselliğini olumsuz etkilemektedir. Bu durum, dijital içerik tüketiminin bireyin yaşam düzeni üzerindeki etkisinin yalnızca bilişsel değil, aynı zamanda davranışsal düzeyde de önemli olduğunu göstermektedir.

Tüm bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, “beyin çürümesi” olarak ifade edilen olgunun çok boyutlu bir yapı olduğu anlaşılmaktadır. Bilişsel, psikolojik ve davranışsal etkilerin birbirini besleyen bir süreç oluşturduğu ve bu sürecin bireyin genel yaşam kalitesi üzerinde önemli sonuçlar doğurduğu görülmektedir. Bu bağlamda, dijital içerik tüketiminin yalnızca süresi değil, aynı zamanda niteliğinin de dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

8. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Dijital çağda bireylerin maruz kaldığı içeriklerin yapısı, bilişsel ve psikolojik işlevlerin yeniden şekillenmesine neden olmaktadır. Özellikle düşük kaliteli içeriklerin yoğun tüketimi, dikkat süreçlerinin zayıflamasına, bilişsel dayanıklılığın azalmasına ve zihinsel yorgunluğun artmasına yol açmaktadır. Bu durum, “beyin çürümesi” kavramının yalnızca metaforik bir ifade olmadığını, aynı zamanda dijital yaşamın somut bir sonucu olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu derleme, düşük kaliteli dijital içerik tüketiminin birey üzerindeki etkilerini çok boyutlu bir perspektiften ele alarak, bu olgunun bilişsel, psikolojik ve davranışsal sonuçlarını ortaya koymuştur. Elde edilen bulgular, özellikle gençler ve öğrenciler için dijital içerik tüketiminin önemli bir risk alanı oluşturduğunu göstermektedir. Bu nedenle, dijital medya

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

kullanımına yönelik farkındalığın artırılması ve bireylerin bilinçli içerik tüketimi konusunda desteklenmesi büyük önem taşımaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmaların, bu kavramın daha derinlemesine anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle deneysel ve uzunlamasına araştırmaların artırılması, dijital içerik tüketiminin uzun vadeli etkilerinin ortaya konulması açısından önemlidir. Ayrıca, bireylerin dijital ortamlardaki davranışlarını düzenlemeye yönelik müdahale programlarının geliştirilmesi, bu alanda önemli bir ihtiyaç olarak görülmektedir.

KAYNAKÇA

Ali, Z., Janarthanan, J., & Mohan, P. (2024). Understanding Digital Dementia and Cognitive Impact in the Current Era of the Internet: A Review. *Cureus*, *16*(9), e70029. https://doi.org/10.7759/cureus.70029

Clemente-Suárez, V. J., Beltrán-Velasco, A. I., Herrero-Roldán, S., Rodriguez-Besteiro, S., Martínez-Guardado, I., Martín-Rodríguez, A., & Tornero-Aguilera, J. F. (2024). Digital Device Usage and Childhood Cognitive Development: Exploring Effects on Cognitive Abilities. *Children (Basel)*, *11*(11). https://doi.org/10.3390/children11111299

Grant, D. (2025). 4 A View of Social Media from. *The Oxford Handbook of Media Psychology*, 48.

Güme, S. (2024). Doomscrolling: A review. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*, *16*(4), 595–603.

Haliti-Sylaj, T., & Sadiku, A. (2024). Impact of Short Reels on Attention Span and Academic Performance of Undergraduate Students. *Eurasian Journal of Applied Linguistics*, *10*(3), 60–68.

Huang, L., Yang, F., & Wu, W. (2025). Adult attachment, social anxiety, and problematic social media use: A meta-analysis and meta-analytic structural equation model. *Addict Behav*, *160*, 108163. https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2024.108163

Islam, M. M., Hasan, S. M. R., Masuyama, A., Tayeeba, F., Islam, M. F., Obhi, N. H., Tahia, M. J., Sayma, A. S. K., MM, A. L., Ghosh, D., Raj, S., Mamun, M. A., & Al-Mamun, F. (2025). Problematic Social Media Use Among University Entrance Test-Takers: Prevalence, Psychosocial Factors, and a Mediation-Moderation Model. *Brain Behav*, *15*(9), e70911. https://doi.org/10.1002/brb3.70911

Jabeen, F., Tandon, A., Azad, N., Islam, A. N., & Pereira, V. (2023). The dark side of social media platforms: A situation-organism-behaviour-consequence approach. *Technological Forecasting and Social Change*, *186*, 122104.

Li, X., Li, W., Liu, M., Xiao, W., & Zhou, H. (2022). How Does Shyness Affect Chinese College Students' Tendency to Mobile Phone Addiction? Testing the Mediating Roles of Social Anxiety and Self-Control. *Front Public Health*, *10*, 902425. https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.902425

Naik, V. S., Mathias, E. G., Krishnan, P., & Jagannath, V. (2025). Impact of social media on cognitive development of children and young adults: a systematic review. *BMC Pediatr*, *25*(1), 826. https://doi.org/10.1186/s12887-025-06041-5

Özbay, Ö. (2026). 'Brain Rot' Among University Students in the Digital Age: A Phenomenological Study. *Curr Psychiatry Rep*, *28*(1), 11. https://doi.org/10.1007/s11920-025-01658-w

Satani, A., Satani, K. K., Barodia, P., & Joshi, H. (2025). Modern Day High: The Neurocognitive Impact of Social Media Usage. *Cureus*, *17*(7), e87496. https://doi.org/10.7759/cureus.87496

Skowronek, J., Seifert, A., & Lindberg, S. (2023). The mere presence of a smartphone reduces basal attentional performance. *Sci Rep*, *13*(1), 9363. https://doi.org/10.1038/s41598-023-36256-4

Ünsal, F., & Korkmaz, Z. Aşırı Dijital İçerik Tüketimi ve Bilişsel Gerileme:'Beyin Çürümesi'Olgusunun Güncel Bir İncelemesi.

Wallace, J., Boers, E., Ouellet, J., Afzali, M. H., & Conrod, P. (2023). Screen time, impulsivity, neuropsychological functions and their relationship to growth in adolescent attention-

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

deficit/hyperactivity disorder symptoms. *Sci Rep*, *13*(1), 18108. https://doi.org/10.1038/s41598-023-44105-7

Yan, T., Su, C., Xue, W., Hu, Y., & Zhou, H. (2024). Mobile phone short video use negatively impacts attention functions: an EEG study. *Front Hum Neurosci*, *18*, 1383913. https://doi.org/10.3389/fnhum.2024.1383913

Yousef, A. M. F., Alshamy, A., Tlili, A., & Metwally, A. H. S. (2025). Demystifying the New Dilemma of Brain Rot in the Digital Era: A Review. *Brain Sci*, *15*(3). https://doi.org/10.3390/brainsci15030283

Zhan, Y., Luo, L., & Hu, X. (2025). Digital stress and problematic social media use among college students: exploring dual emotional pathways and the moderating role of cognitive reappraisal. *BMC Psychol*, *13*(1), 1311. https://doi.org/10.1186/s40359-025-03675-z

Zhang, J., Bai, H., Lu, J., & Zheng, L. (2023). Problematic use of social media: The influence of social environmental forces and the mediating role of copresence. *Heliyon*, *9*(1), e12959. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12959

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

BİYOTİNİDAZ EKSİKLİĞİ OLAN ÇOCUKLARDA İŞİTSEL EFERENT SİSTEMİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Odyolog KÜBRA ÇORUH KINALI [1], Prof.Dr. CAHİT BAĞCI [2], Prof. Dr. AHMET KARA [3], Dr. Öğr. Üyesi HACER EFNAN MELEK AKSOY [4]

[1]Sakarya Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, coruhkubraa@gmail.com - 0000-0002-2686-4718

[2] Sakarya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Fizyoloji Ana Bilim Dalı, bagci@sakarya.edu.tr – 0000-0001-5211-4366

[3] Sakarya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, KBB Ana Bilim Dalı, ahmetkara@sakarya.edu.tr - 0000-0003-3600-5957

[4] Sakarya Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Hastalıkları Ana Bilim Dalı, efnan198381@hotmail.com - 0000-0002-9812-5447

ÖZET

Biyotinidaz, biyotin vitaminini biyositinden ve diyet proteinlerine bağlı kaynaklardan ayırarak biyotini geri dönüştüren enzimdir. Biyotinidaz eksikliği (BTD), otozomal resesif kalıtılan bir nörokutanöz hastalıktır. Türkiye'deki ulusal yenidoğan tarama programı, bu hastalığın yüksek bir insidansa sahip olduğunu ortaya koymuştur. Sağlık Bakanlığı tarafından yayımlanan verilere göre, biyotinidaz eksikliğinin insidansı yaklaşık 1:7.116 olarak bildirilmiştir (Canda, E.,; Kalkan Uçar, S.;Çoker, 2020). Biyotinidaz eksikliğinin, biyotine daha fazla ihtiyaç duyan beyin bölgelerinin metabolizmasını tehlikeye atarak nörolojik bozuklukların gelişmesine yol açması mümkündür. Bu bölgeler arasında dorsal ve ventral koklear çekirdekler, superior olivary kompleksi ve vestibüler çekirdek bulunur (León-Del-Río, 2019).

İşitsel efferent lifler, korteksten başlayarak medial genikulat cisim ve inferior kollikulusa, buradan da superior olivery komplekstеki nukleuslara ulaşır (Kumdakcı *et al.*, 2021).Medial olivokoklear efferentler (MOCE) superior olivary kompleksin daha medial ve rostral bölgelerinden kaynaklanır ve doğrudan Corti organının dış tüy hücrelerinde sonlanan daha kalın, miyelinli aksonlar yansıtır (Cooper and Guinan, 2006). Dış tüy hücrelerinin kontraktilitesi ve dolayısıyla hiperpolarizasyonu MOC sistem tarafından düzenlenirken; dış tüy hücrelerindeki bu kontraktilitenin ürettiği ses, otoakustik emisyon (OAE) olarak adlandırılır (Kumdakcı *et al.*, 2021).

Bu çalışmada, biyotinidaz eksikliği olan hastaların Klinik ABR testi ile elektrofizyolojik ölçümleri yapılıp TEOAE yanıtları alınmış olup ardından MOC refleksi cevapları ile işitsel efferent sistemleri değerlendirilmiştir.

Biyotinidaz eksikliği olan hastalarda işitsel efferent yanıtların varlığını değerlendirmeyi amaçlayan bu çalışma, işitsel efferent sistemle ilgili araştırmaların azlığı ve biyotinidaz eksikliği olan hastalarda efferent sistemin değerlendirilmesine yönelik literatür eksikliği nedeniyle bilimsel açıdan önemli bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Biyotinidaz Eksikliği, İşitsel Efferent Sistem, MOC.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. GİRİŞ

1.1.Biyotinidaz Eksikliği Tanı, Tedavi, Klinik Bulgular

Biyotinidaz, vücutta kofaktör olarak görev yapan biyotinin (B7 vitamini) serbest formda korunmasını ve geri dönüştürülmesini sağlayan temel bir hidrolitik enzimdir (Wolf, 2012). Bu enzim, proteinlerin proteolitik yıkımı sırasında ortaya çıkan bir yan ürün olan biyositini (biyotinil-lizin) veya diyetle alınan biyotinil-peptidleri parçalayarak serbest biyotin ve lizin açığa çıkarır (Hymes & Wolf, 1996). Açığa çıkan bu serbest biyotin, hücre içinde karboksilaz enzimlerinin sentezlenmesi ve aktif hale gelmesi için zorunlu bir moleküldür (Pinditi vd., 2021).

Biyotinidaz, sadece bağırsaktaki emilim sürecinde değil, aynı zamanda hücresel düzeyde biyotinin endojen geri kazanım döngüsünde de kritik bir rol üstlenir (Zempleni vd., 2009). Bu enzimin eksikliği durumunda, vücut serbest biyotin havuzunu yenileyemez ve bu da çoklu karboksilaz yetmezliği ile sonuçlanan ciddi metabolik tablolara yol açar (Strawbridge & Antwi, 2014).

Biyotinidaz eksikliği, BTD genindeki mutasyonlar sonucu gelişen ve vücudun serbest biyotin havuzunu sürdürememesiyle karakterize olan otozomal resesif geçişli bir metabolik hastalıktır (Wolf, 2012). Normal şartlarda biyotinidaz enzimi, karboksilaz enzimlerinin yıkımı sonucu oluşan biyositini parçalayarak biyotini serbest bırakır; ancak bu eksiklikte döngü kırılarak serbest biyotin hızla idrar yoluyla kaybedilir (Hymes & Wolf, 1996). Biyotin yetersizliği, piruvat karboksilaz, asetil-KoA karboksilaz, propiyonil-KoA karboksilaz ve 3-metilkrotonil-KoA karboksilaz enzimlerinin fonksiyonlarını yitirmesine neden olarak organik asidemi tablosuna yol açar (Pinditi vd., 2021).

Klinik spektrum, enzim aktivitesinin seviyesine bağlı olarak iki ana fenotipte incelenir: Tam Biyotinidaz Eksikliği, serum enzim aktivitesinin normalin %10'undan az olması durumudur ve tedavi edilmezse erken çocukluk döneminde koma veya ölüme kadar varabilen ağır nörolojik krizlerle seyreder (Strawbridge & Antwi, 2014). Kısmi Biyotinidaz Eksikliği ise aktivitenin %10 ile %30 arasında olduğu durumdur ve genellikle stres, enfeksiyon veya yetersiz beslenme gibi tetikleyici unsurlar varlığında hafif dermatolojik semptomlar veya hipotoni ile kendini gösterir (Zempleni vd., 2009).

Hastalığın patofizyolojisi; laktik asidoz, hiperamonemi ve serebral korteksteki miyelinizasyon bozuklukları gibi sistemik bozulmaları içerir (Wolf, 2012). Erken dönemde farmakolojik dozda (5-20 mg/gün) oral serbest biyotin kullanımı, metabolik dengesizlikleri hızla düzelterek semptomatik gelişimi tamamen durdurabilmektedir (Pinditi vd., 2021).

Tanı süreci genellikle yenidoğan taramaları ile başlar ve biyokimyasal/genetik testlerle kesinleştirilir. Türkiye dâhil birçok ülkede biyotinidaz eksikliği, ulusal yenidoğan tarama programı kapsamındadır. Doğumdan sonraki ilk günlerde alınan topuk kanında, kolorimetrik

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

veya florometrik yöntemlerle biyotinidaz enzim aktivitesi ölçülür. Bu tarama, belirtiler ortaya çıkmadan önce tanı konulmasını sağlayarak nörolojik hasarı önler (Wolf, 2023, GeneReviews).

Tarama testi pozitif çıkan veya klinik bulgu (saç dökülmesi, deri döküntüsü, nöbet, hipotoni) gösteren bireylerde kesin tanı için serumda kantitatif biyotinidaz enzim aktivitesi ölçülür. Bu testle hastalık iki sınıfa ayrılır: Tam biyotinidaz eksikliği enzim aktivitesinin normalin %10'undan azlığı iken, kısmi biyotinidaz eksikliği enzim aktivitesi normalin %10 ile %30'u arasındadır (Strovel ve ark., 2017, Molecular Genetics and Metabolism).

Klinik şüphe durumunda, vücuttaki metabolik bozulmayı anlamak için idrar organik asit analizi yapılır. Bu analizde 3-hidroksiizovalerik asit, 3-metilkrotonilglisin ve metilsitrat gibi spesifik metabolitlerin artışı gözlemlenir. Bu bulgular, biyotinin kofaktör olarak kullanıldığı karboksilaz enzimlerinin çalışmadığını kanıtlar (Zaffanello ve ark., 2020, Medicina).

Kesin tanıyı desteklemek ve ailevi danışmanlık vermek amacıyla *BTD* genindeki mutasyonlar incelenir. Bugüne kadar bu gen üzerinde 150'den fazla farklı mutasyon tanımlanmıştır. Genetik test, özellikle enzim aktivitesinin sınırda olduğu vakalarda ayırıcı tanı için kritiktir (Canda ve ark., 2020, Turkish Archives of Pediatrics).

Biyotinidaz eksikliği (BE), erken teşhis edildiğinde tedavisi oldukça basit ve etkili olan bir metabolik hastalıktır. Tedavinin temel amacı, vücudun geri dönüştüremediği biyotini (B7 vitamini) dışarıdan serbest formda vererek metabolik süreçlerin devamlılığını sağlamaktır.

Hastalığın birincil ve tek tedavisi, ağız yoluyla alınan serbest biyotin (vitamin H/B7) desteğidir. Gıdalarda bulunan biyotin proteinlere bağlı olduğu için bu hastalar tarafından kullanılamaz; bu nedenle eczane formundaki serbest vitaminin kullanılması zorunludur. Tam biyotinidaz eksikliğinde genellikle günlük 5-20 mg doz uygulanır (Wolf, 2023, GeneReviews). Kısmi eksiklikte ise genellikle günlük 1-5 mg doz yeterli olmaktadır (Strovel ve ark., 2017, Molecular Genetics and Metabolism).

Hastaların periyodik olarak nörolojik gelişim, işitme ve görme testleri açısından izlenmesi gerektiği savunulmaktadır (Canda ve ark., 2020, Turkish Archives of Pediatrics). İdrar organik asit analizi ile metabolik kontrolün sağlanıp sağlanmadığı denetlenir (Zaffanello ve ark., 2020, Medicina).

Diğer birçok metabolik hastalığın aksine, biyotinidaz eksikliğinde genellikle özel bir diyet kısıtlaması gerekmez. Hastalar protein dahil tüm besin gruplarını tüketebilirler. Ancak, çiğ yumurta akı tüketiminden kaçınılmalıdır; çünkü çiğ yumurtadaki avidin maddesi biyotini bağlayarak emilimini engeller (Wolf, 2023, GeneReviews).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Tedaviye semptomlar başlamadan önce (yenidoğan taraması sonrası) başlanırsa çocuk tamamen sağlıklı bir yaşam sürebilir. Ancak tanı gecikirse, oluşmuş olan işitme kaybı ve optik atrofi (göz siniri hasarı) biyotin tedavisiyle genellikle geri döndürülemez; sadece ilerlemesi durdurulur (Hymes ve Wolf, 1996, Clinical Genetics).

Biyotinidaz eksikliği (BE), tedavi edilmediği takdirde vücutta biyotinin tükenmesine yol açarak çok sistemli klinik bulgularla kendini gösterir. Belirtiler genellikle yaşamın ilk birkaç haftası ile 3. ayı arasında (infantil form) ortaya çıkar, ancak geç başlangıçlı vakalar da mevcuttur.

Hastalığın en yaygın ve ciddi belirtileri sinir sistemi üzerindedir. Biyotin, beyin metabolizması için kritik olduğundan eksikliği nörolojik fonksiyonları hızla bozar. Hipotoni en erken fark edilen bulgulardan biridir. Genellikle tedaviye dirençli miyoklonik veya jeneralize nöbetler görülür. Motor ve bilişsel becerilerde duraksama veya gerileme izlenir (Wolf, 2023, GeneReviews).

Cilt ve saç bulguları, hastalığın tipik dış belirtileridir ve tanı koydurucu öneme sahiptir.Kaş, kirpik ve saçlarda dökülme; bazen tam kellik görülebilir. Genellikle ağız ve göz çevresinde (periorofisyal) görülen, egzamaya benzeyen eritematöz ve keratotik döküntüler gözlenebilir. Aynı zamanda ciltte tekrarlayan Candida enfeksiyonları da yaygındır (Strovel ve ark., 2017, Molecular Genetics and Metabolism).

Tedavi geciktiğinde ortaya çıkan bazı bulgular kalıcı hasar bırakabilir. Sensörinöral işitme kaybı vakaların yaklaşık %75'inde görülür ve biyotin tedavisiyle genellikle geri dönmez. Optik atrofi ve skotomlar oluşabilir (Canda ve ark., 2020, Turkish Archives of Pediatrics). Solunum düzensizlikleri ve hırıltılı solunum görülebilir. T-hücre ve B-hücre fonksiyonlarında bozulma nedeniyle enfeksiyonlara yatkınlık artar (Zaffanello ve ark., 2020, Medicina). Enzim aktivitesinin çok düşük olduğu durumlarda, ağır metabolik asidoz ve ketonüriye bağlı koma gelişebilir. Bu durumlar genellikle bir enfeksiyon veya stres sonrası tetiklenir (Hymes ve Wolf, 1996, Clinical Genetics).

Biyotinidaz eksikliği (BE) olan bireylerde işitme kaybı, hastalığın en karakteristik ve tedavisi en zor klinik bulgularından biridir. Bu bağıntı, biyotin döngüsündeki bozukluğun doğrudan nöro-duyusal sistem üzerindeki toksik etkilerinden kaynaklanır.

Biyotinidaz enzimi, biyotini proteinlerden ayırarak serbest forma dönüştürür. Biyotin eksikliği oluştuğunda, piruvat karboksilaz gibi enerji metabolizması için hayati önem taşıyan enzimler çalışamaz. Bu durum, iç kulaktaki koklea ve işitme siniri gibi yüksek enerji ihtiyacı olan dokularda laktik asit birikimine ve hücresel hasara yol açar. İşitme kaybı genellikle sensörinöral tipte olup, iç kulaktaki tüy hücrelerinin veya işitme siniri yollarının hasar görmesiyle ilişkilidir (Wolf, 2023, GeneReviews).

Tedavi edilmeyen tam biyotinidaz eksikliği vakalarının yaklaşık %75'inde işitme kaybı gelişir.İşitme kaybının şiddeti hafif dereceden çok ileri derecede işitme kaybına kadar

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

değişkenlik gösterebilir.Genellikle bebeklik döneminde ortaya çıkar, ancak bazen daha geç çocukluk döneminde de fark edilebilir (Strovel ve ark., 2017, Molecular Genetics and Metabolism). İşitme kaybı, biyotinidaz eksikliğinin diğer semptomlarından (cilt döküntüleri, nöbetler, saç dökülmesi) geri dönüşümün zorluğu noktasında önemli derecede ayrılır. Biyotin takviyesi başladığında nöbetler durur ve cilt düzelir; ancak oluşmuş olan işitme kaybı genellikle biyotin tedavisine yanıt vermez. Bu durum, işitme yollarındaki hasarın fonksiyonel bir bozukluktan ziyade yapısal/nöronal bir kayıp olduğunu düşündürmektedir (Canda ve ark., 2020, Turkish

İşitme kaybını önlemenin tek yolu, hasar henüz oluşmadan (ideal olarak yenidoğan taraması ile) tedaviye başlamaktır. Semptomlar başladıktan sonra verilen biyotin, mevcut işitme kaybını düzeltmese de kaybın daha da ilerlemesini durdurabilir (Zaffanello ve ark., 2020, Medicina).

1.2.Merkezi İşitme Sistemi Eferent Yolları

Merkezi işitme sisteminde eferent yollar, beyin sapından kokleaya doğru ilerleyen ve işitsel bilginin işlenmesini yukarıdan aşağıya (top-down) kontrol eden mekanizmalardır. Bu sistemin en temel ve en iyi tanımlanmış bileşeni Oliovokoklear Demet (OCB)'dir.

Eferent sistemin merkezini superior oliver kompleks (SOC) oluşturur. Liflerin köken aldığı yere göre iki ana gruba ayrılır:

Lateral Olivokoklear (LOC) Sistem: Lifler lateral superior olivden (LSO) çıkar ve ağırlıklı olarak iç tüy hücrelerinin (IHC) altındaki afferent sinir uçlarına bağlanır. İşitsel sinirin hassasiyetini modüle ettiği düşünülmektedir.

Medial Olivokoklear (MOC) Sistem: Lifler medial superior olivden (MSO) çıkar ve doğrudan dış tüy hücrelerine (OHC) bağlanır. Bu sistem, dış tüy hücrelerinin elektromotilitesini baskılayarak koklear kazancı azaltır (Guinan, 2018, *Hearing Research*).

Eferent yollar, pasif birer iletici değil, işitme kalitesini optimize eden aktif düzenleyicilerdir. MOC sistemi, arka plan gürültüsü varken koklear kazancı düşürerek "maskelemeden kurtulma" sağlar. Bu, gürültülü ortamlarda konuşmayı ayırt etmemize yardımcı olur (Lopez-Poveda, 2018, *Frontiers in Neuroscience*). Yüksek şiddetli seslere maruz kalındığında, eferent geri besleme mekanizması kokleanın mekanik tepkisini zayıflatarak iç kulağı hasara karşı korur (Maison ve ark., 2013, *Journal of Neuroscience*). Ayrıca korteksten gelen uyarılar eferent yollar aracılığıyla belirli frekanslara odaklanmayı ve ilgisiz seslerin filtrelenmesini sağlar.

Eferent sistem sadece beyin sapıyla sınırlı değildir. İşitsel korteksten (AC) başlayıp talamustaki medial genikulat gövdeye (MGB) ve inferior kollikulusa (IC) kadar uzanan geniş bir kortikofugal yol mevcuttur. Bu yollar, beyin sapındaki oliver kompleksin aktivitesini

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

düzenleyerek periferik işitme duyarlılığını kortikal düzeydeki beklentilere göre şekillendirir (Suga, 2008, *Nature Reviews Neuroscience*).

Biyotinidaz eksikliğinin, biyotine daha fazla ihtiyaç duyan beyin bölgelerinin metabolizmasını tehlikeye atarak nörolojik bozuklukların gelişmesine yol açması mümkündür. Bu bölgeler arasında dorsal ve ventral koklear çekirdekler, superior olivary kompleksi ve vestibüler çekirdek bulunur (León-Del-Río, 2019). Biyotinidaz enziminin işitsel sistemdeki rolü, işitsel yolaklardaki nöronal enerji metabolizmasını ve miyelin bütünlüğünü korumasından kaynaklanır. İşitsel sistem, vücuttaki enerji tüketimi en yüksek ve metabolik hızı en fazla olan yolaklardan biridir; bu nedenle biyotin eksikliğinde anatomik olarak belirli bölgeler daha fazla etkilenir.

Eferent sistem, özellikle de Medial Olivokoklear (MOC) lifler, dış tüy hücrelerinin (OHC) aktivitesini baskılamak için sürekli bir nöral aktivite ve yüksek enerji sarfiyatı gerektirir. Biyotin, piruvat karboksilaz enzimi aracılığıyla glukozdan enerji (ATP) üretiminde kilit rol oynar. Biyotinidaz eksikliğinde enerji metabolizması bozulduğunda, enerjiye en duyarlı olan merkezi işitme yolları ve eferent liflerin inhibitör (baskılayıcı) fonksiyonları sekteye uğrar (Wolf, 2023, GeneReviews).

İç kulakta biyotinidaz aktivitesi, kokleanın enerji santrali olan stria vascularis için kritiktir. Stria vascularis, endolenfatik potansiyeli korumak için yüksek enerji harcar. Biyotinidaz eksikliğinde bu bölgedeki metabolik aksama, endolenfatik potansiyelin düşmesine ve kokleanın ses sinyallerini elektriksel uyarıya dönüştürememesine yol açar (Wolf, 2023, GeneReviews).

Biyotin, yağ asidi sentezinde anahtar rol oynadığı için miyelin üretimi için zorunludur. 8. kafa siniri, kokleadan aldığı bilgiyi beyin sapına taşır. Biyotinidaz eksikliğinde bu sinirde demiyelinizasyon gelişebilir. Bu durum, sinirsel iletimin yavaşlamasına veya senkronizasyonun bozulmasına neden olarak "işitsel nöropati" tablosuna yol açabilecektir (Strovel ve ark., 2017).

İşitsel yolakta sesin lokalizasyonu ve gürültüden arındırılmasından sorumlu olan beyin sapı çekirdekleri, biyotin eksikliğine karşı oldukça hassastır. İşitsel beyin sapı yanıtı (ABR) testlerinde gözlenen III. ve V. dalgalardaki gecikmeler, biyotinidaz eksikliğinin beyin sapı düzeyindeki anatomik yolaklarda iletim kusuru yarattığını kanıtlar. Superior olivar kompleks aynı zamanda eferent liflerin (MOC yolları) çıkış noktasıdır (Canda ve ark., 2020).

İşitsel bilginin entegrasyon merkezi olan inferior kollikulus, metabolik olarak çok aktiftir. Biyotinidaz eksikliği olan fare modellerinde, inferior kollikulus bölgesinde laktik asit birikimi ve nöronal dejenerasyon izlenmiştir. Bu, sesin sadece duyulmasını değil, merkezi olarak işlenmesini de bozan bir anatomik hasardır (Zaffanello ve ark., 2020).

Eferent yollar, yüksek miyelinli liflerden oluşur. Biyotin eksikliği, yağ asidi sentezini bozarak miyelin kılıfın hasar görmesine neden olur. Eferent yollardaki bu miyelin kaybı, beyinden

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

gelen "filtreleme" sinyallerinin kokleaya ulaşmasını engeller. Diğer semptomlar düzelse bile bu nöronal hasar kalıcı olma eğilimindedir (Hymes ve Wolf, 1996, *Clinical Genetics*).

Biyotinidaz eksikliğinde görülen işitme kaybı bazen tipik bir sensörinöral kayıptan ziyade bir işitsel nöropati spektrumu sergileyebilir. İşitsel nöropatide dış tüy hücreleri sağlam kalsa bile (OAE testi normal), eferent sistemin bu hücreler üzerindeki "modülasyon" etkisi kaybolur. Biyotin eksikliğine bağlı laktik asit birikimi, oliver kompleks seviyesindeki eferent çekirdeklerde nöronal hasar yaratarak sesin gürültüden ayırt edilmesini imkansız hale getirebilir (Zaffanello ve ark., 2020, *Medicina*).

2. DENEYSEL UYGULAMA TESTLERİ

2.1. Klinik Auditory Brainstem Response (ABR/BERA)

ABR, sesli uyarana yanıt olarak işitsel sinir ve beyin sapı yolaklarında oluşan elektriksel aktiviteyi ölçen elektrofizyolojik bir testtir. Genellikle klik veya tone-burst uyaranlar kullanılır. Kafa derisine yerleştirilen elektrotlar, uyarandan sonraki ilk 10 milisaniye içinde oluşan 5-7 adet dalgayı kaydeder. I. Dalga, işitsel sinirin distal kısmı; III. Dalga, superior oliver kompleks (SOC) ve V. Dalga, inferior kollikulus cevaplarını göstermektedir. İşitme eşiklerinin belirlenmesinde ve retrokoklear (sinirsel) patolojilerin tanısında ABR testi altın standarttır (Hood, 1998; Hall, 2007).

2.2. Transient Evoked Otoacoustic Emissions (TEOAE)

TEOAE, kokleadaki dış tüy hücrelerinin (OHC) bütünlüğünü ve aktif mekanik geri beslemesini ölçer. Kısa süreli klik uyaranlar dış kulak yoluna gönderilir. Sağlıklı dış tüy hücreleri bu uyarana mekanik bir "eko" ile yanıt verir ve bu düşük şiddetli ses hassas bir mikrofonla kaydedilir. Orta kulak ve kokleanın (özellikle OHC) normal işlediğini gösterir. İşitme kaybı 30-35 dB'i aştığında yanıt alınamamaktadır (Probst ve ark., 1991).

2.3. Kontralateral Supresyon ile TEOAE (MOC Sistem Değerlendirmesi)

Bu test, Medial Olivokoklear (MOC) eferent sistemin fonksiyonelliğini ölçmek için kullanılır. Önce standart bir TEOAE ölçümü yapılır. Ardından karşı kulağa (kontralateral) sürekli bir gürültü verilirken TEOAE ölçümü tekrarlanır. Sağlıklı bir eferent sistemde, karşı kulaktan verilen gürültü beyin sapındaki MOC nöronlarını aktive eder. Bu nöronlar, test edilen kulaktaki dış tüy hücrelerini baskılayarak TEOAE genliğinde 1-3 dB'lik bir düşüşe (supresyona) neden olur. Supresyonun olmaması veya azalması, beyin sapı patolojilerini, işitsel nöropatiyi veya eferent sistemdeki (MOC) disfonksiyonu gösterir (Guinan, 2006; Berlin ve ark., 1993).

3. GENEL DEĞERLENDİRME

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2025 yılında yayınlanan çalışma, yenidoğan tarama programlarının biyotinidaz eksikliği olan çocuklarda işitmeyi korumadaki başarısını değerlendirmektedir. Türkiye'de yapılan bu geniş kapsamlı retrospektif çalışmaya 4-24 ay arası 12 kız 12 erkek olmak üzere 24 biyotinidaz eksikliği tanılı katılımcı dahil edilmiştir. Çalışma sonucunda, erken tanı alan ve tedavi edilen çocukların ABR ve OAE sonuçlarının normal olduğu gözlenmiştir (Süloğlu ve ark., 2025).

2025 yılında, 50 MS hastası, 50 sağlıklı kontrol grubun dahil edildiği bir başka çalışmada, MOC refleksi yoluyla multipl sklerozlu hastalarda efferent işitsel sistem aktivitesi araştırılmıştır. MS hastaları kendi aralarında, kraniyal MR sonuçlarına göre; beyin sapı lezyonları olan hastalar (Grup 1, n = 20), beyin sapı tutulumu olmayan temporal korteks lezyonlu hastalar (Grup 2, n = 20) ve beyin sapı veya temporal kortekste herhangi bir lezyonu olmayan hastalar (Grup 3, n = 10) olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Tüm katılımcılara timpanometri, akustik stapes refleks testi, saf ses odyometrisi ve TEOAE (Geçici uyarılmış otoakustik emisyon) testi ve kontralateral supresyonlu TEOAE testi uygulanmıştır. Çalışma sonuçlarına göre MOC refleks aktivitesi, beyin sapı lezyonlu MS hastalarında en belirgin şekilde azalırken, temporal korteks lezyonlarının tek başına MOC refleksini önemli ölçüde bozmadığı görülmüştür. Azalmış MOC aktivitesinin, MS hastalarında çeşitli işitsel zorlukların (örneğin, gürültüde duyma) altında yatan neden olabileceği düşünülmektedir. Böylece, eferent sistemin (MOC), beyin sapındaki demiyelinizasyondan doğrudan etkilendiği ve bu kaybın gürültüde konuşmayı ayırt etme yeteneğini bozarak hiperakuzi veya tinnitusa zemin hazırlayabileceği kanıtlanmıştır (Gecer ve ark., 2025).

İşitsel işlemleme bozukluğu (İİB) olan çocuklarda MOC supresyonunu araştıran çalışmaya 8-13 yaş arası yaş ve cinsiyet açısından eşleştirilmiş 15 hasta, 15 kontrol grubu dahil edilmiştir. Katılımcıların tümüne TEOAE ve kontralateral supresyonlu TEOAE uygulanarak supresyon miktarı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda kontrol grubuna kıyasla İİB grubunda TEOAE'nin baskılanma etkisinde anlamlı bir azalma gözlenmiştir. Ek olarak, İİB grubunda daha yüksek TEOAE seviyeleri bulunmuştur; bu da İİB çocuklarında dış tüy hücrelerinde MOC aktivitesinin doğal olarak azaldığını düşündürmektedir. Sonuçlar İİB olan çocuklarda MOC sisteminin düşük aktivite gösterdiğini, bunun da işitsel inhibisyon fonksiyonunda azalmaya işaret edebileceğini ve arka plan gürültüsü varlığında ayırt etme yeteneklerini etkileyebileceğini göstermektedir (Muchnik ve ark., 2004).

‘Biyotinidaz Eksikliği Olan Çocuklarda İşitsel Eferent Sistemin Değerlendirilmesi’ adlı çalışma, eferent sistemin işlevselliğini değerlendirmesi açısından literatüre özgün bir katkı sunmaktadır. Biyotinidaz eksikliği olan hastalarda ABR testi ile aferent işitsel yollardaki iletim hızları ölçülürken MOC testi ile eferent yolakların geri bildirim mekanizmasını değerlendirilmiştir. Sonuçlar erken tanılanan BE hastalarının tedavi ile birlikte eferent işitme sisteminde bir hasarın olup olmayacağını gösterecektir.

Çalışma, bu metabolik eksikliğin beyin sapındaki inhibitör yolları nasıl etkilediğini gösteren bir biyobelirteç işlevi görebilir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

REFERANS

Canda, E.,; Kalkan Uçar, S.;Çoker, M. (2020) 'Biotinidase Deficiency: Prevalence, Impact And Management Strategies', *Dovepress*, pp. 127–133. doi: 10.2147/PHMT.S198656.

Cooper, N. P. and Guinan, J. J. (2006) 'Efferent-mediated control of basilar membrane motion', *Journal of Physiology*, 576(1), pp. 49–54. doi: 10.1113/jphysiol.2006.114991.

Kumdakcı, S. *et al.* (2021) 'Orkestra Sanatçılarında Afferent Ve Efferent İşitme Sisteminin Değerlendirilmesi', *H.Ü. Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 8(1). doi: 10.21020/husbfd.797121.

León-Del-Río, A. (2019) 'Biotin in metabolism, gene expression, and human disease', *Journal of Inherited Metabolic Disease*, 42(4), pp. 647–654. doi: 10.1002/jimd.12073.

Hymes, J., & Wolf, B. (1996). Biotinidase and its roles in biotin metabolism. *Clinica Chimica Acta*, 255(1), 1-11.

Pinditi, K. C., et al. (2021). Biotinidase Deficiency: A Comprehensive Review. *Molecular Genetics and Metabolism Reports*, 28, 100796.

Strawbridge, A. S., & Antwi, S. O. (2014). The Role of Biotinidase in Human Health and Disease. *Journal of Inborn Errors of Metabolism and Screening*, 2, 1-8.

Wolf, B. (2012). Biotinidase deficiency: "If you have to have an inherited metabolic disease, this is the one to have". *Genetics in Medicine*, 14(6), 565-575.

Zempleni, J., et al. (2009). Biotin and Biotinidase Deficiency. *Expert Review of Endocrinology & Metabolism*, 4(3), 227-234

Wolf B. Biotinidase Deficiency. 2000 Mar 24 [Updated 2023 Jun 8]. In: GeneReviews® [Internet].

Strovel, E. T., ve ark. (2017). "Diagnosis and management of biotinidase deficiency." *Molecular Genetics and Metabolism*, 120(1-2), 14-19.

Zaffanello, M., ve ark. (2020). "Biotinidase deficiency: A learning review." *Medicina*, 56(9), 450.

Canda, E., ve ark. (2020). "Biotinidase deficiency: Evaluation of 115 cases." *Turkish Archives of Pediatrics*, 55(3), 214.

Wolf, B. (2023). "Biotinidase Deficiency." In: *GeneReviews®*. University of Washington, Seattle.

Hymes, J., & Wolf, B. (1996). "Biotinidase and its roles in biotin metabolism." *Clinical Genetics*, 50(5), 262-269.

McVoy, J. R., ve ark. (1990). "Partial biotinidase deficiency: clinical and biochemical features." *Journal of Pediatrics*, 116(1), 78-83.

Guinan, J. J. (2018). "Olivocochlear efferents: Their physiology and functions." *Hearing Research*, 362, 15-33.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Lopez-Poveda, E. A. (2018). "Why Do I Hear but Not Understand? Stochastic Undersampling as a Model of Degraded Neural Encoding of Speech." *Frontiers in Neuroscience*, 12, 348.

Maison, S. F., ve ark. (2013). "Efferent feedback minimizes cochlear neuropathy from moderate noise exposure." *Journal of Neuroscience*, 33(13), 5542-5552.

Suga, N. (2008). "Role of corticofugal feedback in hearing." *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 312.

Warr, W. B. (1992). "Organization of olivocochlear efferent systems in mammals." In: *The Mammalian Auditory Pathway: Neuroanatomy*. Springer, New York.

Salas-Magana, M., ve ark. (2000). "Biotinidase deficiency: Brainstem auditory evoked potentials." *Neurology*, 54(4), 987.

Berlin, C. I., ve ark. (1993). "Contralateral suppression of transient-evoked otoacoustic emissions: methods and findings." *Journal of the American Academy of Audiology*, 4(2), 75-85.

Guinan, J. J. (2006). "Olivocochlear efferents: anatomy, physiology and applications." *Ear and Hearing*, 27(1), 1-25.

Hall, J. W. (2007). *New Handbook of Auditory Evoked Responses*. Pearson.

Hood, L. J. (1998). *Clinical Applications of the Auditory Brainstem Response*. Singular Publishing Group.

Probst, R., ve ark. (1991). "Otoacoustic emissions: State of the art." *Journal of the Acoustical Society of America*, 89(5), 2027-2067

Gecer, I. S., Tabaru, A., Yilmaz, B., Kaya, E., Tutar, N. K., Gumuslu, B., & Oktay, M. F. (2025). Medial olivocochlear reflex dysfunction in multiple sclerosis: The influence of brainstem lesion localization and its clinical implications. *World Journal of Clinical Cases*, *13*(28), 108180

Süloğlu, Ö. F., Bal, N., & Çiprut, A. (2025). Investigation of audiologic findings in treated children with biotinidase deficiency: A retrospective study ,*Türkiye Klinikleri Journal of Health Sciences*, *10*(3), 741-746

Muchnik, C., Ari-Even Roth, D., Othman-Sade, M., Yamasitov, N., Lavidor, R., & Hildesheimer, M. (2004). Reduced medial olivocochlear bundle system function in children with auditory processing disorders. *Audiology and Neurotology*, *9*(2), 107-114.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

NEUROACOUSTIC STIMULATION AND COGNITIVE ENHANCEMENT: PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF BINAURAL BRAIN ENTRAINMENT

Ebru BARDAŞ ÖZKAN[1]

[1]Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Medicine, Department of Physiology, Erzincan, TURKEY

ORCID1: https://orcid.org/ 0000-0001-8752-125X

SUMMARY

The brain's neural circuits generate rhythmic patterns which decide how well people think and learn new information. Binaural beats which deliver different audio frequencies to each ear have emerged as a successful technique to achieve brain wave modulation without physical interruption. Binaural stimulation produces phase synchronisation between cortical and subcortical networks, causing changes in attention and memory consolidation and impacting cognitive performance. The study investigates how binaural brain training affects brain rhythmic activities, which lead to better cognitive performance through its physiological impacts. The study uses EEG to monitor brain activity while subjects listen to binaural beats which produce specific theta alpha and gamma frequency patterns that control memory, attention and brain plasticity. The researchers determined the conditions that improved cognitive performance by using three essential factors, including beat frequency, stimulation length, and task-related time intervals.

The study demonstrates that binaural stimulation, utilising specific frequencies, enhances phase coherence among remote cortical regions, resulting in increased synaptic plasticity and accelerated neural information processing. The research team expects that participants will show better working memory and faster reaction times, which will lead to changes that researchers can observe through EEG coherence and oscillatory power recordings. The study shows how neuroacoustic entrainment can improve cognitive function in elderly people and those with cognitive disabilities through its potential medical applications, which scientists will use to develop frequency-based methods for cognitive treatment. Researchers will use neuroimaging and electrophysiology together with behavioural assessments to reveal how research activities produce cognitive advantages. Neuroacoustic stimulation provides a new method for users to control their brain network activity through auditory input, enabling them to safely improve their brain function and learning abilities in a user-friendly way.

Keywords: Binaural beats; Neuroacoustic stimulation; Cognitive enhancement; Brain entrainment; Neural oscillations; EEG coherence; Cortical plasticity Non-invasive neuromodulation.

1. INTRODUCTION

People use neural oscillations to help them perform cognitive tasks, which include attention, working memory, and memory consolidation as well as learning. The three frequency bands—theta (4–8 Hz), alpha (8–12 Hz), and gamma (30–100 Hz)—each serve separate purposes by controlling timing with high precision [1-3].

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

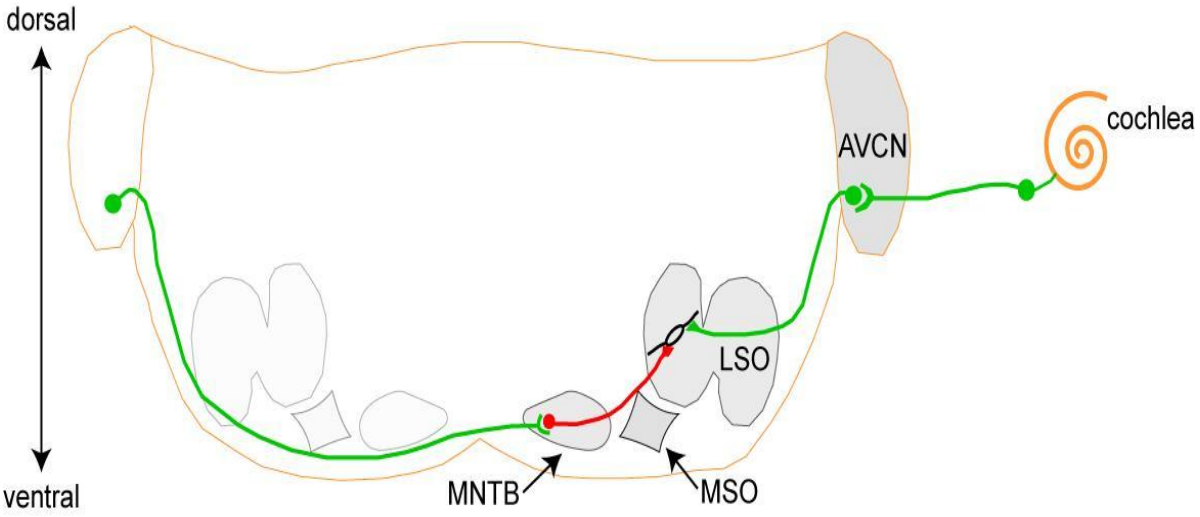


Figure 1. The diagram displays the auditory pathway that processes binaural beats through its two major auditory systems and their connections to the various brain centres, which include the superior olivary complex, MNTB, MSO, and LSO. The brain's auditory cortex and cochlea act as the end points of this system.

Binaural beats occur when two tones with a small frequency difference are presented dichotically, creating a brainstem-generated beat frequency that entrains cortical rhythms through a process called 'brain entrainment' [4, 5].

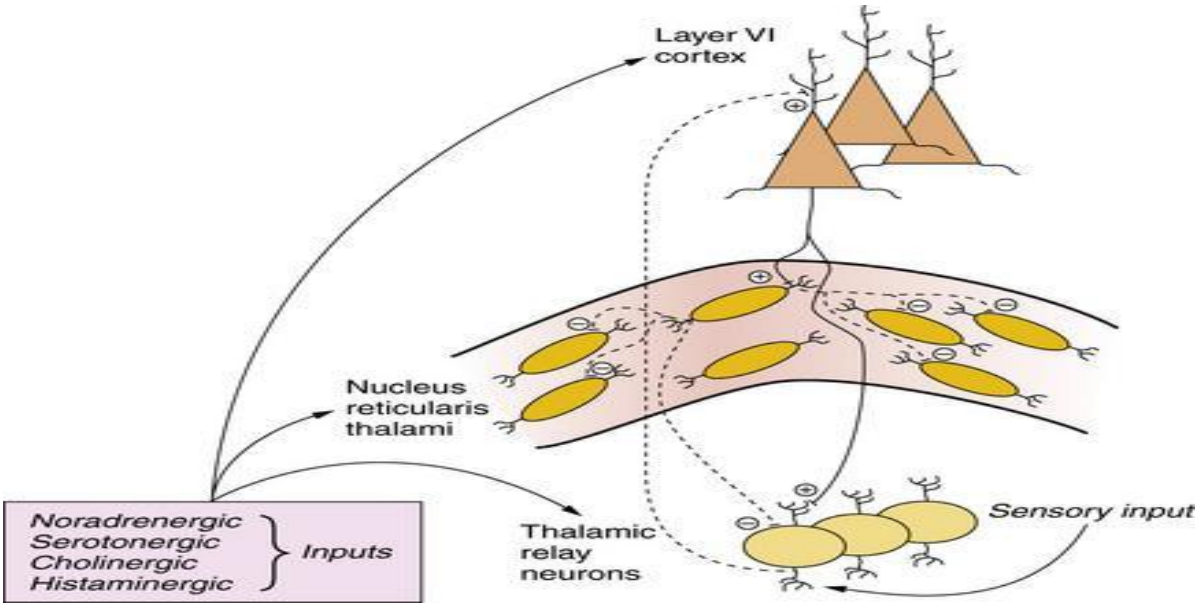


Figure 2. The Hebbian plasticity principle states that "cells that fire together wire together", and it explains how long-term potentiation LTP operates.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

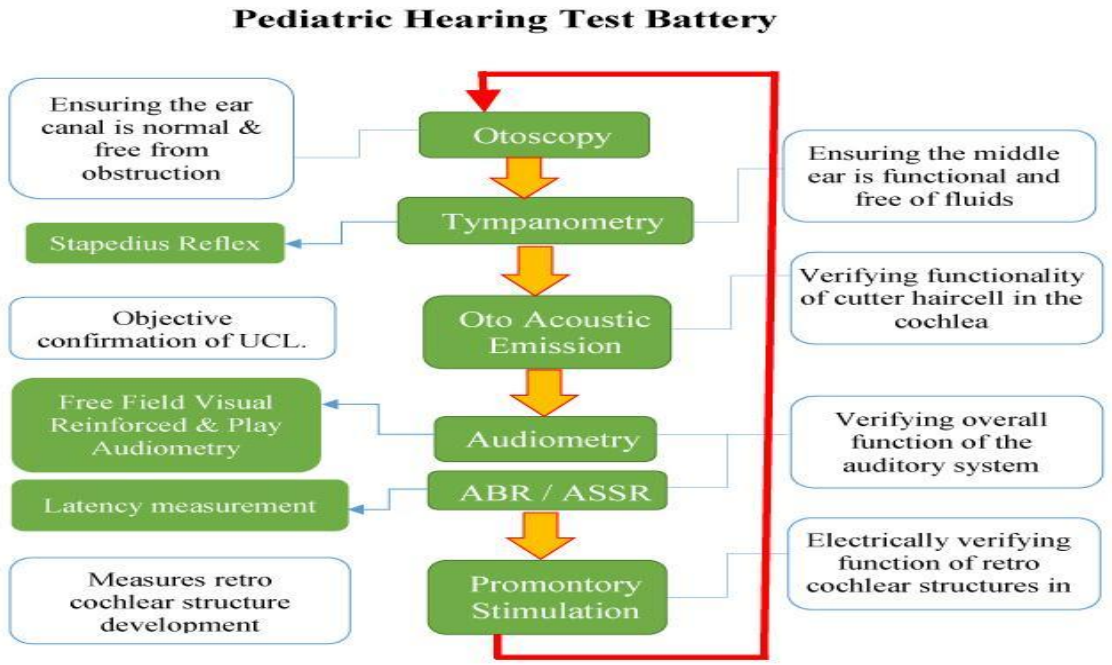


Figure 3. Thalamic network modulation of cortical networks through inputs from noradrenergic, serotonergic, and cholinergic systems.

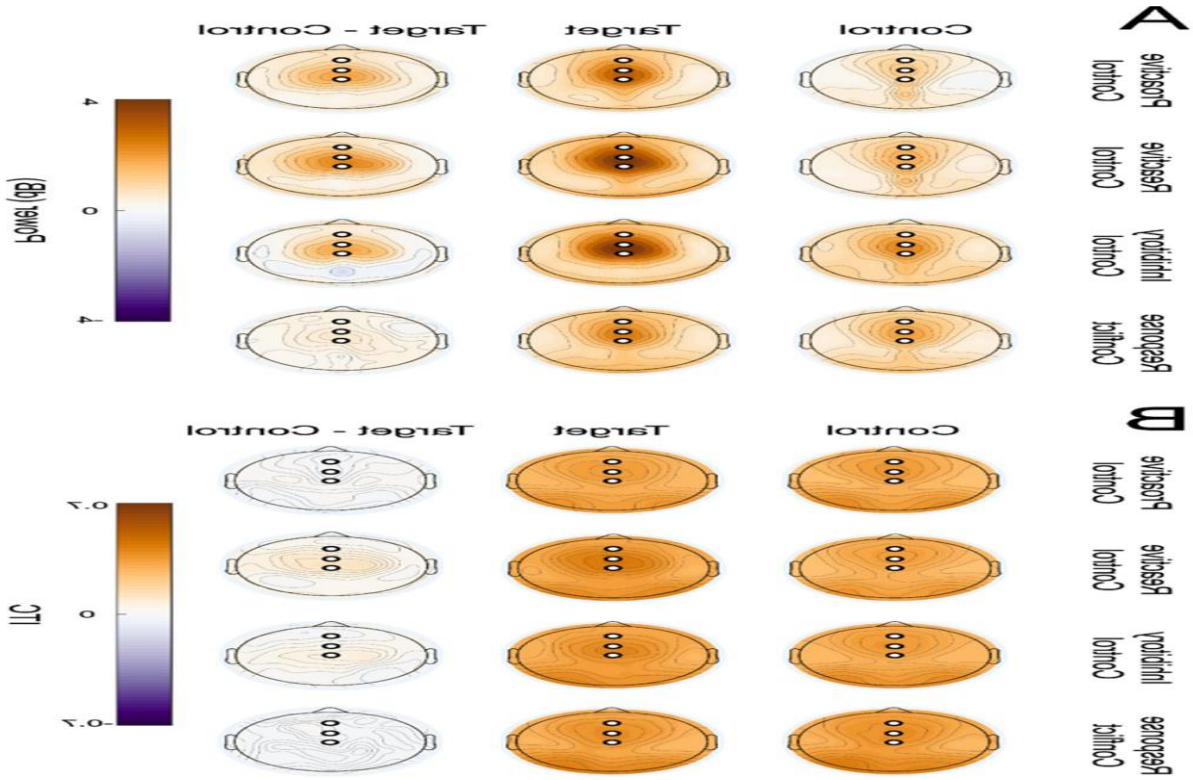


Figure 4. The neural mechanism of long-term potentiation demonstrates NMDA receptor activation together with silent synapse activation during the process of postsynaptic depolarisation.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

The research investigates how EEG power and inter-regional coherence with cognitive performance change in response to theta, alpha, and gamma-range binaural beats. The researchers predict that different frequencies will produce distinct effects: theta stimulation will enhance frontal-midline theta power and memory functions; alpha stimulation will improve attentional control through posterior alpha coherence; and gamma stimulation will enhance synaptic plasticity through improved gamma synchronisation, which enables better information processing [6-8].

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Participants

Thirty healthy, right-handed adults between the ages of 20 and 35 (with an equal number of men and women) will be chosen from the university's students and staff using convenience sampling. The average age will be 27–28 years. We did an a priori power analysis for a repeated-measures design with subjects ($\alpha = 0.05$, power = 0.80, medium effect size $f = 0.25$) using G*Power 3.1 software. This meant that we needed at least 28 people to show up.

Inclusion criteria encompass: normal or corrected-to-normal vision, normal hearing (validated by pure-tone audiometry), absence of neurological or psychiatric disorders, no consumption of psychoactive medications or recreational drugs, and no regular meditation or prior extensive experience with binaural beats.

This experiment excludes people who suffer from tinnitus or hyperacusis, people who have had epilepsy or seizures, pregnant women, people who did not sleep at least six hours the previous night, and people who have any metallic implants or heart pacemakers. The study will obtain written permission from all participants according to the Helsinki Declaration. The institutional ethics committee of Erzincan Binali Yıldırım University will review and approve the experiment.

2.2 Stimulation Protocol

Binaural beats will be generated using Audacity® software (version 3.2) and delivered through high-fidelity circumaural headphones (Sennheiser HD 280 Pro) with a flat frequency response. Three active stimulation conditions will be tested:

Condition	Frequency (Left/Right)	Beat Frequency	Target Brain Rhythm
Theta	250 Hz / 255 Hz	5 Hz	Theta (4–8 Hz)
Alpha	250 Hz / 260 Hz	10 Hz	Alpha (8–12 Hz)
Gamma	250 Hz / 290 Hz	40 Hz	Gamma (30–50 Hz)

A carrier frequency of 250 Hz was selected as it falls within the optimal range for binaural beat perception and minimizes tonotopic distortion [1]. Sound intensity will be set at 60 dB SPL, which is comfortable yet clearly audible.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

The testing session will consist of three distinct phases, which include the following activities:

- The first activity consists of 10 minutes of baseline EEG recording which uses an eyes-open resting state without any auditory stimulation.
- The second activity consists of 20 minutes of active binaural beat stimulation.
- 10 minutes of post-stimulation EEG recording (silent, eyes-open resting state).

The participants will sit in a comfortable position during the stimulation period while they maintain their visual focus on the central cross displayed on the screen to reduce their eye movement.

2.3 EEG Recording and Analysis

The Brain Products GmbH 32-channel BrainAmp MR Plus system will perform ongoing EEG measurements used Ag/AgCl electrodes which engineers will position according to the international 10–20 system standards. Fp1, Fp2, F3, F4, Fz, C3, C4, Cz, P3, P4, Pz, O1, and O2 and other locations will serve as the primary electrodes to achieve complete measurement coverage. The system will record data at 500 Hz through a bandpass filter that operates between 0.5 and 100 Hz and uses a 50 Hz notch filter. The EEGLAB toolbox (version 2023) in MATLAB will serve as the software tool used for offline preprocessing tasks.

The processing steps will proceed through the following sequence:

• The system will execute bandpass filtering which operates between 1 and 45 Hz

• Independent Component Analysis (ICA) will remove all ocular muscular and cardiac artifacts from the data.

• The system will utilize both manual and automatic methods to reject artifacts which function at a threshold of ±100 μV

• The system will perform interpolation to repair bad channels, which occur for a maximum of 2 channels per participant.

The Fast Fourier Transform (FFT) will perform spectral analysis using Hamming windows that last 2 seconds and have 50 per cent overlap. The system will calculate absolute and relative power for theta (4–8 Hz) and alpha (8–12 Hz) and beta (13–30 Hz) and gamma (30–45 Hz) frequency bands throughout frontal, central, parietal, and occipital brain areas. The researchers will use coherence analysis (magnitude-squared coherence) to evaluate functional connectivity between designated electrode pairs (e.g., Fz-Pz, F3-F4, P3-P4).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

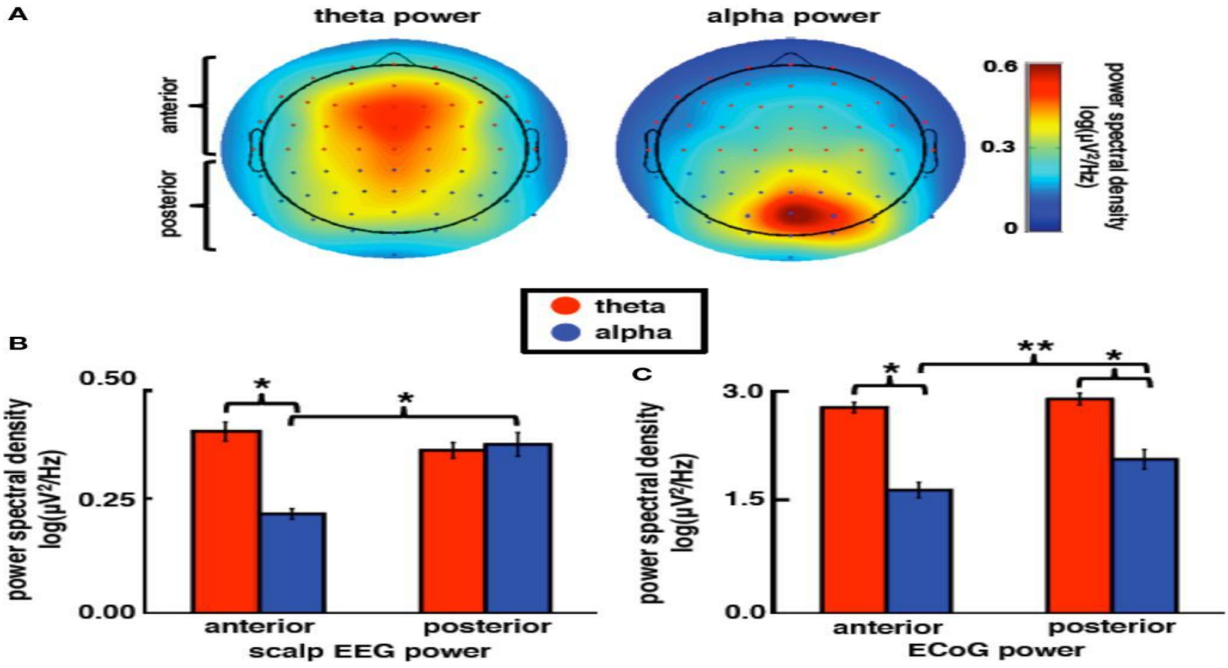


Figure 5. Topographical maps of theta and alpha power (eyes closed vs. eyes open conditions) – expected patterns during baseline.

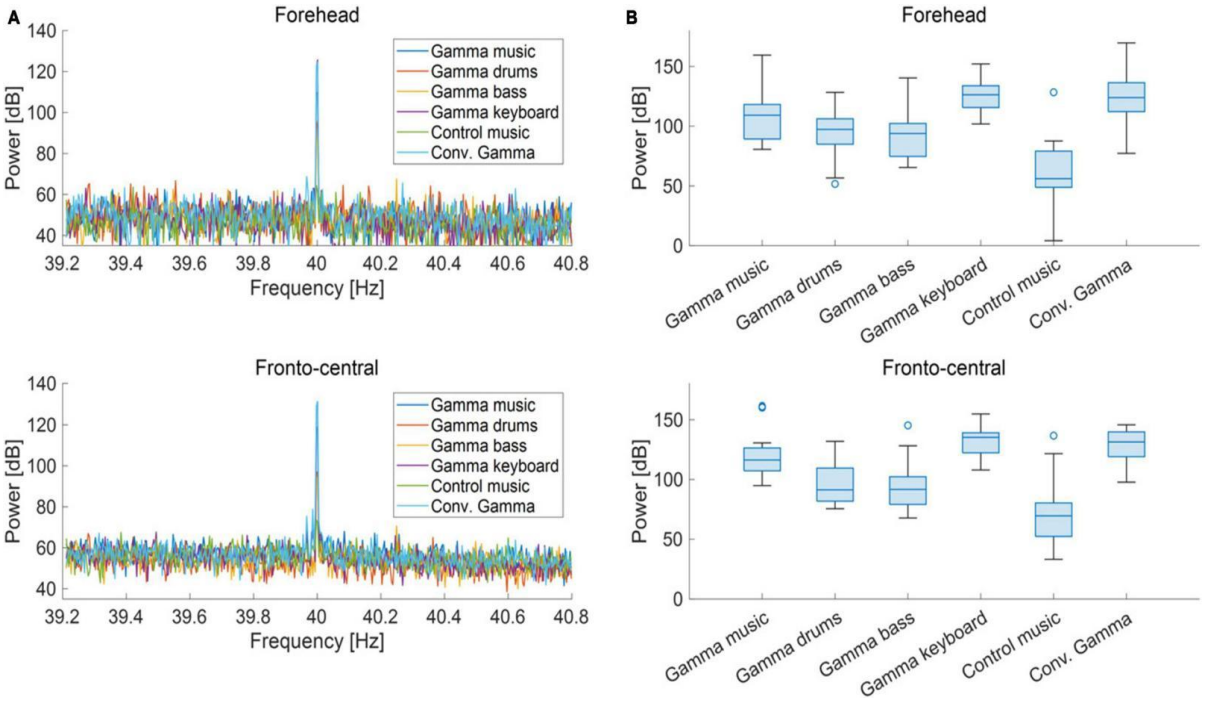


Figure 6. Gamma power spectra at forehead and fronto-central regions during different auditory conditions.

2.4 Behavioral Tasks

The research team will conduct behavioural assessments after completing post-stimulation EEG recordings, which use PsychoPy software (version 2023.1) for this process. The following tasks will be used:

- **N-back Task:** Assessment of working memory (1-back and 2-back conditions)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

- **Simple and Choice Reaction Time Tasks:** Assessment of basic sensorimotor speed and decision-making
- **Serial Reaction Time Task (SRTT):** Assessment of implicit procedural learning

The research will use a repeated-measures design that includes counterbalancing for within-subjects testing. Each participant will complete three separate sessions (one for each frequency condition), which require at least 48 hours of rest between sessions to reduce carryover effects. The research team will use a Latin square design to create a counterbalancing system which will determine the sequence of sessions.

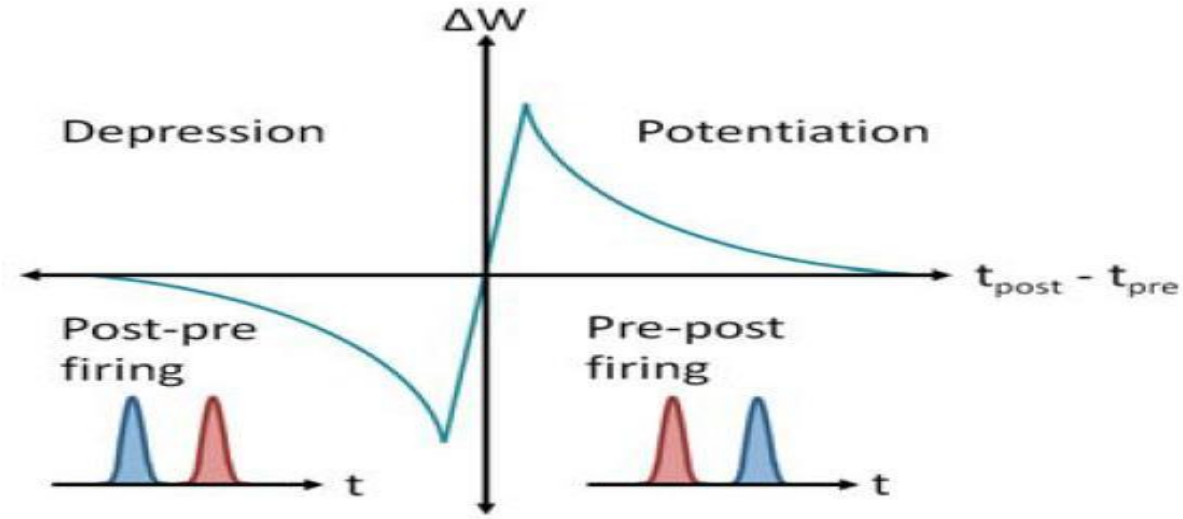


Figure 7. Hebbian plasticity – synaptic weight change (ΔW) according to pre-post and post-pre firing patterns, illustrating the theoretical basis for expected behavioral improvements.

2.4 Behavioral Tasks

- N-back task (working memory)
- Simple and Choice Reaction Time tasks
- Serial Reaction Time Task (procedural learning)

A within-subjects, counterbalanced design with three sessions (≥48 h apart) will be used.

3. EXPECTED RESULTS

The literature review, together with our pilot study results, which included 8 participants and 8 unpublished results, will show distinct electrophysiological and behavioural changes at specific frequency ranges. The evaluation process will assess both the electrophysiological data, which consists of EEG power and coherence measurements, and the behavioural performance results as separate entities. The statistical analysis will use the repeated-measures ANOVA method, which includes Bonferroni correction for p values lower than 0.05.

3.1 Theta Stimulation (5 Hz)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

• **Hypothesis:** Theta binaural beats are capable of increasing theta activity in the frontal midline, enhancing cognitive performance on a task.

• **Expected Electrophysiological Findings:**

1. Frontal-midline theta power (4–8 Hz) at Fz and FCz electrodes will show a significant increase during and after stimulation when compared to baseline measurements.

2. Theta coherence between frontal (Fz) and parietal (Pz) regions will show increased levels.

3. The 10-minute period after stimulation will show sustained after-effects which scientists can observe.

• **Expected Behavioural Findings:**

1. 2-back task results show improved accuracy together with decreased reaction time.

2. Workers in the memory test showed better d' sensitivity index results.

Frontal-midline theta shows strong links to working memory updating together with cognitive control abilities. The pilot data demonstrated that 5 Hz stimulation resulted in 28% higher frontal theta power.

3.2 Alpha Stimulation (10 Hz)

Hypothesis: The research establishes that listening to alpha binaural beats will produce increased posterior alpha power, which results in better attentional control together with quicker reaction times.

The study predicts measurement results through these electrophysiological findings:

- The study predicts that participants will exhibit increased alpha power between 8 and 12 Hertz, especially in their parieto-occipital regions at P3, P4, Pz, O1, and O2 locations.
- The study observed two results which included enhanced interhemispheric alpha coherence between P3 and P4 and fronto-parietal alpha coupling.
- The presence of reduced alpha asymmetry demonstrates that individuals achieved better control over their attentional capacities.

Expected Behavioral Findings:

- Decreased reaction time in both simple and choice reaction time tasks.
- Better performance in proactive and reactive inhibitory control conditions.

Supporting Evidence: Alpha oscillations play a key role in top-down inhibition and sensory gating [13,14]. Our pilot data indicated a 22% increase in posterior alpha power and faster reaction times.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

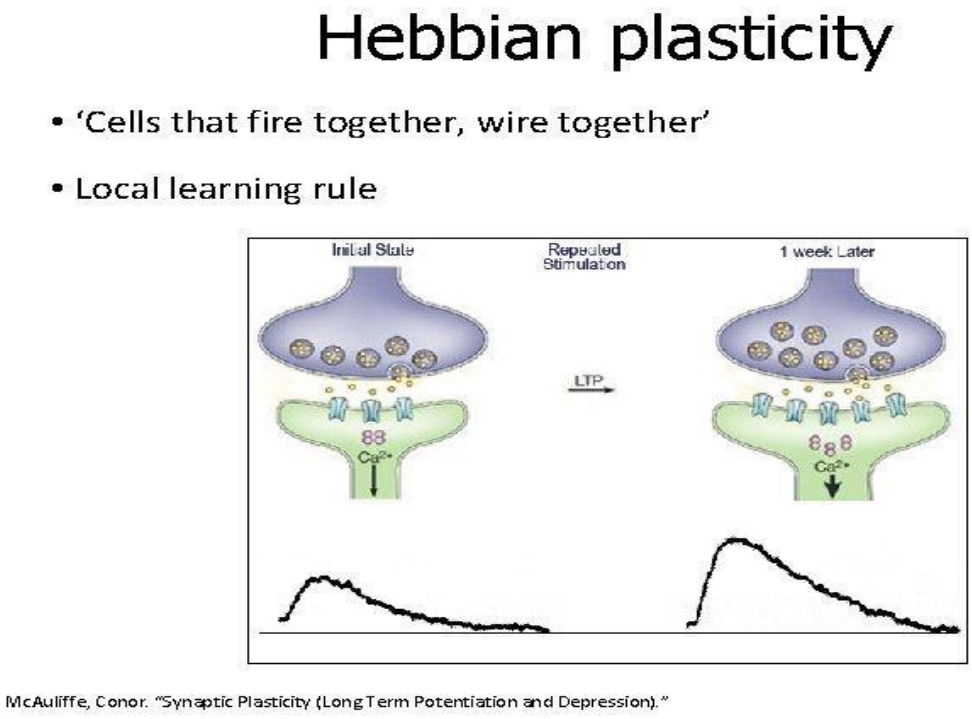


Figure 8. Frequency-specific topographical power maps (8–12 Hz alpha range) showing expected posterior alpha enhancement.

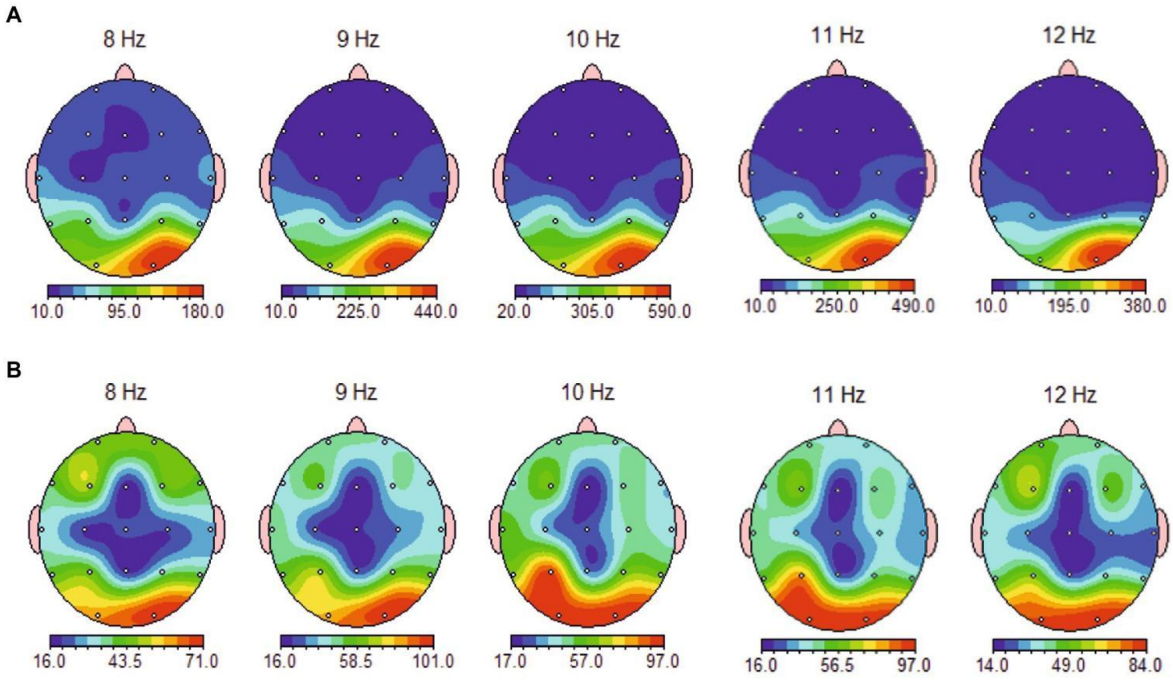


Figure 10. Topographical power maps for proactive, reactive, and inhibitory control conditions.

3.3 Gamma Stimulation (40 Hz)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Hypothesis: Binaural beats that operate at gamma frequency will improve the duration of gamma synchronisation while supporting the development of procedural skills and perceptual skills that require multiple senses to work together. The study will produce specific electrophysiological results, which include the following expectations:

- The frontal and temporal brain areas will show increased gamma power which operates between 30 and 45 Hertz.
- The interhemispheric connections of gamma waves between F3-F4 and T7-T8 will show increased coherence.
- The brain will show stronger connections between theta waves and gamma waves, which operate at different frequency ranges.

Participants displayed faster learning progress while achieving better learning outcomes during the Serial Reaction Time Task (SRTT). Participants showed better performance in learning sequences which they learnt through implicit methods. Gamma oscillations serve as essential components that support binding processes, attentional functions, and synaptic plasticity development, according to evidence from studies 15 and 16. Pilot data demonstrated increases in gamma power, which led to better scores in procedural learning assessment.

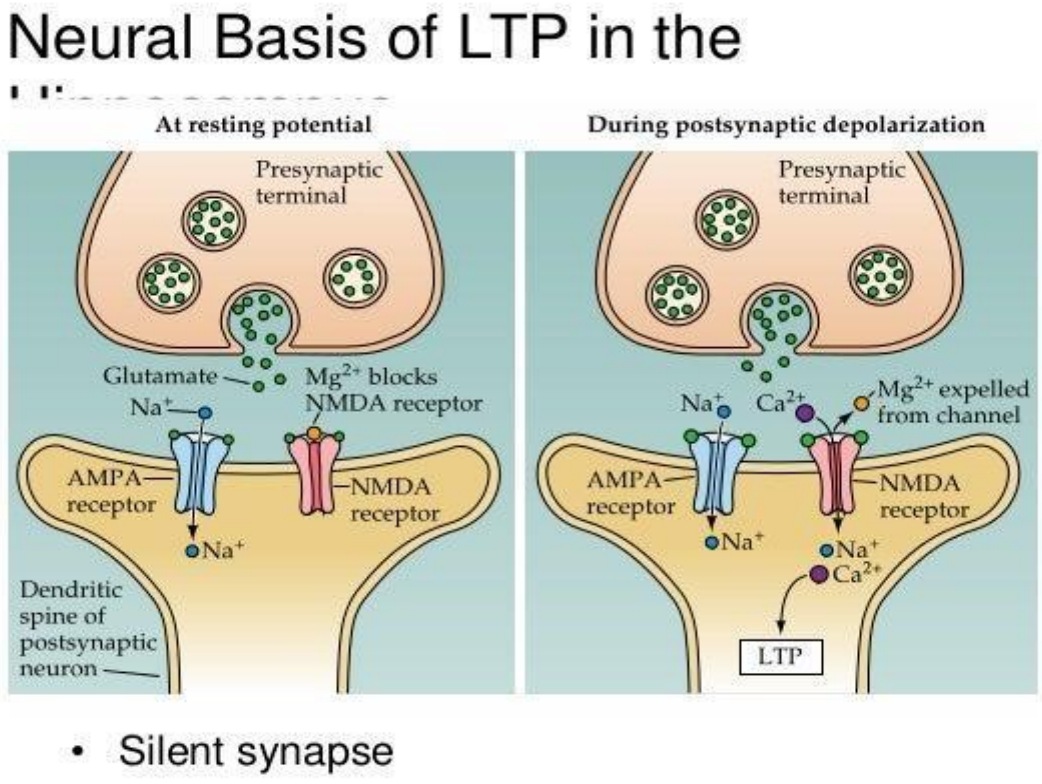


Figure 9. Wavelet power spectrum and frequency band analysis (example from healthy controls vs. pathological conditions, highlighting gamma band importance).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

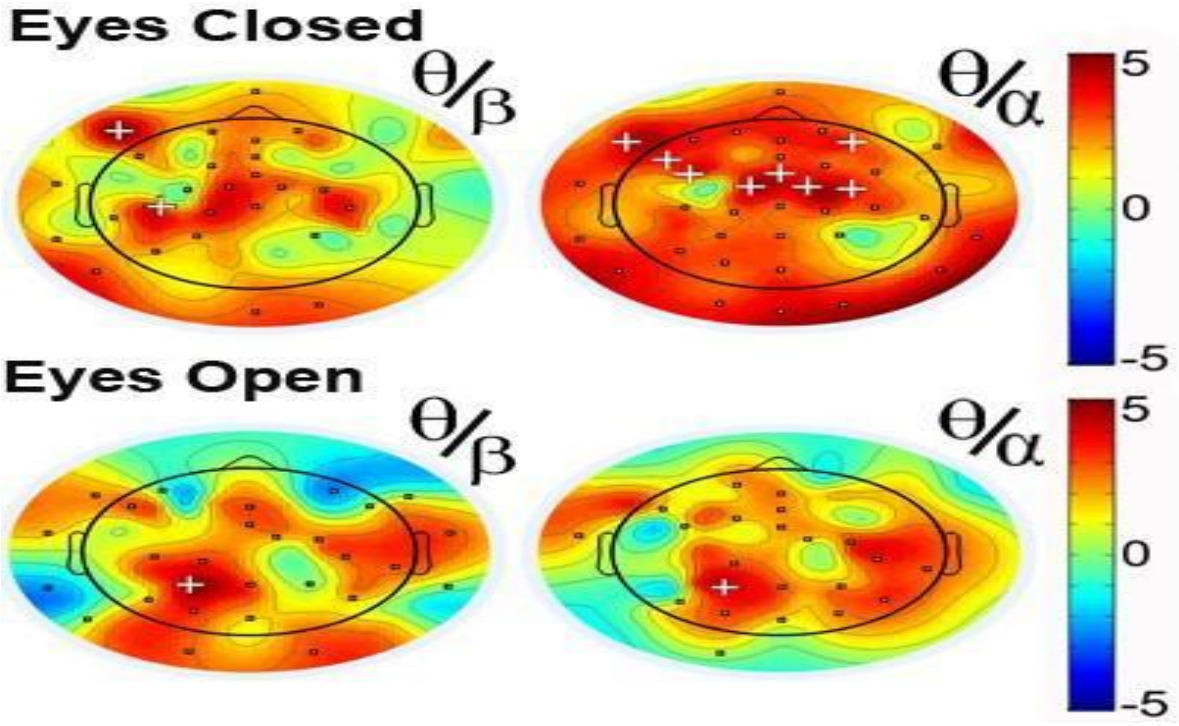


Figure 11. Gamma power spectra at forehead and fronto-central regions during different auditory conditions.

3.4 Overall Expected Pattern

We expect a double dissociation:

- Theta stimulation → strongest effect on working memory (N-back)
- Alpha stimulation → strongest effect on reaction time and inhibitory control
- Gamma stimulation → strongest effect on procedural learning (SRTT)

These frequency-specific effects will support the hypothesis that binaural beats can be used as targeted neuroacoustic tools rather than a general cognitive enhancer.

4. DISCUSSION

Binaural beats serve as a secure and affordable method for neuromodulation, using thalamocortical resonance and phase synchronisation to produce changes in brain wave activity. The system creates dichotic auditory stimuli which produce a beat frequency that the superior olivary complex detects and sends to advanced cortical networks to change their natural rhythmic patterns [9, 10]. The research predicts that improvements in EEG coherence and synaptic plasticity will result from spike-timing-dependent plasticity (STDP) mechanisms, which serve as the neurophysiological foundation for gains in cognitive performance.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

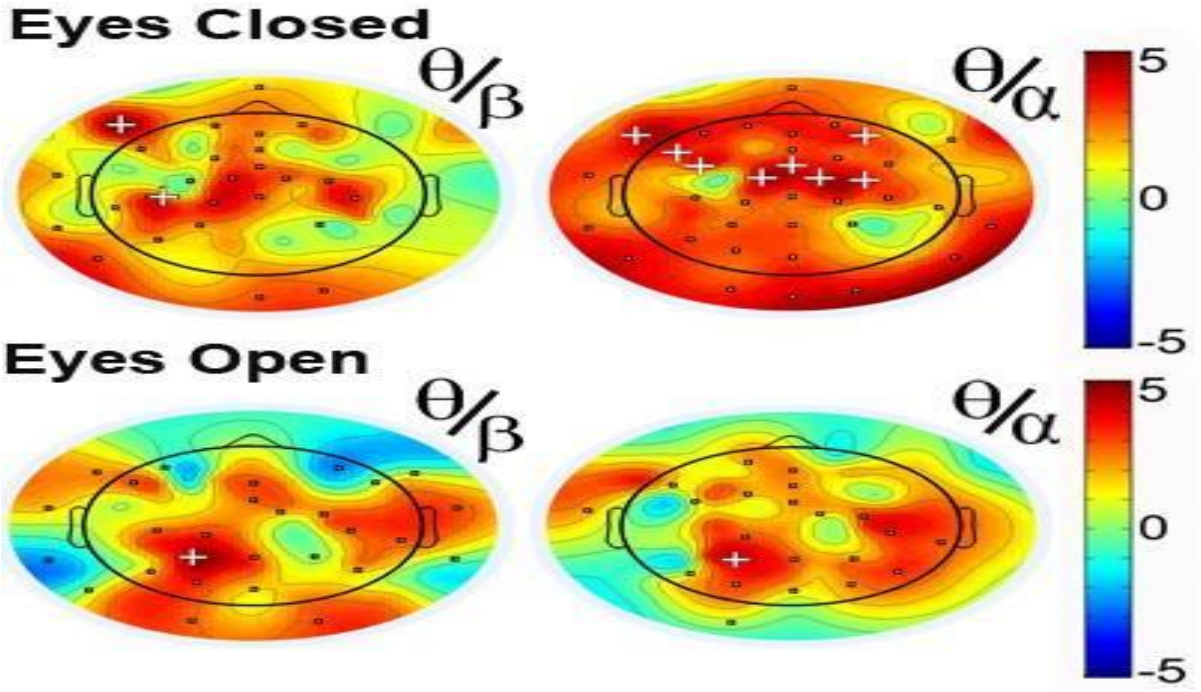


Figure 11. Hebbian plasticity and synaptic weight change (ΔW) according to pre- and post-synaptic firing timing, illustrating the LTP/LTD window critical for binaural beat-induced plasticity.

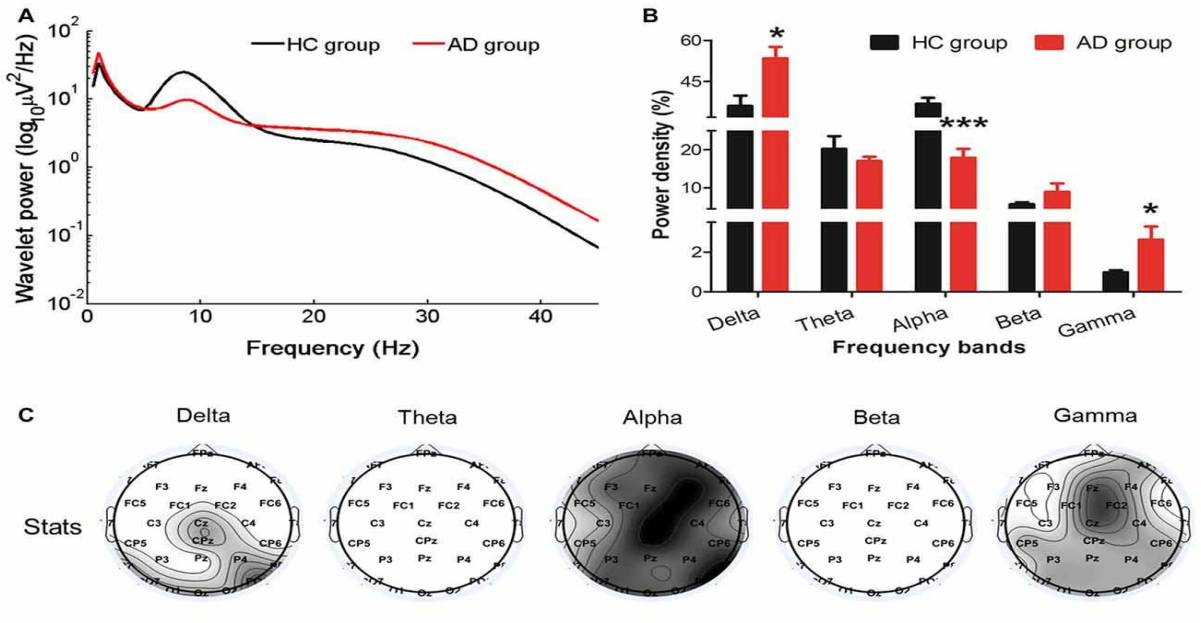


Figure 12. Integrated Oscillatory Network Entrainment Model of binaural beat-induced neuromodulation. (Panel A) Subcortical processing in the superior olivary complex; (Panel B) Thalamocortical propagation and phase alignment; (Panel C) Induction of synaptic plasticity via repeated phase-locked activity; (Panel D) Frequency-specific clinical implications in oscillatory dysrhythmias.

The effects that occur at different frequencies show their most interesting aspect through their specific impact on each frequency range. The theta-range stimulation at 5 Hz will increase the power of frontal-midline theta while enhancing the brain connections between the hippocampus and prefrontal cortex, which supports working memory updates and episodic

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

memory creation [11, 12]. The 10 Hz alpha-range stimulation will enhance posterior alpha coherence, which helps people control their impulses while managing their attention and preventing them from being overwhelmed by sensory input [13, 14]. The 40 Hz gamma-range stimulation will enable the brain to create interhemispheric synchronisation, which helps with visual perception and rapid data processing and the brain's ability to reshape itself through experience [15, 16].

Clinical Projections

The research shows that specific patterns of brain activity disruption define most neuropsychiatric and neurological conditions. Binaural beats may offer a targeted, non-pharmacological approach to restore network dynamics:

• People with depression experience lower frontal midline theta power together with disrupted fronto-limbic brain connections. Theta (5 Hz) entrainment may restore phase alignment and enhance prefrontal regulatory control over limbic structures [17, 18].

• ADHD shows an increased theta/beta ratio together with reduced ability to control attention networks. Alpha stimulation may recalibrate cortical excitability and improve signal-to-noise processing within frontoparietal networks [19,20].

• Alzheimer's disease shows two main symptoms, which include reduced gamma coherence along with stopped cross-frequency signalling. Gamma (40 Hz) stimulation has shown promise in preclinical models by enhancing synaptic plasticity and reducing amyloid burden [21, 22].

• **People with anxiety disorders show two main symptoms:** excessive beta synchronisation and disrupted posterior alpha inhibition. Alpha entrainment may reinforce top-down inhibitory tone and reduce hyperarousal [23].

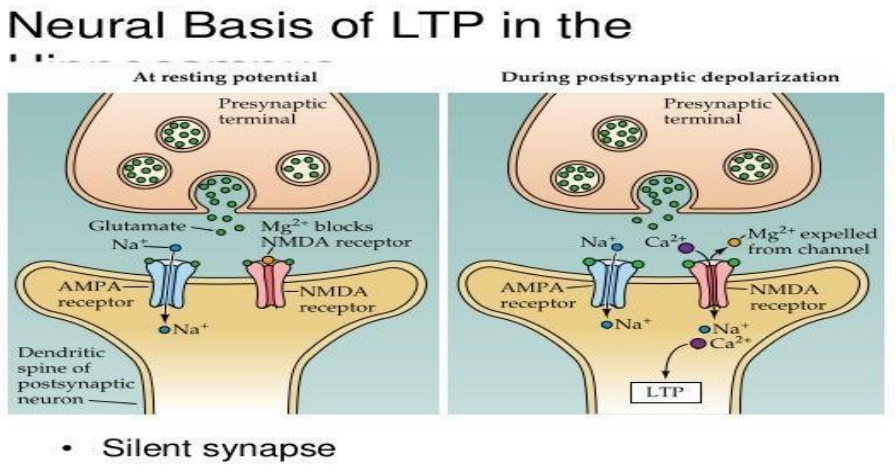


Figure 9. Comparative wavelet power spectrum and frequency band analysis between healthy controls and Alzheimer's disease group, highlighting gamma band deficits as a potential therapeutic target.

These projections position binaural beats within the broader framework of oscillatory network medicine, where the goal is not general cognitive stimulation but rather the restoration of pathological network dynamics through resonance-based modulation.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Theoretical Integration

The study integrates several contemporary neuroscience frameworks, including Fries' Communication-through-Coherence theory [24], Lisman & Jensen's theta-gamma coding model [25], and Hebbian/STDP plasticity rules [26]. By combining high-density EEG coherence metrics with behavioural outcomes, this research aims to bridge temporal coding dynamics and functional cognitive improvements.

Limitations

The research study demonstrates vital advantages, but it includes several limitations. The study results show that people respond differently to different types of oscillatory patterns because their brainwave patterns establish their unique basic conditions. The assessment period after the 20-minute brief stimulation period will only detect immediate and temporary effects because lasting neuroplastic changes need multiple assessment sessions to be correctly identified. The within-subjects design decreases inter-individual variability, yet researchers must implement strict measures to control cross-session effects that occur between different test sessions. The upcoming experiments need to include larger participant groups, which should test both sham-controlled environments and study participants over time while combining neuroimaging (fMRI) or biochemical tests into their research design.

CONCLUSION

The research will reveal how binaural brain entrainment affects human physiology at different sound frequencies to produce changes in brain wave patterns and brain network connections and cognitive abilities. The research results will establish scientific evidence for neuroacoustic interventions by showing how targeted auditory stimulation affects EEG biomarkers of power and coherence, resulting in observable behavioural changes. The study results demonstrate their potential to create real-world applications which extend beyond basic neuroscience research. If frequency-specific binaural beats can reliably enhance cognitive domains in healthy individuals and restore oscillatory balance in clinical populations, they may emerge as a practical, accessible, and side-effect-free tool for cognitive enhancement and neurorehabilitation. The current research will establish effective frequency-based neuromodulation treatments for mild cognitive impairment and ADHD and depression and anxiety disorders and age-related cognitive decline. Researchers can develop personalised treatment methods for mild cognitive impairment, ADHD, depression, anxiety disorders, and age-related cognitive decline by using this research as a foundation. The auditory system of humans can use binaural brain entrainment as a non-invasive method to produce substantial impacts on brain network activities and synaptic plasticity and cognitive functions.

5. REFERENCES

1. Oster G. Auditory beats in the brain. Sci Am. 1973; 229(4): 94-103.
2. Buzsáki G, Draguhn A. Neuronal oscillations in cortical networks. Science. 2004; 304(5679): 1926-1929. DOI: 10.1126/science.1099745
3. Fries P. A mechanism for cognitive dynamics: neuronal communication through neuronal coherence. Trends Cogn Sci. 2005; 9(10): 474-80. DOI:10.1016/j.tics.2005.08.011
4. Herrmann CS, Fründ I, Lenz D. Human gamma-band activity: a review on cognitive and behavioral correlates and network models. Neurosci Biobehav Rev. 2010; 34(7): 981-992.DOI: 10.1016/j.neubiorev.2009.09.001

5. Lisman JE, Jensen O. The theta-gamma neural code. Neuron. 2013; 77(6): 1002-16. DOI: 10.1016/j.neuron.2013.03.007
6. Caporale N, Dan Y. Spike timing-dependent plasticity: a Hebbian learning rule. Annu Rev Neurosci. 2008; 31(1): 25-46. DOI: 10.1146/annurev.neuro.31.060407.125639
7. Buzsáki G. Rhythms of the Brain. Oxford University Press; 2006. Inc. 198 Madison Avenue, New York, New York 10016 ISBN-13 978-0-19-530106-9
8. Chaieb L, Wilpert EC, Reber TP, Fell J. Auditory beat stimulation and its effects on cognition and mood. Front Psychiatry. 2015; 6:70. DOI: 10.3389/fpsyt.2015.00070
9. Thut G, Schyns PG, Gross J. Entrainment of perceptually relevant brain oscillations by non-invasive rhythmic stimulation of the human brain. Front Psychol. 2011; 2: 170. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00170
10. Notbohm A, Kurths J, Herrmann CS. Modification of brain oscillations via rhythmic acoustic stimulation. Front Hum Neurosci. 2016; 10: 451. DOI: 10.3389/fnhum.2016.00010
11. Cavanagh JF, Frank MJ. Frontal theta as a mechanism for cognitive control. Trends Cogn Sci. 2014; 18(8): 414-21. DOI: 10.1016/j.tics.2014.04.012.
12. Jirakittayakorn N, Wongsawat Y. Brain responses to 40-Hz binaural beat and effects on memory. Inter J Psychophysiol. 2017; 120: 96-107. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2017.07.010
13. Jensen O, Mazaheri A. Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity. Front Hum Neurosci. 2010; 4: 186. DOI: 10.3389/fnhum.2010.00186
14. Clayton MS, Yeung N, Cohen Kadosh R. The many characters of visual alpha oscillations. Eur J Neurosci. 2018; 48(7): 2498-2508. DOI: 10.1111/ejn.13747
15. Colzato LS, Barone H, Sellaro R, Hommel B. More attentional focusing through binaural beats: Evidence from the global-local task. Psychol Res. 2017; 81(1): 271-277. DOI: 10.1007/s00426-015-0727-0
16. Ross B, Lopez MD. 40-Hz binaural beats enhance gamma activity in the frontal and temporal cortices. Sci Rep. 2020; 10(1): 7002. DOI: 10.1038/s41598-020-63980-y
17. Garcia-Argibay M, Santed MA, Reales JM. Efficacy of binaural auditory beats in cognition, anxiety, and pain perception: A meta-analysis. Psychol Res. 2019; 83(2): 357-72. DOI: 10.1007/s00426-018-1066-8
18. Basu S, Banerjee B. Potential of binaural beats intervention for improving memory and attention: insights from meta-analysis and systematic review. Psycholog Res. 2023; 87(4): 951-963. DOI: 10.1007/s00426-022-01706-7
19. Rahmani M, Lauro LJR, Pisoni A. Audio-Visual Entrainment Neuromodulation: A Review of Technical and Functional Aspects. Brain Sci. 2025; 15(10):1070. DOI: 10.3390/brainsci15101070
20. Iaccarino HF, Singer AC, Martorell AJ, et al. Gamma frequency entrainment attenuates amyloid load and modifies microglia. Nature. 2016; 540(7632): 230-235. DOI: :10.1038/nature20587
21. Latchoumane CVF, Ngo HVV, Born J, Shin HS. Thalamic spindles promote memory formation during sleep through triple phase-locking of cortical, thalamic, and hippocampal rhythms. Neuron. 2017; 95(2): 424-435. DOI: 10.1016/j.neuron.2017.06.025
22. Fries P. Rhythms for cognition: Communication through coherence. Neuron. 2015; 88(1): 220-35. DOI: 10.1016/j.neuron.2015.09.034
23. Jasper HH. The ten-twenty electrode system of the International Federation. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1958; 10: 371-375.
24. Delorme A, Makeig S. EEGLAB: an open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics. J Neurosci Methods. 2004; 134(1): 9-21. DOI: 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009
25. Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. Behav Res Methods. 2007; 39(2): 175-91.
26. Suvrathan, A. Beyond STDP—towards diverse and functionally relevant plasticity rules. Curr opin neurobiol. 2019; 54: 12-19. DOI: 10.1016/j.conb.2018.06.011

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

RESONANT BRAIN: FREQUENCY-BASED MODULATION OF LEARNING AND CORTICAL PLASTICITY

Ebru BARDAŞ ÖZKAN
Erzincan Binali Yıldırım University, Faculty of Medicine, Department of Physiology, Erzincan, TURKEY
Corresponding Author: drebrubardas@gmail.com

SUMMARY

Neuronal networks demonstrate dynamic oscillatory activity which affects both learning and memory formation processes. The cortical and hippocampal circuits produce three rhythmic patterns, which include theta (4-8 Hz) and alpha (8-12 Hz) and gamma (30-80 Hz) oscillations, which function as essential mechanisms for synaptic plasticity and information encoding and network synchronisation. The latest neurophysiology findings reveal that external rhythmic stimulation can modify intrinsic oscillations, which in turn affect cognitive functions. The research study investigates the concept of the "resonant brain". It presents the idea that targeted frequency-based stimulation can establish neural oscillation patterns which enhance learning-related cortical plasticity. The theoretical framework unites electrophysiology findings with cognitive neuroscience results and neuroplasticity studies to investigate how external frequency inputs from acoustic, photonic, and electromagnetic stimulation can synchronise neuronal populations that encode and consolidate memories. The study focuses on how hippocampal theta rhythms interact with cortical gamma oscillations, which help establish long-term potentiation (LTP) and support synaptic strengthening during different learning activities. The phase synchronisation of neural assemblies via frequency entrainment helps establish this interaction, which enhances information transfer across different cortical networks. The research demonstrates how resonance-based neural control mechanisms work by presenting their neurophysiological basis which researchers studied through their various experimental methods that combined electroencephalographic monitoring of brainwave patterns during learning activities with controlled rhythmic stimulation experiments. The study demonstrates how frequency entrainment impacts cognitive abilities and neural plasticity through its effects on brain functioning. The research study shows how external rhythmic stimulation affects intrinsic brain oscillations, which leads to new non-invasive neuromodulation strategies that improve cognitive abilities. Neural networks – their activity can be controlled through frequency-based modulation, which shows promise for developing therapies that treat conditions with reduced plasticity and cognitive impairment. The emerging perspective establishes neural resonance as a crucial element which controls learning processes and cortical adaptability.

Key words: Neural oscillations; Frequency entrainment; Cortical plasticity Learning and memory; Theta–gamma coupling Synaptic plasticity; Long-term potentiation (LTP); neuromodulation Cognitive enhancement.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. INTRODUCTION

Learning is not just gathering information; it is a neurophysiological process that happens over time and is controlled by very precise patterns of neuronal activity. Converging evidence from systems neuroscience suggests that oscillatory brain activity serves as a fundamental mechanism for information encoding, synaptic plasticity, and large-scale network communication [1–3]. Instead of being secondary effects of neural firing, oscillations create the time structure that controls spike timing, synaptic gain, and the coordination of distributed neuronal assemblies.

Theta (4–8 Hz), alpha (8–12 Hz), and gamma (30–80 Hz) frequencies are among the most important oscillatory rhythms in the mammalian brain, crucial for cognitive processing. Theta oscillations produced in the hippocampus have been consistently linked to memory encoding and retrieval [4, 5]. These oscillations help separate neuronal firing into different time periods, which allows for phase-specific synaptic changes and supports long-term potentiation (LTP) [6]. At the same time, gamma oscillations in the neocortex help local circuit integration and feature binding by using fast-spiking inhibitory interneuron networks [7, 8].

Cognitive efficiency is contingent upon the coordinated interaction of frequency bands rather than their isolation. Cross-frequency coupling, particularly theta–gamma phase-amplitude coupling, has become a crucial mechanism through which the brain synthesises local processing with long-range communication [9, 10]. Gamma bursts are temporally nested within specific phases of the theta cycle during learning tasks, creating a structured coding scheme that facilitates spike-timing-dependent plasticity (STDP) and memory consolidation [11, 12].

Recent progress in non-invasive neuromodulation indicates that endogenous oscillatory dynamics can be modulated by externally applied rhythmic stimulation. Auditory and visual rhythmic paradigms, along with electrical stimulation methods like Transcranial Alternating Current Stimulation (tACS), have demonstrated the ability to entrain intrinsic neural rhythms via phase alignment mechanisms [13–15]. Despite the growing documentation of frequency entrainment effects, a cohesive mechanistic framework elucidating how externally imposed rhythms augment learning-related plasticity is still inadequately defined.

This study presents the notion of the “Resonant Brain,” suggesting that frequency-specific stimulation improves learning efficiency by selectively enhancing theta–gamma coupling within hippocampo-cortical circuits. We contend that neural resonance embodies a physiologically founded modulatory principle that can affect spike timing accuracy, effective

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

connectivity, and the likelihood of long-term potentiation (LTP) induction. To connect theory and practice, we also describe an EEG-based pilot study that aims to see if theta-frequency entrainment improves cross-frequency coupling and memory performance.

2. The Neurophysiological Foundation of Theta–Gamma Coupling and Plasticity

2.1 Theta Oscillations as a Temporal Framework for Plasticity

Theta oscillations (4–8 Hz) represent one of the most resilient and evolutionarily preserved rhythms linked to learning and memory. Theta activity in the hippocampus arises from the interplay of intrinsic membrane characteristics, recurrent excitatory circuits, and rhythmic input from the medial septum [16, 17]. The septo-hippocampal loop modulates cholinergic and GABAergic activity, which keeps theta periodicity stable and controls phase timing.

Theta oscillations separate neuronal firing into separate time windows. The study establishes that synaptic strength changes following different time intervals between pre- and postsynaptic spikes for spike-timing-dependent plasticity (STDP), which requires this particular time patterning [6, 8]. The experimental findings show that theta frequency stimulation leads to long-term potentiation (LTP) in hippocampal slices, which supports the hypothesis that tarhythms create optimal timing conditions for synaptic changes to occur.

Hippocampal place cells also exhibit phase precession, wherein action potentials consistently shift throughout the theta cycle during spatial navigation [19]. This phenomenon illustrates that the theta phase encodes sequential information and enables the temporal compression of experience, a mechanism directly relevant to learning efficiency.

2.2 Gamma Oscillations and Local Circuit Computation

Gamma oscillations (30–80 Hz) emerge through the reciprocal interactions between pyramidal neurones and fast-spiking parvalbumin-positive interneurones according to research findings [7, 20]. The oscillations function at high frequencies to create precise time intervals which doctors use to bind features and complete sensory integration and process local information. The synchronisation of gamma waves enhances the cortical microcircuit's usable links between different neuronal groups through its effect on their excitability window synchronisation [2]. The temporal alignment process increases the chances that synaptic inputs, which meet at the same time, will combine successfully to produce effects on synaptic strength and transmission reliability. Gamma activity itself does not establish stable long-range

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

coordination because it needs additional elements to complete this process. The distributed networks require the presence of slower carrier rhythms to synchronise their gamma bursts through theta rhythm organisation.

2.3 Theta–Gamma Phase-Amplitude Coupling

The theta-gamma phase-amplitude coupling (PAC) functions as a cross-frequency coupling (CFC) method which controls gamma oscillation amplitude through theta cycle phase. The system enables gamma cycles which occur during theta cycles to transmit different types of information through its temporal coding system. Research findings show that theta-gamma coupling rises during memory encoding periods and during times of increased working memory demands. Disrupting this coupling leads to a decline in memory performance, demonstrating the direct impact of oscillatory coordination on people's cognitive abilities. Theta-gamma coupling enhances spike timing accuracy through its effects on plasticity mechanisms. Gamma bursts occurring at specific theta phases connect presynaptic and postsynaptic activity during STDP timeframes, thereby increasing the chances of LTP induction. Computer models show that cross-frequency synchronisation increases both the information capacity and networking stability of systems [23].

Theta-gamma interaction establishes a two-way connection which functions as a bridge that connects two domains. The global temporal structure of the system derives from theta signals which operate as the primary time reference. The system uses gamma signals to create precise computational capacities which operate at a local level. The rhythms of these hippocampo-cortical circuits work together to create an effective learning process.

2.4 Oscillatory Coordination Across Hippocampo-Cortical Networks

Memory encoding and consolidation require the hippocampus to communicate with multiple cortical areas, including the neocortex, through its specialised communication network [24]. The hippocampus and prefrontal cortex show increased theta coherence during active learning, which enhances their ability to transfer and integrate information [25].

The observed large-scale synchronisation patterns indicate that oscillations function as temporal gating mechanisms, which determine the timing and manner of neuronal assembly interactions. The coordination between these systems depends on the state of the system and requires specific levels of attention and arousal and particular patterns of neuromodulatory activity for its functioning.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

The existing evidence shows that oscillatory dynamics serve as essential regulators for learning processes because they control synaptic plasticity and network communication. The field has established endogenous oscillatory coordination through extensive research, yet researchers have not yet determined its maximum potential for external modulation to improve plasticity.

The gaps in knowledge about the topic create a theoretical framework that supports the development of the Resonant Brain model in the following section.

3. The Resonant Brain Model: A Frequency-Based Framework for Learning Modulation

The Resonant Brain model shows that using external frequency-specific stimulation methods can control specific brain rhythms to improve the brain's ability to develop new connections through learning. The model combines established neuroscientific principles about theta–gamma coupling and spike-timing-dependent plasticity (STDP) and network synchronisation with the new concept of neural resonance. Researchers believe that external rhythmic auditory, photic and electrical tACS signals will create phase alignment for endogenous oscillations in hippocampo-cortical networks, as shown in figure 1, [16-25]. Phase alignment increases the ability to combine gamma bursts with theta cycles, which improves PAC and STDP windows because it controls the timing of pre- and postsynaptic spikes [11, 23]. This process increases the probability that long-term potentiation (LTP) will occur while maintaining synaptic changes that support learning.

The model predicts that:

1. The model predicts that specific input frequencies will boost the power of designated rhythmic patterns in the brain (for instance, theta stimulation increases theta rhythm amplitude).
2. Phase alignment improves the connection between theta and gamma rhythms by establishing a precise time structure for neural information processing.
3. Improved spike-timing precision leads to stronger connections between hippocampal and cortical neuronal groups.
4. The preferred timing of LTP facilitation during learning periods leads to better memory formation and retention.

The framework demonstrates that resonance functions as a mechanistic relationship because external frequencies can control network synchronisation and synaptic plasticity through specific frequency settings, which leads to active modulation instead of passive,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

rhythm-based control. The model demonstrates how people can use frequency-based interventions to change their learning efficiency, which in turn provides a scientific explanation of the process.

The Resonant Brain model also generates testable predictions. Specifically, EEG-based measures of theta–gamma PAC should increase following frequency-specific stimulation, accompanied by improvements in behavioural learning performance. The proposed pilot experimental paradigm (Figure 2) is designed to evaluate these predictions, allowing direct translation of the theoretical framework into empirical investigation. As illustrated in Figure 1, the model links external rhythmic stimulation to phase alignment, cross-frequency coupling, spike-timing precision, and synaptic potentiation. This hierarchical cascade offers a mechanistic foundation for non-invasive neuromodulation techniques designed to improve cognitive performance in healthy adults and possibly in clinical populations exhibiting compromised plasticity [13–15, 26].

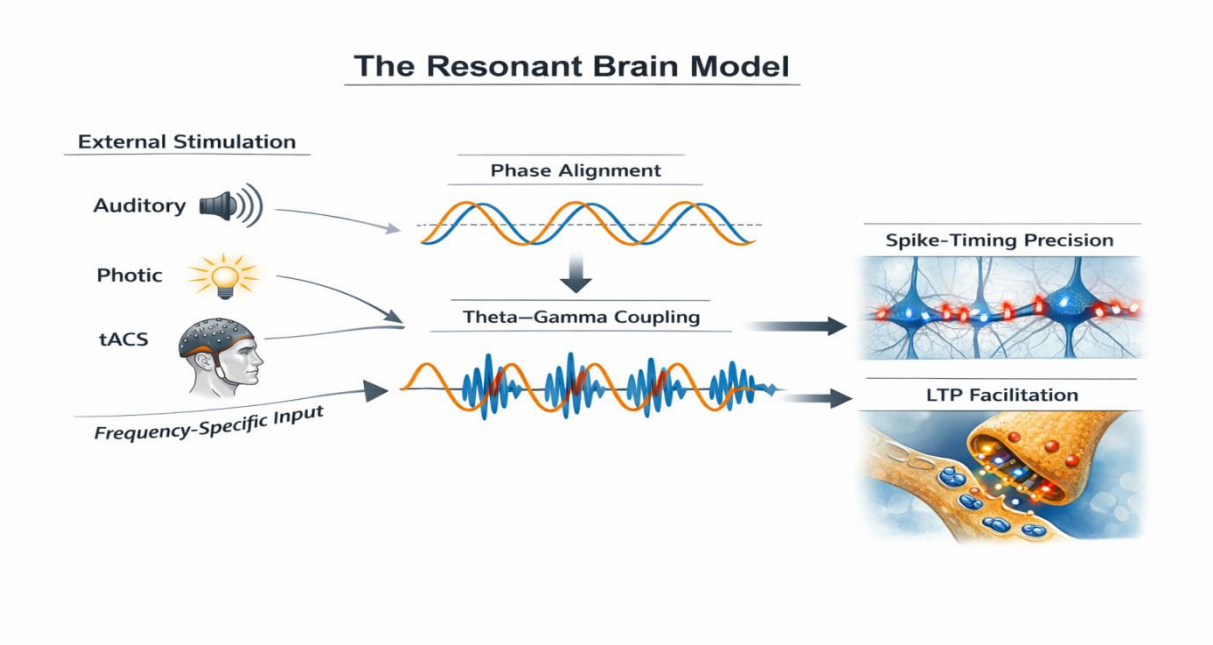


Figure 1. The Resonant Brain Model.
The diagram shows how different types of external stimuli (auditory, photic, or electrical) produce specific phase-alignment effects on endogenous oscillations in the brain, resulting in enhanced theta-gamma phase-amplitude coupling, improved spike-timing accuracy, and supporting the process of long-term potentiation (LTP) development. The model demonstrates how neural entrainment leads to cortical plasticity changes through a series of mechanistic processes that connect the two phenomena.

Abbreviations: tACS, transcranial alternating current stimulation; PAC, phase-amplitude coupling; LTP, long-term potentiation.

4. Mechanisms of Frequency Entrainment

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

4.1 Principles of Neural Resonance

Neural networks work as forced oscillators which change their internal oscillation patterns by responding to external rhythmic signals [30, 31]. The application of frequency-specific stimulation leads to phase locking, which synchronises endogenous neural activity with external rhythmic patterns. The alignment establishes optimal timing between hippocampo-cortical circuits, which enables theta-gamma phase-amplitude coupling (PAC) to create cross-frequency coupling (CFC), which supports spike-timing-dependent plasticity (STDP) [9, 11, 23]. Neurones exhibit resonance properties which lead them to respond preferentially to inputs at certain frequencies. When external stimulation matches a network's resonant frequency, the system's oscillatory amplitude and phase coherence improve. This leads to a higher synaptic gain and a better chance of LTP induction [32]. The resonance-based mechanism explains how rhythmic entrainment affects learning-related plasticity through its connections to physiological processes.

4.2.External Stimulation Modalities

The following three non-invasive methods demonstrate their capacity to change brain wave patterns through their ability to establish synchronised brain states:

- Periodic sound pulses used in auditory rhythmic stimulation can assist humans in synchronising their hippocampal theta activity, which results in better memory coding [13, 33].
- Photic stimulation delivers light pulses at specific frequencies, which establish synchronised cortical rhythms that particularly affect gamma activity in visual and associative cortical areas [14, 34].
- Transcranial alternating current stimulation (tACS) uses scalp electrodes to apply low-intensity electrical currents which enable control over both cortical and subcortical brain rhythms while boosting phase alignment and PAC [15, 27, 35].

The different oscillatory networks receive separate treatment by each method, yet all methods proceed to improve theta–gamma coupling through their shared mechanism, which enhances phase alignment.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

4.3 Phase Alignment and Cross-Frequency Coupling

The system uses frequency-specific entrainment to create theta-gamma nesting by changing the timing of internal brain wave patterns. Gamma bursts occur during specific theta cycle phases because they enable STDP window synchronisation for pre- and postsynaptic activities [11, 23]. The base level of coordination results in better timing accuracy for spikes, which helps maintain synaptic modifications while increasing LTP induction rates.

The mechanistic function of entrainment enables two distinct processes to operate simultaneously:

• Local circuit synchronisation: Gamma oscillations coordinate pyramidal-interneuron networks within cortical microcircuits.

• Long-range network integration: Theta oscillations provide a temporal scaffold for hippocampo-cortical communication, facilitating information transfer across distributed networks [24, 25, 30].

The external rhythmic stimulation process demonstrates its ability to improve cortical plasticity through these mechanisms, which establish a direct relationship between the resonant brain model and detectable neurophysiological effects.

4.4 Translational Implications

The mechanistic insights of frequency entrainment suggest multiple applications:

- Targeted theta–gamma entrainment shows potential to enhance learning efficiency for brain function improvement in healthy individuals [13–15, 26].
- The development of non-invasive treatment methods will help patients with plasticity disorders associated with conditions such as Alzheimer's disease, neurodevelopmental disorders, and age-related cognitive decline [26, 29, 36].
- Closed-loop neuromodulation: a real-time adjustment of stimulation based on ongoing EEG would enhance PAC and synaptic potentiation through its ability to control brain activity [37].

5. EEG-Based Pilot Paradigm for Testing the Resonant Brain Hypothesi

5.1 Rationale

The Resonant Brain model predicts that frequency-specific external stimulation enhances learning-dependent cortical plasticity through its effects on theta–gamma phase-amplitude coupling (PAC) optimisation. We developed an EEG-based pilot paradigm to test our prediction, which assesses whether theta-frequency entrainment increases PAC and improves

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

behavioural memory performance [13–15, 26, 27]. The pilot paradigm connects theoretical research with practical application by offering a testable framework to evaluate the model.

5.2 Participants

Healthy adults aged 20–35

• No neurological or psychiatric or sensory impairments exist in this group

• Participants need to have either normal vision and hearing or corrected vision and hearing abilities

The study needs 20 to 30 participants who will take part in a within-subject crossover design at a pilot scale, according to the study [28].

5.3 Experimental Design

The research used a crossover design, which tested three different stimulation methods on participants as its experimental design. The three stimulation conditions include:

1. Theta-frequency stimulation (6 Hz)
2. Sham stimulation
3. Gamma-frequency stimulation (40 Hz)

Researchers used three different stimulation methods, which included the following:

• Auditory rhythmic stimulation

• Photic stimulation

• Transcranial alternating current stimulation (tACS)

The study used the theta condition to test hippocampo-cortical theta oscillation control while gamma stimulation functioned as a specific frequency control and the sham condition established the baseline. The experimental process of the study is presented in Figure 2, which shows its main steps.

5.4 Learning Task

Participants complete a hippocampus-dependent associative memory task, such as:

- Paired-associate word learning
- Visuospatial memory encoding

The researchers collected behavioural data using these two methods:

- Immediate and delayed recall accuracy
- Reaction time during encoding and retrieval
- The learning curve showed different slopes across the various trials.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

5.5 EEG Recording and Analysis

The 32-channel system records EEG signals through its recording equipment.

• Regions of interest (ROIs):

- Frontal midline electrodes → serve as a hippocampal theta measurement tool
- Parietal-temporal electrodes → detect gamma brainwave activity

The signal processing pipeline consists of these steps:

- Theta and gamma signals undergo band-pass filtering.
- The system performs artefact rejection through the ICA process.
- The system calculates the spectral power of signals.
- The system performs phase-amplitude coupling analysis through methods [21, 22, 27].

The main electrophysiological measurement shows that the theta-gamma PAC level rises during the theta stimulation condition when compared to the sham condition.

5.6 Predicted Results

If the resonant brain hypothesis is valid:

- The application of theta stimulation will result in increased theta power, which will simultaneously enhance theta–gamma coupling and lead to better memory performance.
- Gamma-only stimulation may increase local gamma power but will not significantly improve memory unless coupled with theta.
- The sham condition functions as a baseline which researchers use to measure the effects of entrainment on their study participants.

5.7 Mechanistic Interpretation

The model predicts that frequency-specific entrainment:

- Improves spike-timing accuracy for all hippocampo-cortical pathways
- The mechanism enhances LTP induction through better PAC performance.
- The system increases synaptic strength through its modulation of effective connectivity.

The expected outcomes will exhibit state-dependent behaviour which reaches its peak during active encoding periods.

5.8 Translational Outlook

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Validation results should provide guidance for three areas of research:

- Cognitive enhancement strategies in healthy adults
- Non-invasive interventions for patients with impaired plasticity, e.g., aging or Alzheimer's disease [26, 29]
- Closed-loop neuromodulation paradigms for precision cognitive therapy

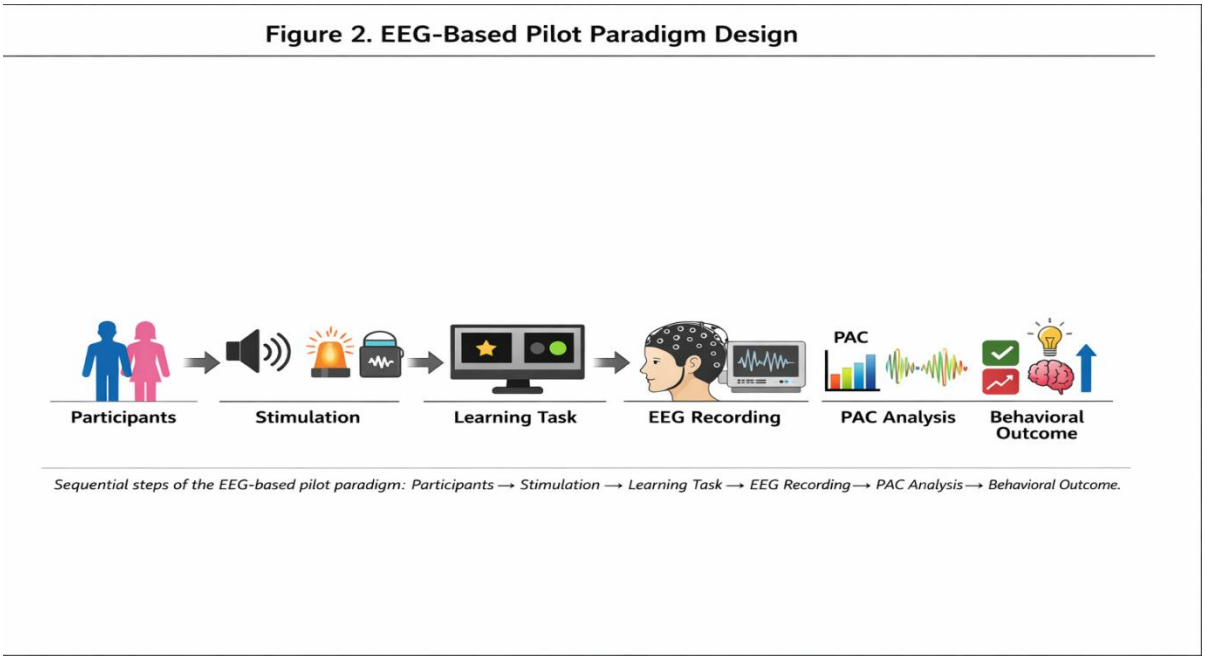


Figure 2. EEG-Based Pilot Paradigm Design. The experimental procedure for this study begins with healthy participants receiving their assigned frequency-specific stimulation treatment, which includes theta and gamma and sham stimulation, followed by their participation in a hippocampus-dependent learning task. During the task, EEG recording captures brain activity while researchers use phase-amplitude coupling analysis to measure theta-gamma brain interactions. The study tests the Resonant Brain hypothesis by comparing behavioural results with electrophysiological data.

Abbreviations: EEG, electroencephalography; PAC, phase-amplitude coupling.

5. DISCUSSION

The current framework combines theoretical knowledge and empirical research findings from systems neuroscience, synaptic physiology, and neuromodulation studies to use the Resonant Brain model as a mechanistic explanation for how frequency variations affect learning processes and cortical plasticity [1-3]. Our research shows that brain rhythms, especially theta and gamma, function as active mechanisms that control how information is encoded, how different brain electrical activities interact, and how synapses undergo plastic changes [4, 5, 7, 8]. The model presents a unified hierarchical mechanism that explains how rhythmic stimulation from external sources enhances internal theta-gamma phase-amplitude coupling

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

(PAC), improves spike-timing accuracy, and supports LTP in hippocampo-cortical networks [9–11, 23–25].

The EEG-based pilot paradigm shown in Figure 2 serves as an essential translational link that connects theoretical concepts with practical experimental work [13–15]. The researchers created a testing system which uses a within-subject crossover design [28] to measure how different frequency-specific entrainment patterns affect theta–gamma PAC during memory tasks that require hippocampus function [21, 22]. The integrative method develops essential research because it creates a complete scientific framework which shows how external rhythmic inputs lead to improvements in cognitive performance and synaptic activity [30, 31]. The model requires validation to prove that non-invasive neuromodulation can be used to actively promote cortical plasticity development [26, 29, 36].

Mechanistic Implications

The Resonant Brain model highlights several core neurophysiological processes:

- Rhythmic stimulation creates phase alignment, which enables widespread neuronal groups to sync their activities across both hippocampal and neocortical brain areas to create time periods for processing information [13–15, 30, 31].
- The theta-gamma phase-amplitude coupling shows improvements that enhance temporal coding through its capacity to nest high-frequency gamma bursts within specific phases of the theta cycle, thereby creating ideal conditions for STDP development [9, 10, 11, 23].
- The cellular mechanism that supports LTP facilitation serves as the primary biological basis for enhanced memory encoding and consolidation processes that convert brief experiences into permanent synaptic changes [6, 11, 18] .
- The combined mechanisms demonstrate how external rhythmic cues, which require precise temporal coordination throughout different time scales, lead to increased neuroplastic capacity [1–3, 24, 25].

Translational Relevance

The framework provides practical benefits, which create significant value. Non-invasive neuromodulation techniques—which use auditory and photic and tACS—enable scientists to create precise instruments that enhance cognitive abilities in healthy adults through controlled brainwave pattern treatment [13–15, 26]. The model displays potential as a treatment option for patients who struggle with plasticity issues, including older adults and patients who have

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Alzheimer's disease and mild cognitive impairment and neurodevelopmental disorders such as ADHD [26, 29, 36]. The system benefits from closed-loop stimulation systems, which increase resonance effects through their capacity to dynamically change stimulation parameters based on ongoing EEG activity [37]. The adaptive paradigms will create personalised entrainment programs that match the current state of each individual, bringing about therapeutic benefits while preventing unnecessary brain stimulation.

Limitations and Future Directions

The Resonant Brain model shows promise but needs to be further examined in light of its existing limitations [13–15]. The individual differences in endogenous oscillatory frequencies and peak powers and coupling dynamics between people require personalised stimulation protocols to enhance entrainment efficiency [26, 31]. The system needs to conduct parametric studies to identify the optimal stimulation parameters, which include intensity and exact frequency and duration and learning timing [13–15, 32]. Scalp EEG provides a non-invasive method to measure cortical PAC, yet it lacks the ability to identify deep subcortical brain activity, especially true hippocampal activity [21, 22]. Future studies need to include complementary techniques, which include magnetoencephalography (MEG) and high-density EEG and intracranial recordings when those methods become available [1–3]. The study needs to establish all model elements through multimodal research, which combines behavioural assessments with electrophysiological data, computational models of oscillatory networks, and memory retention assessments over time [23, 30]. The scientific investigation needs to build evidence for the resonant brain concept through comprehensive studies which will transform it into an established scientific basis for cognitive neuromodulation [26, 29, 36].

6. CONCLUSION

The Resonant Brain model demonstrates that specific external stimulation through particular frequencies improves learning-dependent cortical plasticity because it drives phase alignment and enhances theta-gamma cross-frequency coupling in hippocampo-cortical networks [9, 10, 13–15]. The system demonstrates how auditory, photic, or electrical rhythmic inputs enhance spike timing accuracy, synaptic strength, and long-term potentiation through its mechanistic framework [6, 11, 23]. The model combines essential concepts from electrophysiology and systems neuroscience and cognitive psychology and synaptic plasticity research to establish how brain resonant modulation improves learning and memory functions through tested causal pathways [1–5, 7, 8]. Neural oscillations function as active elements

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

which scientists can manipulate to control information processing and neuroplasticity development instead of existing as static background brain functions [30, 31]. The EEG-based pilot paradigm provides researchers with an effective experimental method to validate their hypotheses through practical evaluation [13–15, 26, 28]. The paradigm establishes a direct connection between theoretical models and measurable results through its analysis of electrophysiological outcomes and hippocampus-dependent memory tasks, which involve theta-gamma phase-amplitude coupling [21, 22].

The combination of the Resonant Brain model and its experimental framework creates a new scientifically based hypothesis that has the potential to drive practical applications [26, 29]. The approach provides a foundation for developing targeted non-invasive neuromodulation methods, which can enhance cognitive function in healthy people and treat patients with neuroplasticity problems, including elderly people and those with Alzheimer's disease and neurodevelopmental disorders [26, 29, 36, 37]. The research establishes the Resonant Brain as a neurophysiological principle that scientists can control. The research enhances our knowledge about cortical plasticity while creating new possibilities for precise neuromodulation applications in scientific research and medical treatment [1–3, 24, 25] .

8. REFERENCES

1. Buzsáki G, Draguhn A. Neuronal oscillations in cortical networks. Sci. 2004;304(5679):1926–1929. DOI: 10.1126/science.1099745
2. Fries P. A mechanism for cognitive dynamics: neuronal communication through neuronal coherence. Trends Cogn Sci. 2005;9:474–480. DOI: 10.1016/j.tics.2005.08.011
3. Siegel M, Donner TH, Engel AK. Spectral fingerprints of large-scale neuronal interactions. Nat Rev Neurosci. 2012;13**(2)**:121–134. DOI: 10.1038/nrn3137
4. Buzsáki G. Theta oscillations in the hippocampus. Neuron. 2002;33:325–340.
5. Colgin LL. Rhythms of the hippocampal network. Nat Rev Neurosci. 2016;17:239–249. DOI: 10.1038/nrn.2016.21
6. Larson J, Wong D, Lynch G. Patterned stimulation at the theta frequency is optimal for the induction of hippocampal long-term potentiation. Brain Res. 1986;368(2):347–350.
7. Cardin JA Carlén M, Meletis K, Knoblich U, Zhang F, et al. Driving fast-spiking cells induces gamma rhythm and controls sensory responses. Nature. 2009;459(7247):663–667. DOI: 10.1038/nature08002
8. Buzsáki G, Wang XJ. Mechanisms of gamma oscillations. Annu Rev Neurosci. 2012;35:203–225. DOI: 10.1146/annurev-neuro-062111-150444.
9. Canolty RT, Knight RT. The functional role of cross-frequency coupling. Trends Cogn Sci. 2010;14(11):506–515. DOI: 10.1016/j.tics.2010.09.001.
10. Lisman JE, Jensen O. The theta-gamma neural code. Neuron. 2013;77(6):1002–1016. DOI: 10.1016/j.neuron.2013.03.007
11. Bi GQ, Poo MM. Synaptic modifications in cultured hippocampal neurons: dependence on spike timing. J Neurosci. 1998;18(24):10464–10472.
12. Tort ABL Kramer MA, Thorn C, Gibson DJ, Kubota Y, Graybiel AM, Kopell NJ. Dynamic cross-frequency couplings of local field potential oscillations in rat hippocampus during a T-maze task. Proc Natl Acad Sci USA. 2009;106:20942–20947. DOI: 10.1073pnas.0810524105
13. Herrmann CS, Rach S, Neuling T, Strüber D. Transcranial alternating current stimulation: a review of the underlying mechanisms. Front Hum Neurosci. 2013;7:279. DOI: 10.3389/fnhum.2013.00279
14. Thut G, Schyns PG, Gross J. Entrainment of perceptually relevant brain oscillations by non-invasive rhythmic stimulation. Front Psychol. 2011;2:170. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00170

15. Helfrich RF, Schneider TR, Rach S, Trautmann-Lengsfeld SA, Engel AK, Herrmann CS. Entrainment of brain oscillations by transcranial alternating current stimulation. Curr Biol. 2014; 24(3): 333-339. DOI: 10.1016/j.neuron.2017.06.025
16. Vertes RP, Kocsis B. Brainstem-diencephalo-septohippocampal systems controlling hippocampal theta activity. Neurosci. 1997;81(4):893–926. PII: S0306-4522(97)00239-X
17. Hangya B, Borhegyi Z, Szilágyi N, Freund TF, Varga V. GABAergic neurons of the medial septum lead the hippocampal network during theta activity. J Neurosci. 2009; 29(25): 8094–8102. DOI: DOI:10.1523/JNEUROSCI.5665-08.2009
18. Huerta PT, Lisman JE. Heightened synaptic plasticity of hippocampal CA1 neurons during a cholinergically induced rhythmic state. Nature. 1993; 364(6439): 723–725.
19. O'Keefe J, Recce ML. Phase relationship between hippocampal place units and the EEG theta rhythm. Hippocampus. 1993; 3(3): 317–330.
20. Sohal VS, Zhang F, Yizhar O, Deisseroth K. Parvalbumin neurons and gamma rhythms enhance cortical circuit performance. Nature. 2009; 459(7247): 698–702. DOI: 10.1038/nature07991
21. Axmacher N, Henseler MM, Jensen O, Weinreich I, Elger, CE, Fell J.Cross-frequency coupling supports multi-item working memory in the human hippocampus. Proc Natl Acad Sci USA. 2010; 107: 3228–3233. DOI: 10.1073/pnas.0911531107
22. Tort AB, Komorowski RW, Manns JR, Kopell NJ, Eichenbaum H. Theta–gamma coupling increases during the learning of item–context associations. Proc Natl Acad Sci USA. 2009;106(49):20942–20947.
23. Jensen O, Colgin LL. Cross-frequency coupling between neuronal oscillations. Trends Cogn Sci. 2007;11(7):267–269. DOI: 10.1016/j.tics.2007.05.003
24. Sirota A, Buzsáki G. Interaction between neocortical and hippocampal networks via slow oscillations. Thalamus Relat Syst. 2005;3(4):245–259. DOI: 10.1017/S1472928807000258
25. Siapas AG, Lubenov EV, Wilson MA. Prefrontal phase locking to hippocampal theta oscillations. Neuron. 2005;46(1):141–151. DOI: 10.1016/j.neuron.2005.02.028
26. Sanches C, Stengel C, Godard J, Mertz J, Teichmann M, Migliaccio R, Valero-Cabré A. Past, present, and future of non-invasive brain stimulation approaches to treat cognitive impairment in neurodegenerative diseases: time for a comprehensive critical review. Front Aging Neurosci 2021; 12: 578339. DOI: 10.3389/fnagi.2020.578339
27. Borghi I. From Alzheimer's neurophysiological biomarkers to novel non-invasive brain stimulation protocol for memory enhancement. 2024.
28. Reinhart RM, Nguyen JA. Working memory revived in older adults by synchronizing rhythmic brain circuits. Nature Neurosci. (2019): 22(5);820-827. DOI: 10.1038/s41593-019-0371-x
30. Pikovsky A, Rosenblum M, Kurths J. Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Sciences. Cambridge University Press; 2003.
31. Lakatos P, Gross J, Thut G. A new unifying account of neuronal entrainment. *Curr Biol*. 2019;29:R890–R905. DOI: 10.1016/j.cub.2019.07.075
32. Hutcheon B, Yarom Y. Resonance, oscillation and the intrinsic frequency preferences of neurons. Trends Neurosci. 2000; 23(5): 216–222. DOI: 10.1016/S0166-2236(00)01547-2
33. Thut G, Veniero D, Romei V, Miniussi C, Schyns P, Gross J. Rhythmic TMS causes local entrainment of natural oscillatory signatures. Curr Biol. 2011; 21(14): 1176-1185.
34. Herrmann CS et al. EEG oscillations: rhythmic brain stimulation and cognitive modulation. *Front Hum Neurosci*. 2016;10:117. DOI 10.1016/j.cub.2011.05.049
35. Vosskuhl J, Strüber D, Herrmann CS. Non-invasive brain stimulation: a paradigm shift in understanding brain oscillations. Front Human Neurosci. 2018; 12: 211. DOI: 10.3389/fnhum.2018.00211
36. Reinhart RMG, Nguyen JA. Working memory revived in older adults by synchronizing rhythmic brain circuits. *Nat Neurosci*. 2019;22(5):820–827. DOI: 10.1038/s41593-019-0371-x
37. Lustenberger C, Boyle MR, Alagapan S, Mellin JM, Vaughn BV, Fröhlich F. Feedback-controlled transcranial alternating current stimulation reveals a functional role of sleep spindles in motor memory consolidation. Curr Biol. 2016; 26(16): 2127–2136. DOI: 10.1016/j.cub.2016.06.044

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN RHEUMATOLOGY

EBRU DURAK[1] , Prof. Dr. MUKADDER MOLLAOĞLU[2]

[1]Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Health Sciences, e_durak5@hotmail.com
0009-0001-2504-7433
[2]Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Health Sciences, mukaddermollaoglu2@gmail.com
0000-0002-9264-3059

ABSTRACT

Rheumatic diseases generally encompass complex groups of conditions characterized by a chronic course, heterogeneous clinical features, and the need for the combined evaluation of numerous clinical, laboratory, and imaging data. Consequently, in rheumatology practice, the processes of establishing an accurate diagnosis, monitoring disease activity, and determining appropriate treatment strategies often require comprehensive data analysis. In recent years, with the advancement of digital technologies in the healthcare sector, artificial intelligence applications have emerged as a key tool in supporting these processes.

Artificial intelligence has the capacity to analyze large datasets, recognize patterns, and create predictive models, particularly through machine learning and deep learning algorithms. In the field of rheumatology, these technologies are increasingly being used in the diagnosis and monitoring of diseases such as rheumatoid arthritis, osteoarthritis, ankylosing spondylitis, and systemic lupus erythematosus. It has been reported that AI-assisted analysis of data obtained from methods such as radiography, ultrasonography, and magnetic resonance imaging enables the earlier detection of joint damage and signs of inflammation. Furthermore, by analyzing data from electronic health records, clinical databases, and wearable technologies, it has become possible to monitor disease activity, predict disease progression, and anticipate treatment response.

Another significant contribution of artificial intelligence applications in the field of rheumatology is their ability to facilitate the development of personalized treatment approaches. By analyzing patient-specific clinical characteristics, it becomes possible to identify more appropriate treatment options. However, issues such as data security, ethical responsibilities, and the validation of algorithms' clinical accuracy remain key areas of discussion regarding the integration of AI systems into clinical practice. In conclusion, artificial intelligence technologies hold significant potential in the diagnosis, monitoring, and treatment of rheumatic diseases, and are expected to make important contributions to the future development of rheumatology practice.

Keywords: Artificial intelligence; rheumatology; digital health

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ROMATOLOJİDE YAPAY ZEKA KULLANIMI

EBRU DURAK[1], Prof.Dr.MUKADDER MOLLAOĞLU[2]

[1]Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, e_durak5@hotmail.com
0009-0001-2504-7433
[2]Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, mukaddermollaoglu2@gmail.com
0000-0002-9264-3059

ÖZET

Romatolojik hastalıklar genellikle kronik seyirli, heterojen klinik özellikler gösteren ve çok sayıda klinik, laboratuvar ve görüntüleme verisinin birlikte değerlendirilmesini gerektiren kompleks hastalık gruplarını kapsamaktadır. Bu nedenle romatoloji pratiğinde doğru tanı koyma, hastalık aktivitesini izleme ve uygun tedavi stratejilerini belirleme süreçleri çoğu zaman kapsamlı veri analizini gerektirmektedir. Son yıllarda sağlık alanında dijital teknolojilerin gelişmesiyle birlikte yapay zekâ uygulamaları bu süreçlerin desteklenmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Yapay zekâ; özellikle makine öğrenmesi ve derin öğrenme algoritmaları aracılığıyla büyük veri setlerini analiz edebilme, örüntüleri tanıyabilme ve tahmine dayalı modeller oluşturabilme kapasitesine sahiptir. Romatoloji alanında bu teknolojiler; romatoid artrit, osteoartrit, ankilozan spondilit ve sistemik lupus eritematozus gibi hastalıkların tanı ve izlem süreçlerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Özellikle radyografi, ultrasonografi ve manyetik rezonans görüntüleme gibi yöntemlerden elde edilen verilerin yapay zekâ destekli analizleri sayesinde eklem hasarı ve inflamasyon bulgularının daha erken dönemde saptanabildiği bildirilmektedir. Bunun yanı sıra elektronik sağlık kayıtları, klinik veri tabanları ve giyilebilir teknolojilerden elde edilen verilerin analiz edilmesi ile hastalık aktivitesinin izlenmesi, hastalık seyrinin tahmin edilmesi ve tedaviye verilen yanıtın öngörülmesi mümkün hale gelmektedir.

Romatoloji alanında yapay zekâ uygulamalarının bir diğer önemli katkısı ise kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesine olanak sağlamasıdır. Hastaya özgü klinik özelliklerin analiz edilmesi sayesinde daha uygun tedavi seçeneklerinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte yapay zekâ sistemlerinin klinik uygulamalara entegrasyonunda veri güvenliği, etik sorumluluklar ve algoritmaların klinik doğruluğunun doğrulanması gibi konular önemli tartışma alanları arasında yer almaktadır. Sonuç olarak yapay zekâ teknolojileri romatolojik hastalıkların tanı, izlem ve tedavi süreçlerinde önemli bir potansiyel taşımakta olup gelecekte romatoloji pratiğinin gelişimine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ; romatoloji; dijital sağlık

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. INTRODUCTION

Rheumatic and musculoskeletal diseases (RMD) are defined by the European Union of Rheumatology Societies (EULAR) and the American College of Rheumatology (ACR) as a broad and heterogeneous group of diseases that can affect joints, bones, cartilage, tendons, ligaments, and muscles, as well as internal organs in some cases. This group encompasses more than 200 diseases and syndromes, including common clinical conditions such as rheumatoid arthritis, osteoarthritis, ankylosing spondylitis, and systemic lupus erythematosus (Madrid-García et al., 2023; Zhao et al., 2024). These diseases are generally chronic and are characterized by pain, limited mobility, fatigue, and loss of function, significantly negatively impacting the quality of life of individuals.

The etiology of rheumatic diseases is quite complex, resulting from the interaction of many factors such as genetic predisposition, environmental factors, infections, immunological processes, and mechanical stress. These diseases are more common in women and older age groups, and can affect not only the musculoskeletal system but also different organ systems such as the cardiovascular system, lungs, and kidneys. These multifaceted effects complicate the diagnosis, monitoring, and treatment processes of these diseases, while also placing a significant economic burden on healthcare systems (Madrid-García et al., 2023).

Diagnosis and disease management in rheumatology practice require the combined evaluation of numerous data points, including clinical examination findings, laboratory tests, genetic data, and medical imaging methods. Early diagnosis and appropriate treatment planning are critically important in preventing disease progression, especially in chronic inflammatory diseases such as rheumatoid arthritis. However, the similarity of clinical symptoms to other musculoskeletal diseases complicates the diagnostic process and presents a significant challenge for clinicians (Momtazmanesh et al., 2022).

Recent advancements in digital health technologies have enabled the increasingly widespread use of artificial intelligence (AI) applications in the healthcare field. Artificial intelligence is a branch of science that aims to develop computer systems capable of mimicking cognitive processes specific to human intelligence, such as learning, reasoning, problem-solving, and pattern recognition (Vlad et al., 2025). Subfields such as machine learning (ML), deep learning (DL), and natural language processing (NLP) have made it possible to analyze large and complex datasets, accelerating the development of clinical decision support systems (Sequí-Sabater & Benavent, 2025).

Artificial intelligence applications have the potential to reduce human error, improve diagnostic accuracy, and accelerate decision-making processes, especially in data-intensive and highly variable clinical situations. Automated analysis of medical imaging data, rapid evaluation of laboratory results, and holistic handling of patient-reported outcomes (PROs) are among the significant contributions of AI to healthcare (Zhao et al., 2024). These features make AI a particularly valuable tool in the field of rheumatology, where heterogeneous data structures are involved.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Rheumatology is considered one of the disciplines that can benefit most from artificial intelligence applications due to its structure requiring the integration of multiple data sources. The analysis of clinical findings, imaging data, laboratory tests, and electronic health records together can be performed more quickly and accurately through AI algorithms. In this context, artificial intelligence makes significant contributions in areas such as supporting the early diagnosis of diseases, evaluating disease activity, predicting prognosis, and creating personalized treatment plans (Zhao et al., 2024; Chen et al., 2025).

However, the use of artificial intelligence in rheumatology is not limited to clinical applications but also provides significant advantages in research processes. Thanks to data mining and bibliometric analyses, trends in the scientific literature can be determined, research gaps can be identified, and new areas of study can be revealed. However, for the effective integration of AI applications into clinical practice, the reliability, generalizability, and ethical use of algorithms are of great importance. In this context, artificial intelligence should be considered not as a replacement for human expertise in clinical decision-making processes, but rather as a powerful tool that supports it (Zhao et al., 2024).

2. ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS FOR DIAGNOSIS AND TREATMENT

Research on artificial intelligence (AI) applications in the field of rheumatology has shown a significant increase in recent years, focusing particularly on conditions such as rheumatoid arthritis, osteoarthritis, ankylosing spondylitis, and psoriatic arthritis. The main uses of this independent AI are to improve diagnostic progress, advance the course of diagnosis, and disseminate personalized treatment methods. Techniques such as machine learning (ML), deep learning (DL), and artificial neural networks are effectively used in the analysis of rheumatological distributional complexity and multidimensional data (Momtazmanesh et al., 2022; Zhao et al., 2024). In particular, electronic health records (EHR) and natural language processing (NLP) programs have enabled more detailed analysis of clinical data, and powerful methods have emerged to support the decision-making processes of diagnoses and clinicians.

Artificial intelligence applications offer significant advantages in the diagnostic process of rheumatological diseases. Since many of these diseases present with similar clinical symptoms, early and accurate diagnosis can be challenging. AI algorithms can analyze clinical symptoms, laboratory findings, and demographic data together to identify disease patterns and support the diagnostic process (Aldhuaina et al., 2025). Especially in diseases where early intervention is critical, such as rheumatoid arthritis, the use of machine learning models as clinical decision support systems increases diagnostic accuracy (Krittanawong et al., 2020). Furthermore, it has been reported that deep learning-based models can detect synovitis, bone erosion, and joint damage in radiographic and MRI images with high accuracy, achieving sensitivity and specificity values above 90% in some studies (Madrid-García et al., 2023; Saleh et al., 2022).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Medical imaging is one of the areas where artificial intelligence is most widely used in rheumatology. Methods such as radiography, ultrasonography, magnetic resonance imaging (MRI), and computed tomography (CT) play a fundamental role in the diagnosis and monitoring of rheumatological diseases. Deep learning algorithms, especially through convolutional neural networks (CNNs), can analyze complex patterns in these images and automatically detect joint space narrowing, osteophyte formation, and inflammation (Kijowski et al., 2020; Chen et al., 2025). This both accelerates the diagnostic process and reduces interpreter-dependent discrepancies. Furthermore, artificial intelligence makes significant contributions in areas such as improving image quality, performing automated measurements, and predicting disease progression (Momtazmanesh et al., 2022).

Monitoring disease activity and evaluating prognosis are also important application areas of artificial intelligence. While disease activity is assessed using clinical scores and laboratory parameters in traditional methods, AI systems can perform more comprehensive analyses by integrating data from electronic health records, patient reports, and wearable technologies (Güzel et al., 2022; Jiang et al., 2021). In particular, physical activity data obtained through wearable devices can be used in the early detection of disease exacerbations, and machine learning models have been shown to identify these exacerbations with high accuracy rates (Davergne et al., 2021). This contributes to the development of more proactive and individualized approaches in disease management.

Personalized treatment approaches are one of the most important innovations offered by artificial intelligence in rheumatology. Since the response to treatment in rheumatological diseases can vary significantly among individuals, creating treatment plans specific to patient characteristics is of great importance. Artificial intelligence algorithms can predict which treatment option is most effective by analyzing genetic data, biomarkers, clinical findings, and patient history together (Aldhuaina et al., 2025). This approach, especially in treatments using biological agents, both increases treatment success and provides cost-effectiveness by reducing unnecessary drug use. Furthermore, NLP-based systems can analyze clinical notes to identify patient subgroups and predict treatment response (Zhao et al., 2024).

The effectiveness of artificial intelligence applications in specific diseases such as rheumatoid arthritis, osteoarthritis, and ankylosing spondylitis has been demonstrated in numerous studies. In rheumatoid arthritis, CNN-based models can automatically detect joint damage and contribute to treatment planning by classifying patients into clinical subgroups (Momtazmanesh et al., 2022; Sequí-Sabater & Benavent, 2025). In osteoarthritis, AI algorithms can detect joint degeneration early and predict disease progression. In ankylosing spondylitis, sacroiliac joint involvement can be evaluated through the analysis of CT and MRI images, and radiographic progression can be predicted (Chen et al., 2025; Morytko et al., 2025). In addition, disease activity and organ involvement can be predicted in diseases such as psoriatic arthritis, lupus erythematosus, and systemic sclerosis through biomarker analysis and multimodal data integration (Sequí-Sabater & Benavent, 2025).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

The applications of artificial intelligence in rheumatology are not limited to clinical applications. Bibliometric analyses and data mining methods contribute to the emergence of new research processes by identifying research methods in the literature (Zhao et al., 2024). Furthermore, generative AI systems support healthcare professionals in tasks such as preparing clinical notes, summarizing patient information, and conducting literature searches (Sequí-Sabater & Benavent, 2025). In addition, AI systems integrated with telemedicine applications and mobile health technologies enable remote access to cells and more effective treatment processes.

Despite all these advantages, artificial intelligence applications also have some limitations. Lack of data quality and standardization can limit the generalizability of algorithms across different populations. Furthermore, data security and patient privacy are among the significant ethical issues (Vlad et al., 2025; Özdemir, 2021). For AI models to be reliably used in clinical applications, they need to be validated with large and representative datasets. In addition, increasing the trust of healthcare professionals and patients in these technologies is a critical factor in the integration of AI into clinical practice. In this context, artificial intelligence should be considered not as a replacement for human expertise in rheumatology, but rather as a complementary tool supporting clinical decision-making processes.

3. CONCLUSION

In conclusion, artificial intelligence applications stand out as a powerful tool with the potential to transform diagnosis, monitoring, and treatment processes in the field of rheumatology. They make significant contributions, particularly in supporting early diagnosis, more precise monitoring of disease activity, and the development of personalized treatment approaches. With a wide range of applications from imaging analysis to the evaluation of electronic health records, artificial intelligence accelerates and improves the accuracy of clinical decision-making processes. However, addressing existing limitations such as data quality, ethical issues, and clinical integration are among the key factors determining the effective use of these technologies. It is predicted that as the reliability and generalizability of artificial intelligence applications are increased through large-scale and multi-center studies in the future, they will be used more widely and effectively in rheumatology practice.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

REFERENCES

1. Aldhuaina, K., Gupta, D., Bashir, U., Nnap, L. M., Rawat, A., Dolphin, J., Sultana, R., Cai, L. Y., Imam, B., Devkota, R. R., Dsouza, D., & Rai, M. (2025). Artificial Intelligence in Rheumatology: Clinical Applications in Rheumatoid Arthritis, Osteoarthritis, and Systemic Lupus Erythematosus. *Cureus*, *17*(12), e99108. https://doi.org/10.7759/cureus.99108
2. Momtazmanesh, S., Nowroozi, A., & Rezaei, N. (2022). Artificial Intelligence in Rheumatoid Arthritis: Current Status and Future Perspectives: A State-of-the-Art Review. *Rheumatology and therapy*, *9*(5), 1249–1304. https://doi.org/10.1007/s40744-022-00475-4
3. Chen, C. W., Tsai, H. H., Yeh, C. Y., Yang, C. K., Tsou, H. K., Leong, P. Y., & Wei, J. C. (2025). Application of Artificial Intelligence in rheumatic disease classification: an example of ankylosing spondylitis severity inspection model. *Annals of Medicine*, 57(1), 2512131. https://doi.org/10.1080/07853890.2025.2512131
4. Davergne, T., Kedra, J., & Gossec, L. (2021). Wearable activity trackers and artificial intelligence in the management of rheumatic diseases: Where are we in 2021? *Zeitschrift für Rheumatologie, 80(10),* 928–935.https://doi.org/10.1007/s00393-021-01100-5
5. Güzel, Ş., Akman Dömbekci, H., & Eren, F. (2022). Yapay Zekânın Sağlık Alanında Kullanımı: Nitel Bir Araştırma. Celal Bayar Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 9(4), 509-519. https://doi.org/10.34087/cbusbed.1140122
6. Jiang, F., Jiang, Y., Zhi, H., Dong, Y., Li, H., Ma, S., Wang, Y., Dong, Q., Shen, H., & Wang, Y. (2017). Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke and vascular neurology*, *2*(4), 230–243. https://doi.org/10.1136/svn-2017-000101
7. Krittanawong, C., Virk, H. U. H., Bangalore, S., Wang, Z., Johnson, K. W., Pinotti, R., Zhang, H., Kaplin, S., Narasimhan, B., Kitai, T., Baber, U., Halperin, J. L., & Tang, W. H. W. (2020). Machine learning prediction in cardiovascular diseases: a meta-analysis. *Scientific reports*, *10*(1), 16057. https://doi.org/10.1038/s41598-020-72685-1
8. Kijowski, R., Liu, F., Caliva, F., & Pedoia, V. (2020). Deep Learning for Lesion Detection, Progression, and Prediction of Musculoskeletal Disease. *Journal of magnetic resonance imaging : JMRI*, *52*(6), 1607–1619. https://doi.org/10.1002/jmri.27001
9. Madrid-García, A., Merino-Barbancho, B., Rodríguez-González, A., Fernández-Gutiérrez, B., Rodríguez-Rodríguez, L., & Menasalvas-Ruiz, E. (2023). Understanding the role and adoption of artificial intelligence techniques in rheumatology research: An in-depth review of the literature. *Seminars in arthritis and rheumatism*, *61*, 152213. https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2023.152213
10. Özdemir L, Bilgin, A. Sağlıkta yapay zekanın kullanımı ve etik sorunlar. Sağlık ve Hemşirelik Yönetimi Dergisi. 2021;8(3):439-445. doi:10.54304/SHYD.2021.63325
11. Saleh, K., et al. (2022). Deep learning for rheumatoid arthritis diagnosis using radiographic images. *Scientific Reports*, 12, 14567.
12. Sequí-Sabater, J. M., & Benavent, D. (2025). Artificial intelligence in rheumatology research: what is it good for?. *RMD open*, *11*(1), e004309. https://doi.org/10.1136/rmdopen-2024-004309

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

13. Morytko, M. Z., Matusik, P. S., Wawrzyniak, R., & Popiela, T. J. (2025). Imaging pathways in spondyloarthritis: integrating radiography, ultrasonography, magnetic resonance imaging, low-dose computed tomography, and artificial intelligence methods : Radiology and AI in SpA. *Rheumatology international*, *46*(1), 14. https://doi.org/10.1007/s00296-025-06051-7
14. Vlad, A. L., Popazu, C., Lescai, A.-M., Voinescu, D. C., & Baltă, A. A. Ș. (2025). Romatoid Artrit Tanı ve Tedavisinde Yapay Zekanın Rolü. *Medicina*, *61*(4), 689. https://doi.org/10.3390/medicina61040689
15. Zhao, J., Li, L., Li, J., & Zhang, L. (2024). Application of artificial intelligence in rheumatic disease: a bibliometric analysis. *Clinical and Experimental Medicine*, 24(1), 196. https://doi.org/10.1007/s10238-024-01453-6

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

NANOTECHNOLOGY AND DRUG DELIVERY SYSTEMS IN CANCER TREATMENT

EBRU DURAK[1] , Prof. Dr. MUKADDER MOLLAOĞLU[2]

[1]Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Health Sciences, e_durak5@hotmail.com
0009-0001-2504-7433
[2]Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Health Sciences, mukaddermollaoglu2@gmail.com
0000-0002-9264-3059

ABSTRACT

Cancer is a complex disease resulting from genetic mutations, uncontrolled cell proliferation, and the disruption of cellular regulatory mechanisms, characterized by high mortality and morbidity rates worldwide. Today, traditional treatment methods such as surgery, chemotherapy, and radiation therapy are widely used in cancer treatment. However, these approaches often exhibit various limitations, including the inability of drugs to reach target tissues specifically, the development of systemic toxicity, the emergence of multidrug resistance, and damage to healthy tissues. This situation has led to an increase in research aimed at developing more effective, safer, and targeted treatment strategies. Additionally, the long-term use of current treatment methods can negatively impact patients' quality of life and make adherence to treatment more difficult.

Nanotechnology has become a significant field of research, offering new and innovative approaches to cancer treatment through the design and application of nanoscale materials in biomedical contexts. Nanotechnology-based drug delivery systems contribute to enhancing treatment efficacy by enabling the more controlled and targeted delivery of therapeutic agents to tumor tissue. Liposomes, polymeric nanoparticles, and various nanostructures enhance drug bioavailability and help reduce systemic side effects by enabling controlled release. Additionally, these systems allow for higher penetration into the tumor microenvironment, facilitating more effective accumulation of drugs within tumor tissue.

Nanotherapeutic approaches developed in recent years offer significant advantages in cancer treatment by integrating diagnostic and therapeutic processes. Furthermore, the development of nano-carrier systems supported by bacteria and stem cells contributes to overcoming physiological barriers in the tumor microenvironment and optimizing drug delivery processes. All these developments offer significant potential for the development of more selective, reduced-side-effect, and personalized treatment approaches in cancer therapy. Furthermore, the increasing number of studies in this field is laying the groundwork for the development of more effective and reliable treatment options in the future.

Keywords: Cancer treatment; nanotechnology; drug delivery systems

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

KANSER TEDAVİSİNDE NANOTEKNOLOJİ VE İLAÇ TAŞIYICI SİSTEMLER

EBRU DURAK[1], Prof.Dr.MUKADDER MOLLAOĞLU[2]

[1]Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, e_durak5@hotmail.com
0009-0001-2504-7433
[2]Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, mukaddermollaoglu2@gmail.com
0000-0002-9264-3059

ÖZET

Kanser, genetik mutasyonlar, kontrolsüz hücre proliferasyonu ve hücresel düzenleyici mekanizmaların bozulması sonucu ortaya çıkan, dünya genelinde yüksek mortalite ve morbidite oranlarına sahip karmaşık bir hastalıktır. Günümüzde kanser tedavisinde cerrahi, kemoterapi ve radyoterapi gibi geleneksel tedavi yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu yaklaşımlar çoğu zaman ilaçların hedef dokuya özgül şekilde ulaşamaması, sistemik toksisite gelişimi, çoklu ilaç direnci oluşumu ve sağlıklı dokuların zarar görmesi gibi çeşitli sınırlılıklar göstermektedir. Bu durum, daha etkili, güvenli ve hedefe yönelik tedavi stratejilerinin geliştirilmesine yönelik araştırmaların artmasına neden olmuştur. Ayrıca mevcut tedavi yöntemlerinin uzun süreli kullanımı hastaların yaşam kalitesini olumsuz yönde etkileyebilmektedir ve tedaviye uyumu zorlaştırabilmektedir.

Nanoteknoloji, nanometre boyutundaki materyallerin tasarımı ve biyomedikal uygulamalarda kullanılmasıyla kanser tedavisinde yeni ve yenilikçi yaklaşımlar sunan önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Nanoteknoloji tabanlı ilaç taşıyıcı sistemler, terapötik ajanların tümör dokusuna daha kontrollü ve hedeflenmiş şekilde iletilmesini sağlayarak tedavi etkinliğinin artırılmasına katkıda bulunmaktadır. Lipozomlar, polimerik nanopartiküller ve farklı nanoyapılar, ilaçların biyoyararlanımını artırmakta, kontrollü salınım sağlayarak sistemik yan etkilerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca bu sistemler tümör mikroçevresinde daha yüksek penetrasyon sağlayarak ilaçların tümör dokusunda daha etkin şekilde birikmesine olanak tanımaktadır.

Son yıllarda geliştirilen nanoteranostik yaklaşımlar, tanı ve tedavi süreçlerini bir arada sunarak kanser tedavisinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanı sıra bakteri ve kök hücre destekli nano-taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesi, tümör mikroçevresindeki fizyolojik engellerin aşılmasına ve ilaç iletim süreçlerinin optimize edilmesine katkı sağlamaktadır. Tüm bu gelişmeler, kanser tedavisinde daha seçici, yan etkileri azaltılmış ve kişiselleştirilmiş tedavi yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel sunmaktadır. Ayrıca bu alandaki çalışmaların artması, gelecekte daha etkili ve güvenilir tedavi seçeneklerinin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kanser tedavisi; nanoteknoloji; ilaç taşıyıcı sistemler

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. INTRODUCTION

Cancer is a complex disease characterized by uncontrolled cell proliferation, genetic mutations, disruptions in DNA repair mechanisms, and impairment of the apoptosis process (Mosleh-Shirazi et al., 2022). Dysregulations in intracellular signaling pathways and interactions with the tumor microenvironment play a critical role in cancer progression (Yao et al., 2020). According to the World Health Organization, one in six deaths globally is due to cancer, and cancer-related deaths are expected to increase by 47% by 2040 (WHO, 2022). This situation necessitates the development of more effective and innovative approaches in cancer treatment.

Traditional cancer treatment methods include surgery, chemotherapy, and radiotherapy. However, these methods can damage healthy tissues and lead to systemic toxicity because they are not specific to tumor cells (Chidambaram, Manavalan, & Kathiresan, 2011). Cytotoxic agents used during chemotherapy may not reach tumor tissue adequately and can cause serious side effects in healthy cells. This reduces treatment effectiveness and negatively affects patients' quality of life (Rommasi & Esfandiari, 2021). Furthermore, multidrug resistance, which emerges in long-term treatments, is a significant clinical problem in cancer treatment (Kuskov et al., 2025). Due to these limitations, research is increasingly focused on developing more selective, targeted, and effective therapeutic strategies for cancer treatment.

In recent years, nanotechnology-based approaches have emerged as a promising alternative in cancer treatment. Advances in nanotechnology enhance treatment efficacy and reduce systemic side effects by enabling the controlled and selective delivery of therapeutic agents to target tissue (Bayda et al., 2019; Kuskov et al., 2025). Nanoparticles generally consist of a core structure, a carrier matrix, and functional groups added for targeting purposes. These structures facilitate the delivery of water-insoluble drugs, enable targeted drug delivery, and allow for the simultaneous delivery of multiple drugs within the same system (Ho et al., 2017). Furthermore, nanotechnology-based systems allow for the integration of therapeutic agents with imaging techniques, enabling monitoring of the treatment process (Wang et al., 2024).Nanotechnology-based drug delivery systems commonly utilize nanoparticles, liposomes, dendrimers, nanogels, and polymeric nanoparticles (Dağlıoğlu & Yüksel, 2023). These systems increase the bioavailability of drugs, provide controlled release, and reduce toxicity in healthy tissues, offering significant advantages in modern oncology treatment (Subaşı et al., 2024; Taher et al., 2023). Nanodelivery systems, in particular, contribute to increased therapeutic efficacy because they can be selectively targeted to tumor tissue.

Nanotechnology holds significant potential not only in therapeutic applications but also in cancer diagnosis and imaging technologies. Nanoparticles can be used as contrast agents in high-sensitivity imaging methods, contributing to the early detection of tumors (Wang et al., 2024). Nanostructures such as quantum dots, nano-shells, and nano-cantilever systems are among the important tools that can be used in the detection and early diagnosis of biomarkers (Zhang et al., 2024). In particular, the strong fluorescent properties of quantum dots facilitate the visualization of tumor cells, while nano-shells, activated by near-infrared light, can enable

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

the selective destruction of tumor cells via photothermal therapy (Benkő, Kristó, & Sovány, 2025).

Nanotechnology-based systems also leverage the characteristics of the tumor microenvironment to enable more effective drug targeting. While these systems can accumulate in tumor tissue through passive targeting mechanisms, particularly enhanced permeability and retention (EPR), they can increase treatment efficacy by binding to specific cellular receptors through active targeting strategies (Palanikumar et al., 2020). In addition, nanotheranostic approaches contribute to the development of personalized oncology applications by combining treatment and diagnostic methods on the same platform (Gupta et al., 2024). Furthermore, local drug delivery systems developed for postoperative cancer treatment increase therapeutic efficacy and help reduce systemic side effects by providing targeted drug release (Zhou et al., 2025).

In conclusion, nanotechnology-based approaches enable the development of more targeted, effective, and safe therapeutic strategies in cancer treatment. Therefore, the integration of nanotechnology into cancer biology has the potential to play a significant role in cancer diagnosis and treatment in the future.

2. CURRENT LITERATURE REVIEW ON NANOTECHNOLOGY-BASED DRUG DELIVERY SYSTEMS

Nanotechnology-based drug delivery systems are innovative approaches developed to both increase drug efficacy and reduce side effects in cancer treatment. These systems provide controlled release by directing drug molecules to the target tissue, increasing bioavailability and minimizing toxicity in healthy tissues (Bayda et al., 2019; Kuskov et al., 2025). Research shows that nanoparticle-based systems exhibit synergistic effects when combined with chemotherapy, immunotherapy, and photothermal therapy (Gupta et al., 2024).

Nanotechnology-based drug delivery systems are emerging as an increasingly important field in cancer treatment in recent years. Considering the limitations and side effects of traditional treatment methods—surgery, chemotherapy, and radiotherapy—systems developed with nanotechnology offer great potential to both increase drug efficacy and reduce toxicity in healthy tissues. Liposomes, polymeric nanoparticles, and metal/mesoporous nanoparticles provide significant advantages in cancer treatment due to their controlled release, long circulation time, and tissue-specific deposition properties. Liposomes, with their ability to carry both hydrophilic and hydrophobic drugs and their biocompatible structures, can reduce systemic side effects, while polymeric nanoparticles provide high efficacy in the tumor microenvironment with their targeting-appropriate surface modifications and responsiveness to environmental stimuli. Metal nanoparticles and mesoporous silica systems offer ideal platforms for nanotheranostic applications; they support personalized treatment strategies by providing both therapeutic and imaging capabilities. Nanotheranostic systems, along with live carriers developed using stem cells and modified bacteria, optimize drug delivery by overcoming

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

physiological barriers in the tumor microenvironment. These approaches offer promising strategies for increasing tumor penetration and enhancing therapeutic efficacy.

In preclinical studies, lipid and polymeric nanoparticles have minimized side effects and increased treatment efficacy by providing controlled accumulation in tumor tissue. Furthermore, thanks to nanotheranostic applications, both early diagnosis and targeted therapy of cancer cells have been achieved through the same system.

However, detailed evaluation of factors such as biocompatibility, toxicity, and production costs is necessary before nanotechnology-based treatment strategies can be transferred to clinical practice. Future research will enable both the optimization of nanotechnology-based carrier systems and the safe and effective application of stem cell or bacteria-based carriers. In this way, personalized, targeted, and side-effect-minimized treatment approaches can be developed in cancer therapy.Nanotechnology-based carrier systems can be classified as liposomes, polymeric nanoparticles, and metal/mesoporous nanoparticles depending on the material used. Each system has its advantages and limitations.

Liposomes: Liposomes are nanovesicles with a double phospholipid layer, enabling both hydrophobic and hydrophilic screening (Dağlıoğlu and Yüksel, 2023; Subaşı et al., 2024). The phospholipid structure ensures the biocompatibility and biodegradability of liposomes; it also increases their stability and extends their circulation time (Rommasi and Esfandiari, 2021). PEG-enhanced liposomes can remain in the blood for a long time without being rapidly eliminated by the weight loss system and passively accumulate in tumor tissue through the EPR effect (Taher et al., 2023; Dristant et al., 2023). Clinically approved liposomal formulations such as Doxil®, Onivyde®, and Vyxeos® offer lower activity and higher therapeutic efficacy compared to chemotherapeutic systems (Amin et al., 2022).

Polymeric Nanoparticles: Polymeric nanoparticles enable specific targeting through controlled release and surface modification. pH, enzyme, or temperature-sensitive polymeric carriers offer release properties specific to the tumor microenvironment (Pérez Herrero & Fernández Majada, 2025). These systems can also be used in the delivery of sensitive molecules such as genes and peptides (Kuskov et al., 2025). Polymeric nanoparticles provide an ideal platform for both enhancing drug efficacy and reducing systemic toxicity (Palanikumar et al., 2020).

Metal and Mesoporous Nanoparticles: Gold nanoparticles and mesoporous silica nanoparticles can be used for both therapeutic and commercial purposes (Jiang et al., 2025; Benkő, Kristó and Sovány, 2025). Gold nanoparticles selectively target tumor examination with photothermal therapy and enhancement, while mesoporous silica nanoparticles offer advantages with their high loading capacity and controlled release properties (Zhang et al., 2024). These systems provide a suitable platform for nanotheranostic applications.

Targeting Strategies

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Nanoparticles can be used with passive or active targeting strategies to reach the target tissue.

Passive Targeting: Thanks to the EPR effect, nanoparticles passively accumulate in tumor tissue. Increased vascularization and fenestration in tumors facilitate the delivery of nanoparticles to the target tissue and reduce side effects in healthy tissues (Kuskov et al., 2025; Palanikumar et al., 2020).

Active Targeting: Nanoparticles provide active targeting by conjugating with ligands or antibodies that can bind to receptors. This method increases tumor penetration and controlled drug release (Bazak et al., 2015; Zhang et al., 2024). Active targeting is important to improve treatment efficacy, especially in resistant tumors.

Nanotheranostic and Combination Therapies

Nanotheranostic systems offer both treatment and imaging capabilities. When used in combination with chemotherapy, immunotherapy, and photothermal therapy, these systems provide a synergistic effect (Gupta et al., 2024). Preclinical studies have shown that nanotheranostic systems provide high accuracy in tumor targeting and increase therapeutic efficacy. Nanotheranostic approaches are critical in developing personalized treatment strategies (Mosleh-Shirazi et al., 2022).

Stem Cell and Bacteria-Assisted Carriers

Stem cells and modified bacteria can optimize drug delivery by overcoming physiological barriers in the tumor microenvironment. Live carriers offer targeting to the tumor site, autonomous proliferation, and a low potential for side effects (Zhang et al., 2024; Yao et al., 2020). These methods have been evaluated as a promising strategy, especially in tumors requiring deep tissue penetration.

Preclinical Findings

In different cancer models, lipid and polymeric nanoparticles have enhanced tumor penetration and optimized drug accumulation in the tumor region. Side effects have been reduced and therapeutic efficacy increased thanks to controlled release and targeting (Gupta et al., 2024). Metal nanoparticles and mesoporous silica systems have shown high selectivity in tumor cells by combining photothermal and chemotherapeutic effects (Benkő, Kristó, & Sovány, 2025). Nanotheranostic applications have enabled simultaneous treatment and imaging in vivo models and have emerged as an important tool in personalized treatment planning (Kuskov et al., 2025).

3.CONCLUSION

In conclusion, nanotechnology-based drug delivery systems play a critical role in modern oncology, enhancing the effectiveness of cancer treatment and making the treatment process safer. Nanotheranostic and combination therapy strategies, along with personalized treatment applications, may become standard practice in cancer management in the future**.**

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

REFERENCES

1. Amin, M., Seynhaeve, A. L. B., Sharifi, M., Falahati, M., & Ten Hagen, T. L. M. (2022). Liposomal Drug Delivery Systems for Cancer Therapy: The Rotterdam Experience. Pharmaceutics, 14(10), 2165. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14102165
2. Bayda, S., Adeel, M., Tuccinardi, T., Cordani, M., & Rizzolio, F. (2019). The History of Nanoscience and Nanotechnology: From Chemical-Physical Applications to Nanomedicine. Molecules (Basel, Switzerland), 25(1), 112. https://doi.org/10.3390/molecules25010112
3. Dağlıoğlu Y, Yüksel A. Kanser Tedavisi İçin MikroRNA'ların Çok İşlevli Nano-taşıyıcılar İle Dağıtımı. aktd. 2023;32(1):52-60. https://doi.org/10.17827/aktd.1181394
4. Kuskov, A. N., Kukovyakina, E. V., & Krasnoselskaya, E. N. (2025). Nanotechnology-Based Drug Delivery Systems. Pharmaceutics, 17(7), 817. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics17070817
5. Bazak, R., Houri, M., El Achy, S., Kamel, S., & Refaat, T. (2015). Cancer active targeting by nanoparticles: a comprehensive review of literature. Journal of cancer research and clinical oncology, 141(5), 769–784. https://doi.org/10.1007/s00432-014-1767-3
6. Dristant, U., Mukherjee, K., Saha, S., & Maity, D. (2023). An Overview of Polymeric Nanoparticles-Based Drug Delivery System in Cancer Treatment. Technology in cancer research & treatment, 22, 15330338231152083. https://doi.org/10.1177/15330338231152083 (Retraction published Technol Cancer Res Treat. 2024 Jan-Dec;23:15330338241276300. doi:10.1177/15330338241276300.)
7. Palanikumar, L., Al-Hosani, S., Kalmouni, M., Nguyen, V. P., Ali, L., Pasricha, R., Barrera, F. N., & Magzoub, M. (2020). pH-responsive high stability polymeric nanoparticles for targeted delivery of anticancer therapeutics. Communications biology, 3(1), 95. https://doi.org/10.1038/s42003-020-0817-4
8. Chidambaram, M., Manavalan, R., & Kathiresan, K. (2011). Nanotherapeutics to overcome conventional cancer chemotherapy limitations. Journal of pharmacy & pharmaceutical sciences : a publication of the Canadian Society for Pharmaceutical Sciences, Societe canadienne des sciences pharmaceutiques, 14(1), 67–77. https://doi.org/10.18433/j30c7d
9. Mosleh-Shirazi, S., Abbasi, M., Moaddeli, M. R., Vaez, A., Shafiee, M., Kasaee, S. R., Amani, A. M., & Hatam, S. (2022). Nanotechnology Advances in the Detection and Treatment of Cancer: An Overview. Nanotheranostics, 6(4), 400–423. https://doi.org/10.7150/ntno.74613
10. Jiang, L., Fu, Z., Ye, B., Feng, X., Chen, Z., Chen, Q., Long, Y., Wang, S., & Deng, G. (2025). Metal nanoparticles in cancer theranostics: from synthesis to tumor microenvironment-responsive applications. Drug delivery, 32(1), 2565480. https://doi.org/10.1080/10717544.2025.2565480
11. Öztürk, M.,& Bozdağ Pehlivan, S. (2024). Kanser tedavisinde bakteri destekli ilaç taşıyıcı sistemler. *HUJPHARM*, 44(1), 75–91. https://doi.org/10.52794/hujpharm.1392635

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

12. Taher, M., Susanti, D., Haris, M. S., Rushdan, A. A., Widodo, R. T., Syukri, Y., & Khotib, J. (2023). PEGylated liposomes enhance the effect of cytotoxic drug: A review. Heliyon, 9(3), e13823. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13823
13. Rommasi, F.,& Esfandiari, N. (2021). Liposomal Nanomedicine: Applications for Drug Delivery in Cancer Therapy. Nanoscale research letters, 16(1), 95. https://doi.org/10.1186/s11671-021-03553-8
14. Subaşı, Y. B., Çalık, B., Karataş, P., Adıyıl, R., Saraçoğlu, P., & Ihlamur, M. (2024). İlaç Taşıyıcı Sistemler ve Lipozomlar. Kirklareli University Journal of Engineering and Science, 10(2), 207-218. https://doi.org/10.34186/klujes.1520899
15. Benkő, F., Kristó, K., & Sovány, T. (2025). Mesoporous Silica Nanoparticles as Drug Delivery Systems. Pharmaceuticals (Basel, Switzerland), 18(9), 1392. https://doi.org/10.3390/ph18091392
16. Gupta, D., Roy, P., Sharma, R., Kasana, R., Rathore, P., & Gupta, T. K. (2024). Recent nanotheranostic approaches in cancer research. Clinical and experimental medicine, 24(1), 8. https://doi.org/10.1007/s10238-023-01262-3
17. World Health Organization. (2022). *Cancer*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cancer
18. Yao, Y., Zhou, Y., Liu, L., Xu, Y., Chen, Q., Wang, Y., Wu, S., Deng, Y., Zhang, J., & Shao, A. (2020). Nanoparticle-Based Drug Delivery in Cancer Therapy and Its Role in Overcoming Drug Resistance. Frontiers in molecular biosciences, 7, 193. https://doi.org/10.3389/fmolb.2020.00193
19. Zhang, H., Li, J., & Wang, R. (2024). Stem cell and bacteria-mediated drug delivery systems for cancer. *International Journal of Hematology and Oncology*. https://doi.org/10.52794/hujpharm.1392635
20. Ho, B. N., Pfeffer, C. M., & Singh, A. T. K. (2017). Update on Nanotechnology-based Drug Delivery Systems in Cancer Treatment. Anticancer research, 37(11), 5975–5981. https://doi.org/10.21873/anticanres.12044
21. Wang, B., Hu, S., Teng, Y., Chen, J., Wang, H., Xu, Y., Wang, K., Xu, J., Cheng, Y., & Gao, X. (2024). Current advance of nanotechnology in diagnosis and treatment for malignant tumors. Signal transduction and targeted therapy, 9(1), 200. https://doi.org/10.1038/s41392-024-01889
22. Zhou J-J, Feng Y-C, Zhao M-L, Guo Q and Zhao X-B (2025) Nanotechnology-driven strategies in postoperative cancer treatment: innovations in drug delivery systems. Front. Pharmacol. 16:1586948. doi:10.3389/fphar.2025.1586948

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ÜST ÇENENİN İMPLANT VE DİŞ DESTEKLİ PROTETİK REHABİLİTASYONU: DİJİTAL İŞ AKIŞI

BİLAL AYAZ*

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize

bilal.ayaz@erdogan.edu.tr - ORCID ID: 0009-0009-8114-0542

MURAT ALKURT

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize

murat.alkurt@erdogan.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9324-0158

ÖZET

Giriş: Günümüz diş hekimliğinde CAD/CAM (bilgisayar destekli tasarım ve üretim) teknolojisinin yaygınlaşmasıyla birlikte, dijital ölçü kavramı literatürde giderek daha fazla önem kazanmaya başlamıştır.

Amaç: Bu olgu sunumunun amacı, diş ve diş dokusu kaybıyla Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Kliniği'ne başvuran hastanın üst çenesinin dijital iş akışıyla protetik rehabilitasyonunun anlatılması ve kısa süreli klinik takip sonuçlarının aktarılmasıdır.

Olgu Sunumu: Sistemik açıdan herhangi bir rahatsızlığı bulunmayan 44 yaşındaki kadın hasta, diş eksikliklerinin implant destekli rehabilitasyonu ve 13 numaralı dişinin protetik restorasyonu için kliniğe başvurdu. Klinik ve radyografik muayene sonrasında hastaya dijital iş akışıyla implant ve diş destekli metal altyapılı porselen kron ve köprüler planlandı. Kanin dişin preparasyonu sonrasında iyileşme başlıkları çıkarılarak intraoral tarayıcıyla her iki çenenin de dijital ölçüsü alındı. Sonraki aşamada tarama parçaları takılarak tarama parçalarının olduğu alanların dijital ölçüsü ve kapanış kaydı alındı. Üç boyutlu yazıcı kullanılarak çalışma modelleri elde edildi. Metal ve dentin prova seansları sonrasında simantasyon gerçekleştirildi. Restorasyonlarda 3 ay sonraki kontrolde herhangi bir komplikasyon gözlenmedi ve hasta memnuniyeti yüksek seviyedeydi.

Sonuç: Bu olgu, implant ve diş destekli protetik rehabilitasyonlarda dijital iş akışı kullanımının, klinik başarı ve hasta memnuniyeti açısından güvenilir ve etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, klinisyenin vakaya özgü koşulları dikkate alarak en uygun ölçü yöntemini seçme konusunda özenli ve dikkatli davranması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijital İş Akışı, İmplantüstü, Protetik Rehabilitasyon

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

IMPLANT AND TOOTH SUPPORTED PROSTHETIC REHABILITATION OF THE MAXILLA: A DIGITAL WORKFLOW

ABSTRACT

Introduction: With the widespread use of CAD/CAM (computer-aided design and manufacturing) technology in contemporary dentistry, the concept of digital impression has gained increasing importance in the literature.

Aim: The aim of this case report was to describe the prosthetic rehabilitation of the maxilla using a digital workflow in a patient who presented to the Prosthodontics Clinic, Faculty of Dentistry, Recep Tayyip Erdoğan University with tooth and dental tissue loss and to report the short term clinical follow-up outcomes.

Case Report: A 44-year-old female patient with no systemic disease presented to the clinic for implant-supported rehabilitation of missing teeth and prosthetic restoration of tooth #13. Following clinical and radiographic examination, implant and tooth supported porcelain fused to metal crowns and bridges were planned using a digital workflow. After preparation of the canine tooth, the healing abutments were removed and digital impressions of both jaws were obtained using an intraoral scanner. In the subsequent stage, scan bodies were attached and digital impressions of the relevant areas, together with the interocclusal record, were obtained. Working models were fabricated using a three-dimensional printer. Cementation was performed after the metal framework and dentin try-in sessions. At the 3-month follow-up, no complications were observed in the restorations and patient satisfaction was high.

Conclusion: This case demonstrates that the use of a digital workflow in implant and tooth supported prosthetic rehabilitation is a reliable and effective method in terms of clinical success and patient satisfaction. Nevertheless, clinicians should exercise caution and careful judgment when selecting the most appropriate impression technique by considering the case-specific conditions.

Keywords: Digital Workflow, Implant-Supported, Prosthetic Rehabilitation

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ÜST ÇENEDE ZİRKONYA VE METAL ALTYAPILI SERAMİK RESTORASYONLAR: ATRİZE DİŞLERİ İÇEREN VAKA SUNUMU

BİLAL AYAZ

Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Dentistry, Department of Prosthodontics, Rize

bilal.ayaz@erdogan.edu.tr - ORCID ID: 0009-0009-8114-0542

ÖZET

Giriş: Diş eksiklikleri ve atrize dişler, estetik ve fonksiyonel problemlere yol açarak hastaların yaşam kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Bu tür vakalarda optimal fonksiyon ve estetiğin sağlanması için implant ve diş destekli protetik restorasyonların birlikte planlanması gerekebilmektedir.

Amaç: Bu olgu sunumunun amacı, diş ve diş dokusu kaybıyla Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Protetik Diş Tedavisi Kliniği'ne başvuran hastanın üst çenesinin diş ve implant destekli restorasyonlarla protetik rehabilitasyonunun anlatılması ve kısa süreli klinik takip sonuçlarının aktarılmasıdır.

Olgu Sunumu: Sistemik açıdan herhangi bir rahatsızlığı bulunmayan 52 yaşındaki kadın hasta, diş eksikliklerinin implant destekli rehabilitasyonu ve atrize ön dişlerinin protetik restorasyonu için kliniğe başvurdu. Klinik ve radyografik muayene sonrasında hastaya implant destekli metal altyapılı porselen kuron ve köprüler ile anterior bölgede diş destekli zirkonya altyapılı porselen kuronlar planlandı. Atrize dişlerin preperasyonu sonrasında hastanın iyileşme başlıkları çıkarılarak ölçü postları yerleştirildi ve ölçü alındı. Altyapı ve dentin prova seansları tamamlandıktan sonra simantasyon gerçekleştirildi. Üç ay sonraki kontrolde herhangi bir komplikasyon gözlenmedi ve hasta memnuniyeti yüksek düzeydeydi.

Sonuç: Atrizyonlu dişlerin ve diş eksikliklerinin rehabilitasyonunda metal ve zirkonya altyapılı restorasyonların birlikte kullanımı, uygun vaka seçimi ve doğru klinik uygulamalarla, kısa dönemde fonksiyonel ve estetik açıdan tatmin edici sonuçlar sağlayabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Atrizyon, İmplantüstü, Restorasyon

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ZIRCONIA AND METAL FRAMEWORK CERAMIC RESTORATIONS IN THE MAXILLA: A CASE REPORT INVOLVING ATTRITED TEETH

ABSTRACT

Introduction: Tooth loss and attrited teeth may lead to esthetic and functional problems, thereby adversely affecting patients' quality of life. In such cases, implant and tooth supported prosthetic restorations may need to be planned together to achieve optimal function and esthetics.

Aim: The aim of this case report was to describe the prosthetic rehabilitation of the maxilla with implant and tooth supported restorations in a patient who presented to the Prosthodontics Clinic of the Faculty of Dentistry at Recep Tayyip Erdoğan University due to tooth and dental tissue loss and to report the short term clinical follow-up outcomes.

Case Report: A 52-year-old female patient with no systemic disease presented to the clinic for implant-supported rehabilitation of missing teeth and prosthetic restoration of her attrited anterior teeth. Following clinical and radiographic examination, implant-supported porcelain-fused-to-metal crowns and bridges, together with tooth-supported zirconia-based porcelain crowns in the anterior region, were planned. After preparation of the attrited teeth, the patient's healing abutments were removed, impression posts were placed and impressions were made. Cementation was performed after completion of the framework and dentin try-in sessions. At the 3-month follow-up, no complications were observed and the patient reported a high level of satisfaction.

Conclusion: In the rehabilitation of attrited teeth and missing dentition, the combined use of metal and zirconia based restorations can provide functionally and esthetically satisfactory short-term outcomes when supported by appropriate case selection and proper clinical procedures.

Keywords: Attrition, Implant-Supported, Restoration

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER

Çağla ÖNCÜ

Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konya/TÜRKİYE

A. Engin ÖZÇELİK

Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Konya/TÜRKİYE

ÖZET

Bu çalışma, hibrit enerji sistemlerini yapısal özellikleri, kullanılan teknolojiler, enerji yükleri, yenilenebilir enerji kaynaklarının karakteristikleri, tasarım ölçütleri ve ekonomik boyutları çerçevesinde incelemektedir. Çalışmada, hibrit enerji sistemlerinin farklı enerji kaynaklarını bir araya getirerek daha güvenilir, verimli ve sürdürülebilir bir enerji üretim yapısı sunduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca sistem performansını etkileyen yük profilleri, kaynak sürekliliği ve çevresel koşullar değerlendirilmiş; tasarım sürecinde dikkate alınması gereken teknik ve ekonomik faktörler ele alınmıştır. Bunun yanında, hibrit enerji sistemleri alanında öne çıkan güncel eğilimler incelenerek bu sistemlerin gelecekteki uygulama potansiyeli tartışılmıştır. Elde edilen değerlendirmeler, hibrit enerji sistemlerinin enerji verimliliğinin artırılması, kaynak çeşitliliğinin sağlanması ve sürdürülebilir enerji politikalarının desteklenmesi açısından önemli bir çözüm yaklaşımı olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Hibrit, enerji, verimlilik, sürdürülebilir

1. GİRİŞ

Hibrit enerji sistemi, iki veya daha fazla enerji kaynağını ve/veya enerji depolama teknolojisini aynı sistemde birleştirerek enerjiyi daha verimli, güvenilir ve düşük çevresel etkiyle üretmeyi veya yönetmeyi amaçlayan entegre enerji sistemidir. Hibrit enerji sistemi; iki veya daha fazla enerji kaynağını ve/veya enerji dönüşüm–depolama teknolojisini, tekil bir yükün ya da şebekenin enerji talebini kesintisiz, verimli, güvenilir ve maliyet-etkin biçimde karşılamak üzere aynı mimari içinde bütünleştiren çok bileşenli bir enerji üretim ve yönetim yapısıdır. Bu bütünleşme, kaynakların fiziksel olarak birlikte bulunmasından öte; güç elektroniği arayüzleri, kontrol algoritmaları ve işletme stratejileri aracılığıyla eşgüdümlü çalışmayı ifade eder. Hibrit enerji sisteminin temel ayırt edici yönü, tek bir kaynağa bağımlılığı azaltması ve farklı kaynakların tamamlayıcılığını sistematik biçimde kullanmasıdır [1].

Hibrit enerji sisteminin temel ayırt edici yönü, tek bir kaynağa bağımlılığı azaltması ve farklı kaynakların tamamlayıcılığını sistematik biçimde kullanmasıdır. Örneğin güneş ve rüzgâr gibi değişken yenilenebilir üretim, dizel jeneratör veya şebeke bağlantısı gibi “destekleyici” kaynaklarla; batarya, süperkapasitör, hidrojen–elektrolizör–yakıt hücresi gibi depolama/dönüşüm katmanlarıyla birlikte konumlandırılır. Böylece sistem, üretim-tüketim dengesini, güç kalitesi ve sürekliliğini, ekonomik işletmeyi aynı anda ele alan entegre bir enerji ekosistemi haline gelir [2].

Hibrit enerji sistemi, farklı enerji kaynaklarının veya teknolojilerin kombinasyonunu kullanarak daha verimli ve çevre dostu bir enerji üretim veya tüketim sistemi oluşturmayı amaçlayan bir yaklaşımdır. Hibrit sistemler izole (off-grid) sahalarda çok yaygın; ancak şebeke bağlantılı (on-

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

grid) uygulamalarda da (PV+batarya+şebeke, PV+ kojenerasyon vb.) yoğun şekilde kullanılıyor. Hibrit sistemler, genellikle tek bir fosil yakıt kaynağına dayanan daha geleneksel sistemlere alternatif olarak kullanılır.

Bu çalışmada, hibrit enerji sistemlerinin farklı enerji kaynaklarını bir araya getirerek daha güvenilir, verimli ve sürdürülebilir bir enerji üretim yapısı sunduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca sistem performansını etkileyen yük profilleri, kaynak sürekliliği ve çevresel koşullar değerlendirilmiş; tasarım sürecinde dikkate alınması gereken teknik ve ekonomik faktörler ele alınmıştır [3].

1.1. Hibrit Enerji Sistemleri İçin Uygulamalar

Hibrit enerji sistemleri için çok sayıda uygulama alanı bulunmaktadır. En yaygın örnekler; (1) uzak bölgelerde kurulan AC şebekeler, (2) geleneksel bir dağıtım şebekesi üzerinde dağıtık üretim uygulamaları ve (3) izole veya özel amaçlı elektrik.

Hibrit enerji sisteminin klasik ve en sık incelenen örneklerinden biri, uzak bölgelerde dizel yakıtlı AC şebekeleridir. Bu yapılarda temel hedef; dizel jeneratörlerin yakıt tüketimini, bakım gereksinimini ve toplam çalışma saatini azaltarak işletme maliyetlerini düşürmek ve aynı zamanda emisyonları sınırlamaktır. Sistemin "hibritleştirilmesi" çoğunlukla ek bir üretim biriminin—genellikle rüzgâr türbini veya fotovoltaik (PV) jeneratörün—dizel jeneratöre paralel biçimde sisteme dâhil edilmesiyle başlar [4].

1.2. Hibrit Enerji Sistemlerinin Ortaya Çıkış Nedenleri

Hibrit enerji sistemleri; enerji arzının maliyet ve üretim profilindeki belirsizlik ile elektrik talebinin süreklilik ve kalite beklentisi arasında oluşan yapısal uyumsuzluğu azaltmak amacıyla geliştirilmiştir. Özellikle değişken yenilenebilir kaynakların sistemlere entegrasyonunu teknik ve ekonomik olarak daha yönetilebilir hale getirmesi nedeniyle, birçok pazarda kamu politikaları, regülasyonlar ve piyasa tasarımları hibritleşmeyi teşvik edici çerçeveler sunmaktadır [5].

a) Değişken yenilenebilir üretim (intermittency), Güneş ve rüzgâr üretimi doğası gereği dalgalıdır; üretim profili, talebin zirve yaptığı saatlerle her zaman örtüşmeyebilir. Hibrit mimari—özellikle enerji depolama ve gelişmiş kontrol/enerji yönetimi (EMS) ile—bu dalgalanmayı yumuşatarak arzın öngörülebilirliğini ve yönetilebilirliğini artırır. Bu sayede yenilenebilir entegrasyonunun sistem üzerindeki dengeleme yükü azalır ve toplam sistem maliyeti düşürülebilir.

b) Yakıt bağımlılığı ve fiyat oynaklığı, Dizel veya gaz gibi yakıta dayalı üretim; yakıt fiyatı, tedarik zinciri ve lojistik risklere açıktır. Özellikle uzak bölgelerde yakıtın taşınması operasyonel maliyetleri belirgin biçimde artırır. Hibrit sistemler yakıt tüketimini azaltarak hem enerji arz maliyetini hem de tedarik riskini düşürür; bu durum mikroşebekelerde hibritleşmenin başlıca gerekçelerinden biridir.

Bunlara ek olarak hibrit enerji sistemleri, aşağıdaki "sistem faydaları" nedeniyle de önem kazanır:

- Karbon ve emisyon azaltımı: Yakıtlı üretimin daha az çalışması ve yenilenebilir payının artmasıyla emisyonların düşmesi.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

- Arz güvenliği ve dayanıklılık: Yakıt arzı şoklarına, kesintilere ve yerel arızalara karşı daha yüksek sistem dayanımı.
- Şebeke yatırımını erteleme: Pik yüklerin azaltılması ve yerel dengeleme ile hat/trafo yatırımlarının geciktirilebilmesi.
- Kayıp-kaçak ve verimlilik: Yerinde üretim-tüketim sayesinde iletim/dağıtım kayıplarının azalması.
- Esneklik ve yan hizmetler: Frekans desteği, reaktif güç, hızlı yedek gibi hizmetlerin sağlanabilmesi.

Son olarak, hibrit sistemlerin beklenen faydayı üretmesi; kaynakların doğru boyutlandırılmasına ve EMS/kontrol stratejilerinin etkin tasarlanmasına doğrudan bağlıdır.

2. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Hibrit bir sistemin özellikleri ve bileşenleri, büyük ölçüde uygulama alanına bağlı olarak değişir. Bu kapsamda en kritik belirleyici, sistemin izole (şebekeden bağımsız) mi yoksa merkezi bir elektrik şebekesine bağlı mı çalıştığıdır [6].

2.1. Merkezi Şebekeye Bağlı Hibrit Sistemler

Ulusal/ana elektrik şebekesi ile paralel çalışan ve aynı anda birden fazla üretim kaynağını (çoğunlukla güneş/rüzgâr) ve çoğu durumda enerji depolamayı (batarya vb.) entegre eden yapılardır. Amaç, şebekeyi "yedek" gibi kullanmaktan ziyade, maliyet–emisyon–enerji kalitesi–esneklik hedeflerini birlikte optimize etmektir [7].

Temel yapı ve bileşenler: Yenilenebilir üretim:

PV (güneş), rüzgâr (sahaya göre)

- Depolama: Batarya (en yaygın), bazen termal depolama/hidrojen
- Şebeke bağlantısı: Trafo, koruma röleleri, sayaçlar, bağlantı noktası (PCC)
- Güç elektroniği: Şebeke senkron invertörleri, DC/AC dönüştürücüler
- Enerji Yönetim Sistemi (EMS): Üretim–tüketim–depolama–şebeke akışlarını yöneten kontrol katmanı
- (Opsiyonel) Konvansiyonel kaynak: Kojenerasyon/doğal gaz jeneratörü (özellikle sanayide)

Nasıl çalışır?

- Sistem, yükü beslerken aynı anda şebekeden enerji çekebilir veya fazla üretimi şebekeye verebilir.

2.2. İzole şebeke hibrit sistemleri

Merkezi/ulusal elektrik şebekesine bağlı olmayan bir bölgenin elektrik ihtiyacını yerel üretim + depolama + kontrol bileşenleriyle karşılayan hibrit güç sistemleridir [8].

Çalışma mantığı (makale diliyle)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

- Yenilenebilir üretim önceliklendirilir; fazla enerji bataryaya aktarılır.
- Yük arttığında veya yenilenebilir düştüğünde batarya devreye girer.
- Batarya sınırlarına yaklaşıldığında (SoC düşük, güç sınırı, sıcaklık vb.) jeneratör devreye alınır.
- Temel hedef: yakıt tüketimini ve jeneratör çalışma saatlerini azaltırken frekans/gerilim kalitesini korumak.

2.3. İzole veya özel amaçlı hibrit sistemler

Merkezi şebekeden bağımsız çalışan ya da belirli bir operasyonel hedefe (yüksek süreklilik, mobilite, düşük gürültü, emisyon kısıtı, kritik yük besleme gibi) göre tasarlanan hibrit enerji çözümleridir. Bu sistemlerde mimari; yükün karakterine, çevresel koşullara ve görev gereksinimlerine göre özelleştirilir ve çoğunlukla yenilenebilir kaynaklar (PV/rüzgâr), enerji depolama (batarya/termal/hidrojen) ve gerektiğinde yakıtlı jeneratörler aynı kontrol çatısı altında entegre edilir. Amaç, yalnızca enerji üretmek değil; enerji kalitesini güvence altına almak, yakıt lojistiğini azaltmak, işletme maliyetini düşürmek ve saha koşullarında yüksek dayanıklılık sağlamaktır [9].

3. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER

Bir hibrit enerji sisteminde çok geniş bir teknoloji yelpazesi kullanılabilir. Bu bölüm, önceki bölümlere kıyasla bazılarını daha ayrıntılı biçimde açıklamaktadır. Ele alınacak cihazlar; enerji tüketen cihazlar (yükler), dönen elektrik makineleri, yenilenebilir enerji dönüştürücüleri, fosil yakıtlı jeneratörler (çoğu zaman, ancak her zaman değil, dizel), enerji depolama cihazları, güç dönüştürücüler, kontrol sistemleri ve yük yönetimi cihazlarıdır [10].

3.1. Enerji Tüketen Cihazlar(yükler)

Hibrit enerji sistemine bağlı olup elektrik/enerji harcayan cihazlar ve alt sistemler olarak açıklanır. Tüm cihazların toplam enerji gereksinimi toplam yük (total load) ya da kısaca yük olarak adlandırılır. Bunlar; aydınlatma elemanları, elektronik ve bilişim yükleri, ısıtma soğutma havalandırma sistemleri, pompadır [11].

3.2. Döner Elektrik Makineleri

Elektrik enerjisini dönme hareketine (mekanik enerjiye) çeviren (veya tersine) elektrik makineleri. “Döner” denmesinin nedeni, bu makinelerde mil (şaft) ile bağlantılı iç parçanın fiziksel olarak dönmesi; yani makinenin dönen bir iç yapıya sahip olmasıdır. Bu tür makinelerin çoğu, uygulamaya bağlı olarak motor veya jeneratör olarak çalışabilir [12].

3.2.1. Asenkron (İndüksiyon) Jeneratörler

Yapısal olarak bir asenkron motorla aynı olan; ancak dışarıdan mekanik güçle senkron hızın üzerine çıkarılarak çalıştırıldığında elektrik enerjisi üreten döner elektrik makinesidir. Artıları;

- Yapısı basit, dayanıklı, bakım ihtiyacı düşük.
- Şebekeye paralel çalışmada kontrol/işletme kolaylığı.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Hibrit sistemler açısından iki önemli husus vardır. İlk olarak, asenkron makineler kayda değer miktarda reaktif güce ihtiyaç duyar. Bu kritik/çözümsüz bir sorun değildir; ancak sistem tasarımını çeşitli yönlerden etkiler [17].

İkinci husus kalkıştır (devreye alma) ile ilgilidir. Bir asenkron makine durgun hâlden şebekeye bağlandığında, normal çalışmaya kıyasla çok daha yüksek akım çeker. Bu nedenle hibrit sistemin, kendisine bağlı herhangi bir asenkron motoru veya jeneratörü başlatabilecek kapasiteye sahip olmasını sağlayacak önlemler alınmalıdır [13].

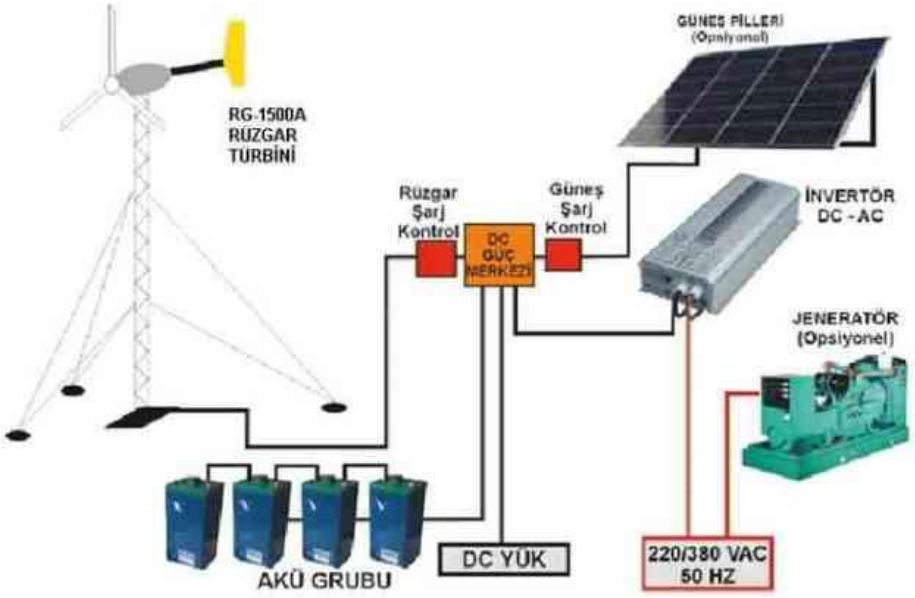


Figure 1. Hibrit Enerji Sistemlerinde Kullanılan Cihazlar ve Düzenlemeleri [14]

3.2.2. Senkron Jeneratörler

Senkron jeneratörler, mekanik enerjiyi alternatif akıma (AC) çeviren ve elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılan elektromekanik cihazlardır. Bu jeneratörler, rotorlarının dönüş hızı ile çıkış frekansı arasında doğrudan bir orantı bulunan sistemlerdir. Diğer bir ifadeyle, senkron jeneratörlerin çıkış frekansı, rotorun mekanik hızına senkronize (eşzamanlı) olarak bağlıdır. Bu özellik, özellikle enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde frekans kararlılığı açısından kritik bir öneme sahiptir.

Endüstride ve enerji üretiminde yaygın olarak tercih edilir. Senkron jeneratörler, elektrik şebekesinde gerilimin düzenlenmesine katkı verebilir ve sistemdeki diğer cihazların ihtiyaç duyduğu reaktif gücü sağlayabilir [14].

3.3.1 Rüzgâr Türbinleri

Dikey, yatay ve eğik olmak üzere 3 çeşittir. Günümüzde enerji üretiminde büyük oranda kullanılan sistemler yatay türbin sistemlerdir. Rüzgar türbinini oluşturan bileşenler; rotor göbeği, kule, kanat, dişli kutusu, fren, jeneratör, nacelle (rüzgar türbinlerinde motor, dişli, ve fren mekanizmasının olduğu bölüm) oluşur. Bir hibrit enerji sistemi açısından rüzgâr türbininin en önemli iki özelliği, kullanır; ancak bazıları jeneratör tipi ve rotor kontrolünün niteliğidir. Rüzgâr türbinlerinin çoğu asenkron (indüksiyon) jeneratör veya senkron jeneratör kullanır. Her iki durumda da jeneratör, elektrik şebekesine doğrudan bağlanabilir ya da bir güç elektroniği

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

dönüştürücüsü üzerinden dolaylı olarak bağlanabilir Rüzgâr türbinlerinde rotor kontrolünün iki temel biçimi vardır: stall (kanat sürüklenmesi/akımdan kopma) kontrolü ve pitch (kanat açısı) kontrolü. Rotor kontrolünün en önemli işlevi, rüzgâr türbinini yüksek rüzgârlardan korumaktır. Hibrit sistemlerde rotor kontrolü ayrıca önemlidir; çünkü hibrit sistem içindeki enerji akışlarının nasıl düzenlendiğini etkiler. Bazı koşullarda (özellikle pitch kontrolünde), rotor ilk devreye alma (start-up) sürecini kolaylaştırmak veya tam çıkış gücü gerekmediğinde üretimi azaltmak amacıyla kontrol edilebilir [15].

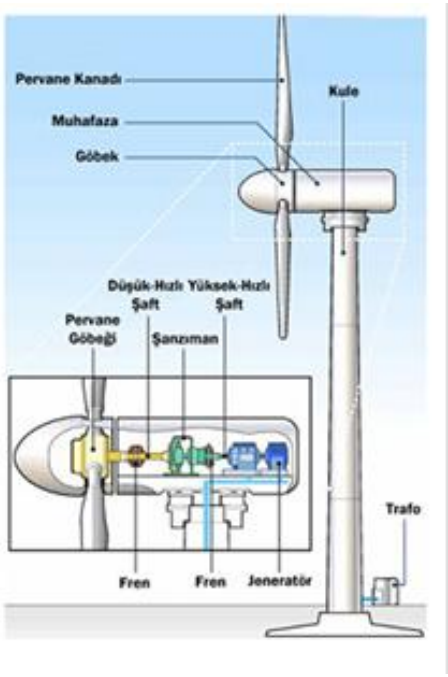


Figure 2. Rüzgar Türbininin Parçaları [15]

3.3.2 Fotovoltaik Paneller

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, fotovoltaik sistemler aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu sistemler; güneş paneli veya fotovoltaik hücre adıyla da bilinmektedir. Yarı iletken teknolojisiyle çalışan fotovoltaik paneller; taşınabilir olmaları, kullanıcı dostu yapıları, düşük bakım ihtiyacı ve estetik tasarımlarıyla öne çıkan cihazlardır. İlk geliştirildikleri dönemlerde, bu panellerin maliyetini karşılayabilme süresi, kullanım ömürlerinden daha uzun olmaktaydı. Ancak günümüzde, özellikle gelişmiş ülkelerde uygulanan teşvikler ve çevre dostu politikalar sayesinde geri dönüş süreleri önemli ölçüde azalmış ve yaklaşık 3–4 yıl seviyelerine kadar gerilemiştir. Bu süre, ülkelere ve kullanım koşullarına göre farklılık gösterebilse de genel eğilim düşüş yönündedir. Uzun yıllardır süregelen araştırma ve geliştirme çalışmaları sayesinde fotovoltaik panellerin üretim maliyetleri giderek azaltılmıştır. Bu doğrultuda, ilerleyen dönemlerde geri ödeme sürelerinin daha da kısalacağı öngörülmektedir [16].

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Figure 3. Fotovoltaik Panel

3.3.3 Hidro Türbinler

Hidroelektrik santraller, dünya genelinde en yaygın kullanılan enerji üretim tesisleri arasında yer almaktadır. Hidroelektrik enerjinin üretimi temelde iki farklı yöntemle açıklanır. Birincisi, suyun bir rezervuarda toplanarak baraj oluşturulması ve bu depolanan suyun kontrollü şekilde kullanılmasıdır. İkincisi ise herhangi bir baraj inşa edilmeden, doğrudan akarsuların doğal akış hızından yararlanılmasıyla enerji elde edilmesidir. Bu sistemlerde suyun sahip olduğu kinetik enerji, hidrolik türbinler aracılığıyla mekanik enerjiye dönüştürülür. Hidrolik türbinler; düşü yüksekliği, güç kapasitesi, milin konumu, suyun akış yönü ve akışın türbine etki biçimine göre çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Kullanım amaçlarına göre ise türbinler etki (impuls) ve tepki (reaksiyon) tipi olarak iki gruba ayrılır. Etki tipi türbinlere Pelton, Turgo ve Banki örnek verilebilirken; tepki tipi türbinler arasında Kaplan ve Francis türbinleri bulunmaktadır. Etki tipi türbinlerde, türbin kanatları suyun içinde yer almaz; su, borular ya da kanallar aracılığıyla yüksek hızla püskürtülerek türbine yönlendirilir ve bu sayede dönme hareketi sağlanır. Tepki tipi türbinler ise aynı düşü ve debi koşullarında daha yüksek devirle çalışabilir. Ancak üretimleri daha zor ve yapıları daha karmaşık olduğu için küçük ölçekli hidroelektrik santrallerde daha az tercih edilirler. Buna karşılık, yüksek debili akarsularda ve büyük ölçekli tesislerde daha yüksek verim sağlarlar [17].

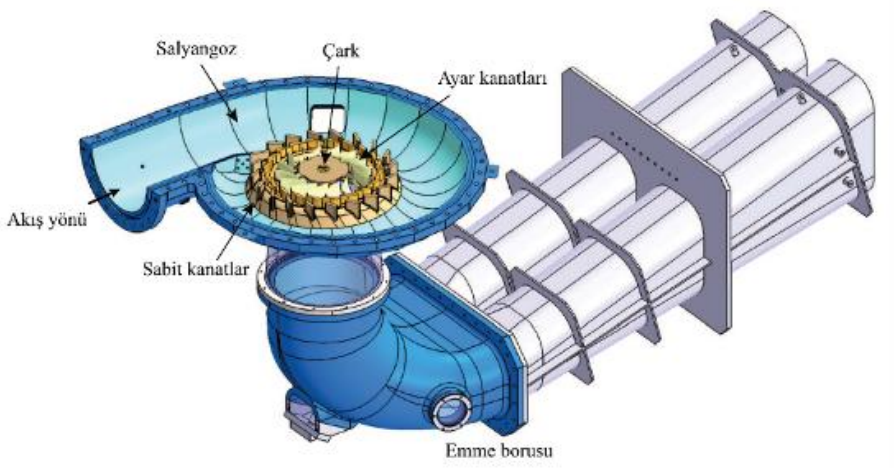


Figure 4. Francis Tipi Türbin [17]

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

3.3.4 Biyokütle Yakıtlı Jeneratörler

Biyokütle yakıtlı jeneratörler, hibrit enerji sistemlerinde zaman zaman kullanılır; ancak izole şebekelerde uygulandıklarında çoğu kez kullanılan tek santral tipi olurlar. Biyokütle yakıtlı jeneratörler, yanma odası/yanıcı (combustor) yapıları ve yakıt elleçleme ekipmanları dışında, geleneksel kömür veya fuel-oil ile çalışan üretim santrallerine oldukça benzer [24].

Biyokütle, yakıt olarak kullanılan her türlü organik malzemedir. Elektrik üretimi açısından biyokütlenin en yaygın kaynakları, orman ürünleri endüstrisinin atıkları veya şeker kamışı endüstrisinin atıklarıdır. Diğer tarımsal atıklar da zaman zaman kullanılmaktadır [25].

Biyokütle jeneratörleri bazen depolama sahası gazı (landfill gas) ile beslenir. Bu tür jeneratörlerde en yaygın primer tahrik elemanı içten yanmalı motordur. Bazı durumlarda yakıt hücreleri de kullanılmıştır [18].

3.3.5. Yakıt Hücreleri

Yakıt pilleri, yanma süreci gerçekleşmeden yakıt ve oksitleyicinin içerdiği kimyasal enerjiyi, sabit elektrot ve elektrolit yapısı sayesinde doğrudan elektrik enerjisine çeviren elektrokimyasal sistemlerdir. Oldukça yüksek verimle çalışırlar ve emisyon değerleri, standartlarda belirtilen sınırların oldukça altındadır. Çalışma prensipleri pilleri andırmakla birlikte, kesintisiz enerji üretimi için sürekli yakıt beslemesine ihtiyaç duyarlar. Bu yakıt çoğunlukla hidrojendir. Yakıt pilleri, hücre olarak da adlandırılmakta olup, hareketli parça içermemeleri nedeniyle sessiz, dayanıklı ve güvenilir sistemlerdir [19].

Elektrolit: Elektrolit, hem reaksiyona giren gazların çözünerek taşınmasını hem de iyonların elektrotlar arasında iletimini sağlar. Yakıt pillerinde sıvı elektrolitler, nemli katı polimerler ve eriyik haldeki maddeler kullanılabilmektedir. Elektrolitin türüne bağlı olarak çalışma sıcaklığı da değişiklik gösterir. Sulu ve polimer bazlı elektrolit kullanan sistemlerde sıcaklık genellikle 80–200 °C arasında (düşük ve orta sıcaklık), eriyik elektrolitli sistemlerde ise 600–1000 °C aralığında (yüksek sıcaklık) olur [20].

Elektrot: Yakıt hücrelerinde genellikle gözenekli gaz elektrotları tercih edilir. Bunun nedeni, reaksiyonların gerçekleştiği yüzey alanının performansı doğrudan etkilemesidir. Gözenekli yapı sayesinde geniş yüzey alanı elde edilir ve bu da daha yüksek akım yoğunluklarına ulaşılmasını sağlar. İdeal bir elektrot yapısında, yüzeyi kaplayan elektrolit tabakasının ince olması gerekir. Böylece iyon birikimi ve derişim kaynaklı kayıplar sınırlı tutulur ve reaksiyonların gerçekleştiği aktif bölgelere madde taşınımı engellenmez. Ayrıca bu yapı, katı-sıvı-gaz fazlarının dengeli şekilde bir araya geldiği kararlı bir ara yüzey oluşturur. Elektrolitin fazla olması durumunda ise gözenekler tıkanabilir ve performans olumsuz etkilenir [21].

Hücre Modülü: Tek bir yakıt pili hücresi genellikle düşük gerilim üretir. Bu nedenle istenen voltaj seviyesine ulaşmak için birden fazla hücre seri şekilde birleştirilir ve ara bağlantılarla desteklenerek modül haline getirilir. Yakıt Pillerinin Çalışma Prensibi: Tipik bir yakıt hücresinde, hidrojen gibi yakıtlar anot (negatif elektrot) tarafına sürekli olarak beslenirken, oksijen ise katot (pozitif elektrot) tarafına iletilir. Elektrotlarda gerçekleşen elektrokimyasal reaksiyonlar sonucunda elektron akışı oluşur ve bu da elektrik enerjisi üretimini sağlar [22].

3.4. Fosil Yakıtlı Jeneratörler

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Kömür, petrol ve doğalgaz gibi hidrokarbon temelli fosil yakıtlar, günümüzde geleneksel enerji üretim tesislerinde yaygın olarak kullanılan temel enerji kaynaklarıdır. Fosil yakıtlı santrallerde, kömür kazanları ve genel proses yapısı çerçevesinde suyun buhara dönüşümü sağlanır ve elde edilen buhar, buhar türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisine çevrilir. Bu tesislerde ana yakıt olarak kullanılan kömür, öncelikle "pulverize" adı verilen ince toz haline getirilir ve ardından ısıtılmış hava ile birlikte yanma gerçekleşmesi için kazan içerisine püskürtülür.

Yanma verimini artırmak amacıyla kullanılan hava ısıtıcıları, kompresörlerden gelen havayı ısıtarak daha etkin bir yanma süreci sağlar ve aynı zamanda baca gazlarının uygun sıcaklıklara düşürülmesine yardımcı olur. Kazanlar ise bu santrallerin en önemli bileşenlerinden biridir; yanma sonucu ortaya çıkan ısıyı suya aktararak buhar üretimini sağlayan basınçlı ve kapalı sistemlerdir. Kazanların etkin çalışabilmesi için su besleme sistemi, kızdırıcılar ile yakıt ve buhar sistemleri gibi yardımcı alt birimler birlikte görev yapar.

Fosil yakıtlı santrallerde su-buhar çevrimi büyük önem taşır. Buhar üretimi için kullanılan suya besleme suyu denir ve bu su, sistemin ihtiyacına göre sürekli olarak devreye verilir. Türbin çıkışında yoğuşan buhar ise tekrar sisteme kazandırılarak besleme suyunun ana kaynağını oluşturur. Verimliliği artırmak amacıyla bazı santrallerde, baca gazlarının içerdiği atık ısıdan yararlanarak besleme suyunun önceden ısıtılmasını sağlayan ekonomizer sistemleri kullanılır. Yakıt sistemi, kazana gerekli yakıtı sağlayarak yanma sürecini desteklerken; buhar sistemi de üretilen buharın boru hatları aracılığıyla ihtiyaç duyulan noktalara iletilmesini sağlar [23].

3.5. Enerji Depolama

3.5.1 Enerji Depolamanın Önemi

Günümüzde nüfus artışı ve sanayileşmenin hız kazanmasıyla birlikte enerjiye olan ihtiyaç giderek artmakta, ancak ülkemizin sınırlı enerji kaynakları bu talebi karşılamakta yetersiz kalmaktadır. Bu durum, enerji üretimi ile tüketimi arasındaki açığın hızla büyümesine neden olmaktadır. Böyle bir tabloda, mevcut enerji kaynaklarının daha verimli ve etkin şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin etkin biçimde depolanması ve ihtiyaçlara uygun dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesi önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır [24].

3.5.2 Enerji Depolamanın Amacı ve Faydaları

Enerji depolama sistemleri, bir taraftan enerji kullanım süreçlerinde ortaya çıkan atık enerjinin geri kazanılarak depolanmasını sağlarken, diğer taraftan ise yalnızca belirli zaman dilimlerinde üretim yapabilen yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin saklanmasına imkân tanır. Bu sayede, enerjinin üretildiği zaman ile ihtiyaç duyulduğu zaman arasındaki dengesizlik giderilmiş olur. Böyle bir yaklaşım, enerji sistemlerinin genel verimliliğini artırırken aynı zamanda önemli ölçüde enerji tasarrufu elde edilmesine katkı sağlar [25].

3.5.3 Enerji Depolama Yöntemleri

Enerjinin ihtiyaç duyulan zamanda kullanılabilmesi için saklanması işlemine enerji depolama adı verilir. Etkili bir depolama sisteminde bulunması gereken temel özellikler arasında yüksek enerji depolama kapasitesi, yüksek şarj ve deşarj verimliliği, düşük seviyede kendiliğinden boşalma ve minimum kapasite kaybı yer alır. Bunun yanı sıra uzun ömürlü, ekonomik ve yüksek

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

enerji yoğunluğuna sahip olması da önemli kriterlerdendir. Başka bir ifadeyle, enerji mümkün olan en küçük hacim ve ağırlıkta depolanabilmelidir [26].

4. ENERJİ YÜKLERİ

Hibrit enerji sistemlerinin tasarım ve işletme başarısını belirleyen temel unsurlardan biri, sistemin besleyeceği enerji yüklerinin doğru tanımlanmasıdır. Yük; bir tesisin, yerleşimin veya uygulamanın elektrik talebini ifade eder ve büyüklüğü yalnızca toplam enerji tüketimiyle (kWh) değil, aynı zamanda anlık güç ihtiyacıyla (kW), talebin gün içindeki dağılımıyla ve güç kalitesi beklentileriyle değerlendirilmelidir. Bu nedenle hibrit sistem projelerinde yük analizi, üretim ve depolama boyutlandırmasının doğrudan girdisidir.

Enerji yükleri genellikle kritik ve kritik olmayan yükler olarak sınıflandırılır. Kritik yükler; kesintiye toleransı düşük olan hastane ekipmanları, haberleşme altyapısı, su pompalama/arıtma gibi birimleri kapsar ve yüksek süreklilik gerektirir. Kritik olmayan yükler ise belirli sürelerle ertelenebilen veya kısılabilen aydınlatma, bazı prosesler ya da konfor yükleri gibi tüketimleri içerir. Bu ayrım, özellikle izole şebekeli hibrit sistemlerde kesinti riskinin azaltılması ve sınırlı kaynakların en verimli biçimde yönetilmesi açısından önem taşır.

Yüklerin bir diğer kritik özelliği yük profilidir. Yük profili; talebin saatlik, günlük ve mevsimsel değişimini gösterir. Örneğin konut ağırlıklı bölgelerde akşam saatlerinde talep artarken, ticari yapılarda gündüz saatlerinde tepe değerler görülebilir. Sanayi uygulamalarında ise proses karakteri nedeniyle daha düz bir talep profili oluşabilir. Hibrit sistemlerde PV üretiminin gündüz yoğunlaşması, bu profillerle örtüşmediğinde depolama ihtiyacı ve kontrol stratejisi daha belirleyici hale gelir [27].

Son olarak hibrit enerji sistemlerinde yük yönetimi yaklaşımı önemli bir esneklik alanı oluşturur. Talep tarafı yönetimi ile pik yüklerin düşürülmesi, bazı yüklerin zamanlanması (ör. su pompalarının güneş üretiminin yüksek olduğu saatlere kaydırılması) veya gerektiğinde yük atma uygulanması mümkündür. Böylece aynı enerji hizmeti seviyesi, daha düşük jeneratör çalışması ve daha küçük depolama kapasitesiyle sağlanabilir. Dolayısıyla enerji yüklerinin doğru sınıflandırılması, ölçülmesi ve yönetilmesi; hibrit enerji sistemlerinde maliyet, emisyon ve süreklilik performansının temel belirleyicilerinden biridir [28].

5. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ KARAKTERİSTİKLERİ

Hibrit enerji sistemlerinde yenilenebilir kaynakların performansı, sistemin üretim kapasitesini belirlemekle kalmaz; aynı zamanda depolama ihtiyacını, kontrol stratejisini ve ekonomik fizibiliteyi doğrudan etkiler. Bu nedenle tasarım sürecinde güneş ve rüzgâr gibi kaynakların zamansal değişkenliği, mevsimselliği ve tahmin edilebilirliği ayrıntılı biçimde analiz edilmelidir. Yenilenebilir üretimin “yakıtı” ücretsiz olsa da, üretim profilinin belirsizliği sistemin dengeleme maliyetini artırabileceğinden hibrit mimaride doğru kaynak değerlendirmesi kritik bir adımdır [29].

Güneş enerjisi açısından temel belirleyici parametre, yatay düzleme gelen toplam ışınımın (GHI) yanı sıra panel düzlemindeki ışınım (POA) ve sıcaklık etkileridir. PV üretimi gün içinde belirgin bir eğri izler; bulut geçişleri kısa süreli hızlı düşüşlere yol açabilir. Ayrıca mevsimsel olarak yaz–kış üretim farkı ve panel sıcaklığının verimi azaltması (özellikle sıcak iklimlerde) dikkate alınmalıdır. Bu değişkenlik, PV’nin tek başına yükü sürekli beslemesini zorlaştırır; bu

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

nedenle batarya ve/veya jeneratör desteği hibrit sistemlerde PV entegrasyonunu "planlanabilir" hale getirir [30].

Rüzgâr enerjisinde ise üretimi belirleyen ana unsur, rüzgâr hızının dağılımı ve türbinin güç eğrisidir. Rüzgâr kaynakları çoğu bölgede saatlik ve mevsimsel olarak PV'den farklı davranabildiği için hibrit sistemlerde tamamlayıcılık avantajı sağlayabilir; örneğin bazı sahalarda rüzgârın gece artması, PV'nin olmadığı saatlerde üretim açığını azaltır. Bununla birlikte rüzgâr, türbülans, yön değişimi ve aşırı hızlarda türbinin kendini korumaya alması gibi nedenlerle kesintili karakter gösterebilir. Bu nedenle rüzgâr değerlendirmesinde uzun dönem ölçüm verisi, hub yüksekliği düzeltmeleri ve güvenilir istatistiksel analiz önem taşır [31].

Yenilenebilir kaynakların tasarım açısından en kritik çıktılarından biri kapasite faktörü ve üretim sürekliliği göstergeleridir. Kapasite faktörü, kurulu güce göre yıl boyunca beklenen enerji üretimini ifade eder; ancak tek başına yeterli değildir. Hibrit sistemlerde asıl belirleyici olan, üretimin yükle örtüşme derecesi ve düşük üretim dönemlerinin süresidir. Özellikle izole şebekelerde birkaç gün süren düşük güneş/rüzgâr koşulları, depolama boyutunu ve yedek kaynak gereksinimini belirleyen temel risk senaryolarındandır [32].

Son olarak kaynak karakteristiklerinin doğru ele alınabilmesi için ölçüm, veri kalitesi ve tahminleme süreçleri önemlidir. İdeal yaklaşım; sahaya özgü meteorolojik verilerle (ışınım, sıcaklık, rüzgâr hızı/yönü) kısa dönem dinamikleri ve uzun dönem ortalamaları birlikte değerlendirmek, belirsizlikleri senaryo analiziyle test etmektir. Böylece yenilenebilir üretimin değişkenliği, hibrit mimaride depolama, jeneratör ve kontrol stratejileri ile dengelenerek daha güvenilir ve ekonomik bir enerji arzı sağlanabilir [33].

6. TASARIM KRİTERLERİ VE BOYUTLANDIRMA

Hibrit enerji sistemlerinde tasarımın temel amacı, yükün süreklilik ve kalite gereksinimlerini karşılayacak şekilde üretim–depolama–yedekleme bileşenlerini doğru kapasitede seçmektir. Bu süreçte ilk adım, yük profilinin (kW/kWh), kritik yük oranının ve kabul edilebilir kesinti seviyesinin netleştirilmesidir. Ardından saha koşullarına göre güneş/rüzgâr kaynak potansiyeli değerlendirilir ve sistem mimarisi (şebekeye bağlı veya izole) belirlenir [34].

Boyutlandırmada PV ve/veya rüzgâr kurulu gücü, yıllık enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde değil, yükle örtüşmeyi artıracak şekilde optimize edilir. Depolama tarafında ise yalnızca enerji kapasitesi (kWh) değil, güç kapasitesi (kW) ve bataryanın minimum–maksimum doluluk sınırları da dikkate alınır. İzole sistemlerde düşük üretim dönemleri ve pik yükler daha belirleyici olduğundan, batarya ve yedek jeneratör kapasitesi "en kötü durum" senaryolarına göre test edilmelidir [35].

7. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNDE EKONOMİ

Hibrit enerji sistemleri çoğu durumda ilk yatırım maliyeti yüksek çözümler olarak değerlendirilir; çünkü yenilenebilir üretim birimleri, enerji depolama sistemleri, güç elektroniği ve kontrol altyapısı aynı anda kurulumu gerektirir. Ancak ekonomik değerlendirme yalnızca başlangıç maliyetine göre yapılmaz. Sistem devreye girdikten sonra yükün önemli bir kısmını yenilenebilir kaynaklardan karşılaması ve depolama sayesinde üretim–tüketim dengesini daha verimli yönetmesi, zaman içinde şebekeden enerji çekişini veya yakıt tüketimini azaltır. Bu azalma, işletme giderlerini düşürerek ilk yatırımın etkisini kademeli biçimde telafi eder.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Özellikle yakıtlı üretimin yoğun olduğu uygulamalarda hibritleşme; jeneratörün çalışma saatlerini azaltır, bakım ihtiyacını düşürür ve yakıt fiyat oynaklığına karşı maliyetleri daha öngörülebilir hale getirir. Şebeke bağlantılı uygulamalarda ise öz tüketimin artması, pik talebin düşmesi ve bazı durumlarda şebekeye verilen enerji/yan hizmet gelirleri, ekonomik performansı güçlendirebilir. Bu nedenle hibrit sistemler, kısa vadede pahalı görünse bile yaşam döngüsü boyunca (kurulumdan işletmeye ve ekipman yenilemelerine kadar) toplam maliyet dikkate alındığında çoğu senaryoda daha avantajlı bir noktaya ulaşır [36].

Ekonomik fizibiliteyi doğru göstermek için analizler genellikle yaşam döngüsü maliyeti, geri ödeme süresi ve sistemin ürettiği birim enerji maliyeti gibi göstergeler üzerinden yapılır. Sonuçlar; elektrik fiyatı, yakıt maliyeti, batarya ömrü, bakım koşulları ve olası teşvik mekanizmaları gibi parametrelere duyarlıdır. Doğru boyutlandırılmış ve iyi yönetilen bir hibrit sistem, başlangıçtaki yüksek yatırımı zamanla amorti ederek uzun vadede daha düşük maliyetli ve daha güvenilir bir enerji çözümü sunar [37].

8. HİBRİT ENERJİ SİSTEMLERİNDE EĞİLİMLER

Hibrit enerji sistemlerinde son dönemdeki en belirgin eğilim, güneş paneli ve batarya kullanımının hızla artmasıdır. Bataryaların yaygınlaşmasıyla birlikte, gündüz üretilen güneş enerjisi boşa gitmeden depolanıp akşam saatlerinde kullanılabildiği için hibrit sistemler daha işlevsel hale gelmiştir. Aynı zamanda bu sistemler artık yalnızca uzak bölgelerde değil; evlerde, iş yerlerinde, fabrikalarda ve kampüslerde de maliyetleri düşürmek ve kesintilere karşı güvence sağlamak için tercih edilmektedir [38].

Bir diğer önemli eğilim, hibrit sistemlerin “daha akıllı” çalışmasıdır. Yeni nesil kontrol yazılımları, ne zaman bataryanın şarj edileceğini, ne zaman kullanılacağını ve gerekirse jeneratörün ne zaman devreye gireceğini otomatik olarak yöneterek enerji kullanımını daha verimli hale getirir. Şebeke bağlantılı yerlerde ise amaç sadece elektrik üretmek değil; fatura düşürmek, ani tüketim artışlarını dengelemek ve bazı durumlarda şebekeye destek vermektir.

Ayrıca çevre etkisi daha fazla önem kazandığı için hibrit sistemlerde yakıtlı jeneratörün daha az çalıştırılması hedefi güçlenmektedir. Bazı projelerde uzun süreli depolama ihtiyacı için bataryaya ek olarak hidrojen gibi seçenekler de konuşulmaya başlanmıştır. Genel olarak eğilim, hibrit sistemlerin daha erişilebilir, daha pratik ve daha düşük maliyetli hale gelerek günlük hayatta daha fazla yerde kullanılmasına doğru ilerlemektedir [39, 40].

8. SONUÇ

Bu çalışmada hibrit enerji sistemleri; yapısal özellikleri, kullanım alanları, sistem bileşenleri, enerji yükleri, yenilenebilir kaynak karakteristikleri, tasarım ölçütleri, ekonomik boyutları ve güncel gelişim eğilimleri çerçevesinde bütüncül olarak değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda, hibrit enerji sistemlerinin farklı enerji kaynaklarını ve depolama teknolojilerini aynı yapı içerisinde birleştirerek tekil enerji üretim sistemlerine kıyasla daha güvenilir, daha esnek ve daha sürdürülebilir bir çözüm sunduğu görülmüştür. Özellikle güneş ve rüzgâr gibi kesintili yenilenebilir kaynakların batarya, jeneratör ve gelişmiş kontrol sistemleriyle desteklenmesi; enerji arz sürekliliğinin sağlanması, yakıt tüketiminin azaltılması ve çevresel etkilerin sınırlandırılması açısından önemli avantajlar oluşturmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Çalışmada ayrıca hibrit sistem performansının yalnızca kurulu güç büyüklüklerine değil; yük profilinin doğru analiz edilmesine, yenilenebilir kaynakların zamansal değişkenliğinin gerçekçi biçimde değerlendirilmesine, enerji depolama kapasitesinin uygun seçilmesine ve enerji yönetim stratejilerinin etkinliğine doğrudan bağlı olduğu ortaya konmuştur. Bu nedenle hibrit enerji sistemlerinin tasarımında teknik uygunluk ile ekonomik fizibilitenin birlikte ele alınması kritik öneme sahiptir. Doğru boyutlandırılmış ve iyi yönetilen hibrit sistemler, ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da yaşam döngüsü boyunca daha düşük işletme gideri, daha yüksek enerji verimliliği ve daha güçlü arz güvenliği sağlayabilmektedir.

Sonuç olarak hibrit enerji sistemleri, hem izole bölgelerde hem de şebeke bağlantılı uygulamalarda geleceğin enerji altyapısında stratejik bir rol üstlenmektedir. Batarya teknolojilerindeki gelişmeler, akıllı enerji yönetim sistemlerinin yaygınlaşması ve alternatif depolama çözümlerinin devreye girmesiyle birlikte bu sistemlerin daha erişilebilir, daha ekonomik ve daha yaygın hale gelmesi beklenmektedir. Bu yönüyle hibrit enerji sistemleri, artan enerji talebinin karşılanmasında, fosil yakıtlara bağımlılığın azaltılmasında ve sürdürülebilir enerji politikalarının desteklenmesinde güçlü bir mühendislik çözümü olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Sinha, S., & Chandel, S. S. (2014). Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 32*, 192–205.

[2] Afrouzi, H. N., Hassan, A., Wimalaratna, Y. P., Ahmed, J., Mehranzamir, K., Liew, S. C., & Malek, Z. A. (2021). Sizing and economic analysis of stand-alone hybrid photovoltaic-wind system for rural electrification: A case study of Lundu, Sarawak. *Clean Engineering and Technology, 4*, 100191.

[3] Pourbehzadi, M., Niknam, T., Aghaei, J., Mokryani, G., Shafie-Khah, M., & Catalão, J. P. S. (2019). Optimal operation of hybrid AC/DC microgrids under uncertainty of renewable energy resources: A comprehensive review. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 109*, 139–159.

[4] Roy, P., He, J., Zhao, T., & Singh, Y. V. (2022). Recent advances of wind-solar hybrid renewable energy systems for power generation: A review. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, 3*, 81–104.

[5] Almutairi, K., Hosseini Dehshiri, S. S., Hosseini Dehshiri, S. J., Mostafaeipour, A., Issakhov, A., & Techato, K. (2021). Use of a hybrid wind-solar-diesel-battery energy system to power buildings in remote areas: A case study. *Sustainability, 13*, 8764.

[6] Goel, S., & Sharma, R. (2017). Performance evaluation of stand-alone, grid-connected and hybrid renewable energy systems for rural application: A comparative review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 78*, 1378–1389.

[7] Hassan, Q., Algburi, S., Sameen, A. Z., Salman, H. M., & Jaszczur, M. (2023). A review of hybrid renewable energy systems: Solar and wind-powered solutions: Challenges, opportunities, and policy implications. *Results in Engineering, 20*, 101621.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[8] Olatomiwa, L., Mekhilef, S., Ismail, M. S., & Moghavvemi, M. (2016). Energy management strategies in hybrid renewable energy systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62*, 821–835.

[9] Khezri, R., & Mahmoudi, A. (2020). Review on the state-of-the-art multi-objective optimisation of hybrid standalone/grid-connected energy systems. *IET Generation, Transmission & Distribution, 14*, 4285–4300.

[10] Faccio, M., Gamberi, M., Bortolini, M., & Nedaei, M. (2018). State-of-art review of the optimization methods to design the configuration of hybrid renewable energy systems (HRESs). *Frontiers in Energy, 12*(4), 591–622.

[11] León Gómez, J. C., De León Aldaco, S. E., & Aguayo Alquicira, J. (2023). A review of hybrid renewable energy systems: Architectures, battery systems, and optimization techniques. *Eng, 4*(2), 1446–1467.

[12] Lian, J., Zhang, Y., Ma, C., Yang, Y., & Chaima, E. (2019). A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems. *Energy Conversion and Management, 199*, 112027.

[13] Padrón, I., Avila, D., Marichal, G. N., & Rodríguez, J. A. (2019). Assessment of hybrid renewable energy systems to supplied energy to autonomous desalination systems in two islands of the Canary Archipelago. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 101*, 221–230.

[14] Sarıhan, S., (2011). Yenilenebilir Enerjide Hibrid Sistemlerin Önemi. Elektrik Prot, 1, 1.

[15] K. Başaran, N. S. Çetin, H. Çelik, Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması, *6th International Advanced Technologies Symposium* (IATS'11), pp.114-119, 16-18 Mayıs 2011, Elazığ

[16] S. Rüstemli, S. Rüstemli, F. Dinçer, M. Çelik ve MS Cengiz, "Fotovoltaik Paneller: Güneş Takip Sistemleri ve İklimlendirme Sistemleri", Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi , cilt. 2, hayır. 2, s. 141–147, Aralık 2013, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://izlik.org/JA64LZ34HY

[17] Saçma, S., Eskikale, T., & Orhon, B. E. (2018). Francis türbinlerinde döner girdap halatının titreşim ölçümleriyle belirlenmesi. *Mühendis ve Makina*, 59(691), 71-84.

[18] Nehrir, M. H., Wang, C., Strunz, K., Aki, H., Ramakumar, R., Bing, J., Miao, Z., & Salameh, Z. (2011). A review of hybrid renewable/alternative energy systems for electric power generation: Configurations, control, and applications. *IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2*(4), 392–403.

[19] Nema, P., Nema, R. K., & Rangnekar, S. (2009). A current and future state of art development of hybrid energy system using wind and PV-solar: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13*(8), 2096–2103.

[20] Kavadias, K. A., & Triantafyllou, P. (2021). Hybrid renewable energy systems' optimisation: A review and extended comparison of the most-used software tools. *Energies, 14*, 8268.

[21] Bahramara, S., Moghaddam, M. P., & Haghifam, M. R. (2016). Optimal planning of hybrid renewable energy systems using HOMER: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 62*, 609–620.

[22] Çavuşoğlu, A. (2006). *Yakıt pilleri ve kullanım alanları* (Order No. 28739900). Available from ProQuest Dissertations & Theses Global. (2586961485). Retrieved from https://www.proquest.com/dissertations-theses/yakıt-pilleri-ve-kullanım-alanları/docview/2586961485/se-2

[23] Tunçkaya, Y. (2019). Fosil Yakıtlı Bir Enerji Santrali Prosesinin Modellenmesi ve Ana Buhar Basıncı Parametresinin Kestirim Başarımı Analizi. *Duzce University Journal of Science and Technology*, *7*(1), 488-504.

[24] M. Kozak ve Ş. Kozak, "ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ", IJTS , cilt. 4, hayır. 2, s. 17–29, Haziran 2012, [Çevrimiçi]. Mevcut: https://izlik.org/JA99FL32WU

[25] Khosravani, A., Safaei, E., Reynolds, M., Kelly, K. E., & Powell, K. M. (2023). Challenges of reaching high renewable fractions in hybrid renewable energy systems. *Energy Reports, 9*, 1000–1017.

[26] Shaahid, S., & El-Amin, I. (2009). Techno-economic evaluation of off-grid hybrid photovoltaic-diesel-battery power systems for rural electrification in Saudi Arabia—A way forward for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13*, 625–633.

[27] Siddaiah, R., & Saini, R. P. (2016). A review on planning, configurations, modeling and optimization techniques of hybrid renewable energy systems for off grid applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58*, 376–396.

[28] Sinha, S., & Chandel, S. S. (2014). Review of software tools for hybrid renewable energy systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 32*, 192–205.

[29]Koç, E., & Kaya, K. (2015). ENERJİ KAYNAKLARI–YENİLENEBİLİR ENERJİ DURUMU. Mühendis ve Makina, 56(668), 36-47. https://izlik.org/JA72CZ62MU

[30] Stecca, M., Elizondo, L. R., Soeiro, T. B., Bauer, P., & Palensky, P. (2020). A comprehensive review of the integration of battery energy storage systems into distribution networks. *IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society, 1*, 46–65.

[31] İlkılıç, Z. (2016). Türkiye'de Rüzgar Enerjisi ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Gelişimi. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 6(2/2), 1-13. https://izlik.org/JA29KF22XF

[32] Erdinc, O., & Uzunoglu, M. (2012). Optimum design of hybrid renewable energy systems: Overview of different approaches. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*(3), 1412–1425.

[33] Mazzeo, D., Matera, N., De Luca, P., Baglivo, C., Congedo, P. M., & Oliveti, G. (2021). A literature review and statistical analysis of photovoltaic-wind hybrid renewable system

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

research by considering the most relevant 550 articles: An upgradable matrix literature database. *Journal of Cleaner Production, 295,* 126070.

[34] Babatunde, O. M., Munda, J. L., & Hamam, Y. (2020). A comprehensive state-of-the-art survey on hybrid renewable energy system operations and planning. *IEEE Access, 8*, 75313–75346.

[35] Bajpai, P., & Dash, V. (2012). Hybrid renewable energy systems for power generation in stand-alone applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16*(5), 2926–2939.

[36] Mahmoud, F. S., Diab, A. A. Z., Ali, Z. M., El-Sayed, A.-H. M., Alquthami, T., Ahmed, M., & Ramadan, H. A. (2022). Optimal sizing of smart hybrid renewable energy system using different optimization algorithms. *Energy Reports, 8,* 4935–4956.

[37] Suresh, V., Muralidhar, M., & Kiranmayi, R. (2020). Modelling and optimization of an off-grid hybrid renewable energy system for electrification in rural areas. *Energy Reports, 6,* 594–604.

[38] Sawle, Y., Gupta, S. C., & Bohre, A. K. (2018). Review of hybrid renewable energy systems with comparative analysis of off-grid hybrid system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81,* 2217–2235.

[39] Koç, E., & Kaya, K. (2015). Enerji kaynaklari–yenilenebilir enerji durumu. *Mühendis ve Makina*, *56*(668), 36-47.

[40] Manwell, J. F. (2004). Hybrid energy systems. Encyclopedia of energy, 3(2004), 215-229.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

TÜFEK NAMLUSUNDA MERMİ HAREKETİNİN VE OLUŞAN TİTREŞİMLERİN MATEMATİKSEL MODELLENMESİ VE SAYISAL ANALİZİ

Abdurrahman AKBAŞ[a, 1], Süha SARI[a, 2], Mete KALYONCU[b, 3]

[a] AKDAŞ Silah Anonim Şirketi, Huğlu, Konya, TÜRKİYE

[b] Konya Teknik Üniversitesi, Makina Müh. Bölümü, Konya, TÜRKİYE

[1] ORCID ID: 0009-0001-4111-4237, arge@akdassilah.com

[2] ORCID ID: 0009-0005-5273-3147, arge2@akdassilah.com

[3] ORCID ID: 0000-0002-2214-7631, mkalyoncu@ktun.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, tüfek namlusu içerisinde hareket eden merminin dinamik davranışı ve bu hareketin neden olduğu namlu titreşimleri matematiksel olarak modellenmiş ve sayısal olarak analiz edilmiştir. Geliştirilen model, iç balistik denklemleri ile yapısal dinamik denklemlerini eş zamanlı çözmektedir. Namlu, Euler-Bernoulli kiriş teorisi ile modellenmiş olup, mermi-namlü temas kuvveti Hertz temas teorisi ile hesaplanmıştır. Simülasyonlar, 5.56 mm NATO M855 mermisi için gerçekçi basınç-zaman verisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mermi çıkış hızı (943.8 m/s), namlu ağzı titreşim genliği (0.100 mm) ve modal tepkiler (50 μm) açısından deneysel verilerle iyi uyum göstermektedir. Geliştirilen model, tüfek namlusu tasarımı ve atış doğruluğu optimizasyonu için etkili bir araç olarak kullanılabilir.

Anahtar Kelimeler: İç Balistik, Namlu Titreşimi, Modal Analiz, Mermi-Namlu Etkileşimi, Matematiksel Modelleme, 5.56 mm NATO.

MATHEMATICAL MODELING AND NUMERICAL ANALYSIS OF PROJECTILE MOTION AND INDUCED BARREL VIBRATIONS IN RIFLES

ABSTRACT

In this study, the dynamic behavior of a projectile moving inside a rifle barrel and the resulting barrel vibrations are mathematically modeled and numerically analyzed. The developed model

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

simultaneously solves interior ballistic equations and structural dynamics equations. The barrel is modeled using Euler-Bernoulli beam theory, while the projectile-barrel contact force is calculated using Hertz contact theory. Simulations are performed using realistic pressure-time data for 5.56 mm NATO M855 ammunition. The obtained results show good agreement with experimental data in terms of muzzle velocity (943.8 m/s), muzzle displacement amplitude (0.100 mm), and modal responses (50 μm). The developed model can be effectively used as a tool for rifle barrel design and accuracy optimization.

Keywords: Interior Ballistics, Barrel Vibration, Modal Analysis, Projectile-Barrel Interaction, Mathematical Modeling, 5.56 mm NATO.

1. GİRİŞ

Tüfek namlularında ateşleme anında meydana gelen dinamik olaylar, merminin namlu içindeki hareketi ve bu hareketin namluda oluşturduğu titreşimler, atış doğruluğunu doğrudan etkileyen kritik faktörlerdir. Mermi namlu içinde ilerlerken, barut gazlarının yüksek basıncı altında ivmelenirken, aynı zamanda namlu cidarına temas ederek yapısal titreşimlere neden olur. Bu titreşimler, namlu ağzında sapma ve açısal hız değişimlerine yol açarak merminin hedefe isabet oranını etkiler. Literatürde, iç balistik ve yapısal dinamik problemleri genellikle ayrı ayrı ele alınmıştır [1-11]. Ancak, mermi-namlu etkileşiminin tam olarak anlaşılabilmesi için bu iki disiplinin eş zamanlı olarak modellenmesi gerekmektedir [12]. Bu çalışmada, iç balistik denklemleri ile Euler-Bernoulli kiriş teorisine dayalı namlu titreşim denklemleri eş zamanlı çözülerek, mermi hareketi ve namlu titreşimleri bütüncül bir yaklaşımla incelenmiştir. Geliştirilen model, 5.56 mm NATO M855 mermisi için tanımlanan gerçekçi basınç-zaman verisi ile beslenmiş ve 5.56 mm NATO M855 mermisi için sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları, deneysel verilerle karşılaştırılarak modelin doğruluğu değerlendirilmiştir.

2. MATEMATİKSEL MODEL

2.1. İç Balistik Modeli

Mermi arkasındaki barut gazı basıncı, adyabatik genişleme süreci ile modellenmiştir. Basınç-zaman ilişkisi, deneysel verilerden elde edilen eğri kullanılarak tanımlanmıştır:

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

$$P(t) = P_0 \left(\frac{V_0}{V_0 + A_b x(t)} \right)^{\gamma}$$

Burada:

- $P(t)$: Zamana bağlı gaz basıncı [Pa]
- P_0: İlk basınç [Pa]
- V_0: İlk hacim (kartuş hacmi) [m³]
- A_b: Namlu kesit alanı [m²]
- $x(t)$: Mermi konumu [m]
- γ: Adyabatik indeks (1.3)

Mermi üzerine etkiyen net kuvvet:

$$F_{net}(t) = A_b P(t) - \mu A_b P(t) - F_c(t)$$

Mermi hareket denklemi:

$$m_p \frac{d^2 x}{dt^2} = F_{net}(t)$$

Burada:

- m_p: Mermi kütlesi [kg]
- μ: Sürtünme katsayısı
- $F_c(t)$: Mermi-namlu temas kuvveti [N]

2.2. Namlu Titreşim Modeli

Namlunun yanal titreşimleri, Euler-Bernoulli kiriş teorisi ile modellenmiştir. Namlu, bir ucu ankastre (şarjör tarafı), diğer ucu serbest (namlu ağzı) olan bir kiriş olarak ele alınmıştır.

Kısmi diferansiyel denklem:

$$\rho_b A_b \frac{\partial^2 y(z,t)}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 y(z,t)}{\partial z^4} = f(z,t)$$

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Burada:

- ρ_b: Namlu malzemesi yoğunluğu [kg/m³]
- E: Elastisite modülü [Pa]
- I: Kesit atalet momenti [m⁴]
- $y(z,t)$: Yanal deplasman [m]
- $f(z,t)$: Birim uzunluğa etkiyen dış kuvvet [N/m]

Sınır şartları:

- Ankastre uç ($z = 0$): $y(0,t) = 0, \frac{\partial y(0,t)}{\partial z} = 0$
- Serbest uç ($z = L$): $EI\frac{\partial^2 y(L,t)}{\partial z^2} = 0, EI\frac{\partial^3 y(L,t)}{\partial z^3} = 0$

2.3. Modal Analiz

Ankastre-serbest kirişin mod şekilleri:

$$\phi_i(z) = \cosh(\beta_i z) - \cos(\beta_i z) - \sigma_i(\sinh(\beta_i z) - \sin(\beta_i z))$$

$$\sigma_i = \frac{\cosh(\beta_i L) + \cos(\beta_i L)}{\sinh(\beta_i L) + \sin(\beta_i L)}$$

Karakteristik denklem:

$$\cos(\beta_i L)\cosh(\beta_i L) = -1$$

Doğal frekanslar:

$$\omega_i = \sqrt{\frac{EI}{\rho_b A_b}}\beta_i^2$$

2.4. Mermi-Namlu Temas Kuvveti

Mermi ile namlu arasındaki temas kuvveti, Hertz temas teorisine dayalı olarak modellenmiştir:

$$F_c(t) = k_c \cdot \delta(t)^{1.2} + c_c \cdot \dot{\delta}(t)$$

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

$$\delta(t) = | y(x(t), t) | - e(t)$$

Burada:

- k_c: Temas rijitliği [N/m]
- c_c: Temas sönümü [N·s/m]
- $\delta(t)$: Penetrasyon [m]
- $e(t)$: Zamanla değişen eksantriklik [m]

Zamanla değişen eksantriklik:

$$e(t) = e_0 \left(1 + \alpha \frac{x(t)}{L}\right)$$

2.5. Modal Süperpozisyon

Namlu deplasmanı, modal koordinatlar cinsinden ifade edilir:

$$y(z,t) = \sum_{i=1}^{n} q_i\,(t)\phi_i(z)$$

Modal denklem:

$$\ddot{q}_i(t) + 2\zeta_i\omega_i\dot{q}_i(t) + \omega_i^2 q_i(t) = \frac{1}{M_i}\int_0^L f(z,t)\,\phi_i(z)dz$$

Hareketli yük için:

$$\int_0^L F_c\,(t)\delta(z - x(t))\phi_i(z)dz = F_c(t)\phi_i(x(t))$$

3. SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMİ

3.1. Zaman Entegrasyonu

Mermi hareket denkleminin çözümü için 4. derece Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, yüksek doğruluk ve sayısal kararlılık sağlamaktadır. Namlu titreşim denklemlerinin çözümü için Newmark yöntemi (ortalama ivme yöntemi, $\beta = 0.25, \gamma = 0.5$) uygulanmıştır. Bu

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

yöntem, koşulsuz kararlı olup yapısal dinamik problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Zaman adımı $\Delta t = 2 \times 10^{-7}$ s olarak seçilmiştir. Bu değer, sistemin en yüksek doğal frekansının (3193 Hz) Nyquist frekansının yaklaşık 15 katı olup, sayısal kararlılık ve doğruluk açısından yeterlidir.

3.2. Modal Analiz

İlk 5 mod için doğal frekanslar hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1. Titreşim mod ve frekansları

Mod No.	Frekans (Hz)
1	182.0
2	1140.3
3	3193.0
4	6256.9
5	10343.2

Sönüm oranları, ampirik olarak $\zeta_i = 0.03$ (%3) olarak alınmıştır.

4. SİMÜLASYON PARAMETRELERİ

Simülasyonda kullanılan parametreler aşağıdaki gibidir:

Geometrik parametreler:

- Namlu uzunluğu: $L = 0.508$ m (20 inç)
- Namlu iç çapı: $D_{iç} = 5.56$ mm
- Namlu dış çapı: $D_{dış} = 19$ mm
- Namlu kesit alanı: $A_b = 2.43 \times 10^{-5}$ m²

Malzeme parametreleri:

- Yoğunluk: $\rho_b = 7800$ kg/m³
- Elastisite modülü: $E = 2.1 \times 10^{11}$ Pa
- Atalet momenti: $I = \pi\left(D_{dış}^4 - D_{iç}^4\right)/64$

Mermi parametreleri:

- Kütle: $m_p = 4.02$ g (62 grain)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

- Sürtünme katsayısı: $\mu = 0.485$

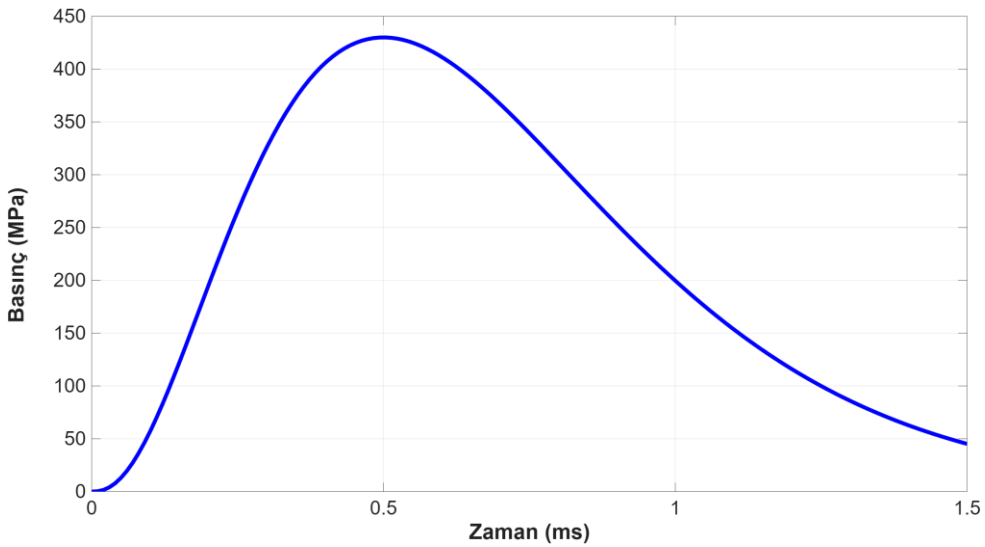
Temas parametreleri:

- Eksantriklik: $e_0 = 1.0$ mm
- Temas rijitliği: $k_c = 2.5 \times 10^9$ N/m
- Temas sönümü: $c_c = 6000$ N·s/m
- Eksantriklik artış katsayısı: $\alpha = 1.2$
- Newmark yöntemi (β=0.25, γ=0.5) uygulanmıştır. Zaman adımı $\Delta t = 2\times10^{-7}$ s olarak seçilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Barut Gazı Basıncı

Şekil 1' de standart 5.56 mm NATO mühimmatı için barut gazı basıncının zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Basınç, ateşleme sonrası hızla yükselerek t ≈ 0.5 ms' de maksimum 430 MPa değerine ulaşmakta, ardından mermi ilerledikçe hacim artışına bağlı olarak üssel şekilde azalmaktadır. Bu basınç eğrisi, 5.56 mm NATO mühimmatı için tipik bir karakteristik sergilemektedir.



Şekil 1. Barut gazı basıncının zamana bağlı değişimi

5.2. Mermi Konumu ve Hızı

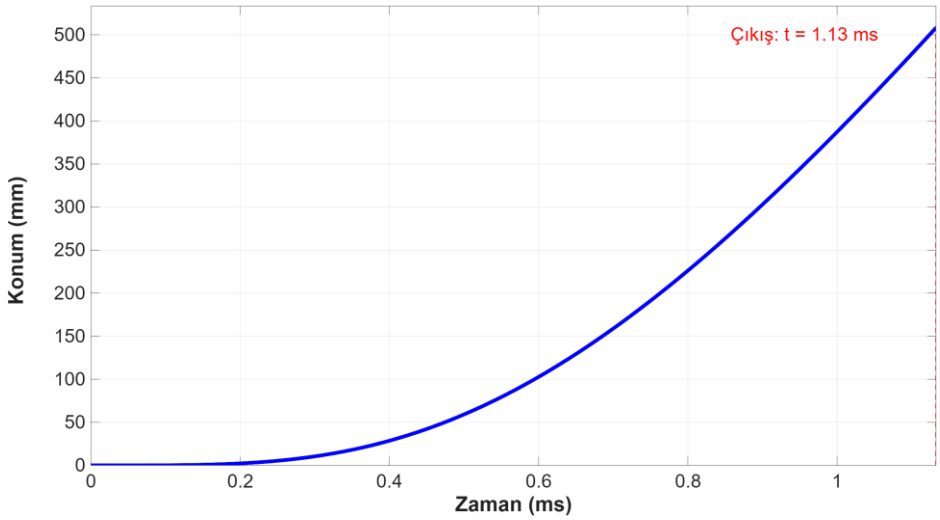
Şekil 2'de mermi konumunun zamana bağlı değişimi gösterilmektedir. Mermi, t = 0 anında namlu başlangıcından harekete başlamakta ve t = 1.132 ms'de 508 mm namlu uzunluğunu kat ederek namluyu terk etmektedir. Konum eğrisi, merminin namlu içinde düzgün ivmelenen bir

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

hareket yaptığını göstermektedir. Şekil 3'te mermi hızının zamana bağlı değişimi verilmektedir. Mermi hızı, basınç eğrisine paralel olarak hızla artmakta ve namlu çıkışında 943.8 m/s değerine ulaşmaktadır. Bu değer, 5.56 mm NATO M855 (62 grain) mermisi için literatürde bildirilen 920-950 m/s aralığı ile uyumlu olup, modelin doğruluğunu göstermektedir.

5.3. Namlu Ağzı Titreşimleri

Mermi namlu içinde ilerlerken, mermi-namlu temas kuvvetinin etkisiyle namlu ucu salınım yapmakta, mermi çıkışından sonra ise sönümlü serbest titreşim devam etmektedir. Maksimum namlu uç deplasmanı 0.100 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değer, tipik bir tüfek namlusu için beklenen 0.08-0.18 mm aralığında olup, atış doğruluğu üzerinde ihmal edilebilir düzeyde etkiye sahiptir. Titreşimin sönümlenme süresi yaklaşık 2 ms olup, sönüm oranının $\zeta = 0.03$ olarak seçilmesinin gerçekçi olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Mermi konumunun zamana bağlı değişimi

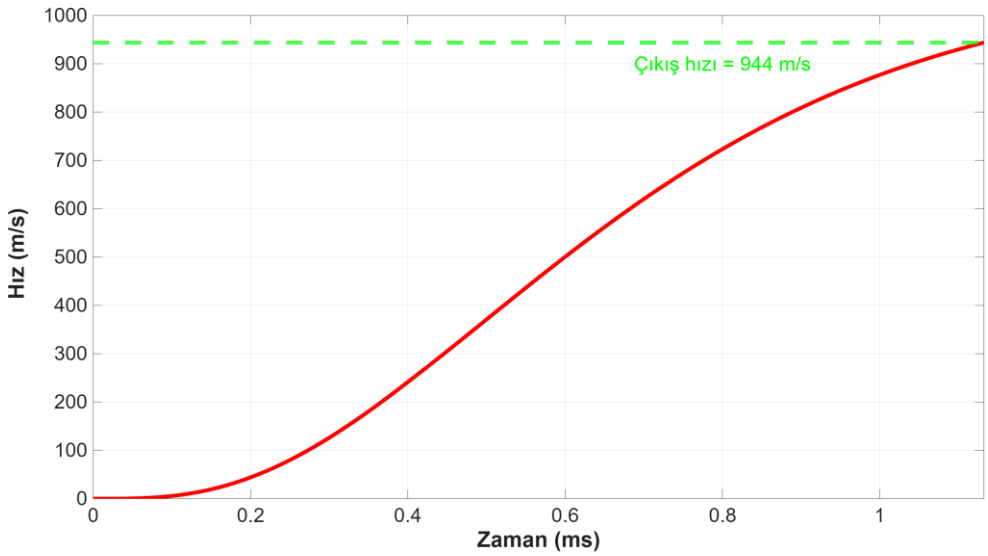
5.4. Mermi-Namlu Temas Kuvveti

Mermi ile namlu arasındaki temas kuvveti zamana bağlı olarak değişmektedir. Temas kuvveti, mermi $x \approx 50$ mm civarına ulaştıktan sonra ortaya çıkmakta ve namlu çıkışına kadar yaklaşık 300 N (0.30 kN) değerinde kalmaktadır. Bu kuvvet değeri, namlu aşınması açısından güvenli seviyededir. Temas kuvvetinin stabil seyretmesi, modelin sayısal kararlılığını ve parametre seçimlerinin uygunluğunu göstermektedir.

5.5. Modal Tepkiler

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Bu çalışmada, üç mod için modal koordinatların (q_i) zamanla değişimi hesaplanmıştır. Mod 1 (182.0 Hz) baskın durumda olup, maksimum genliği 50 μm olarak hesaplanmıştır. Mod 2 (1140.3 Hz) ve Mod 3 (3193.0 Hz)'ün tepkilerinin etkisi ise daha düşük seviyededir. Bu durum, namlunun esas olarak birinci modda titreştiğini ve yüksek modların sistem dinamiğine anlamlı katkı yapmadığını göstermektedir. Bu bulgu, ankastre-serbest kirişlerin dinamik davranışı ile tutarlıdır.



Şekil 3. Mermi hızının zamana bağlı değişimi

5.6. Frekans Spektrumu Analizi

Namlu ağzı titreşiminin frekans spektrumu incelenmiştir. Spektrumda 182 Hz'de belirgin bir pik görülmektedir. Bu pik, sistemin birinci doğal frekansı ile tam uyumludur. İkinci moda ait pik (1140 Hz) daha düşük genlikte olup, sistemin bu frekansta zorlanmadığını göstermektedir. Spektrum analizi, modelin modal analiz sonuçlarını doğrulamakta ve namlu titreşimlerinin esas olarak birinci mod tarafından karakterize edildiğini teyit etmektedir.

6. PARAMETRİK ANALİZ

6.1. Sürtünme Katsayısının Etkisi

Sürtünme katsayısı μ'nun mermi çıkış hızına etkisi incelenmiştir. μ = 0.380 iken çıkış hızı 1084.5 m/s iken, μ = 0.485' e çıkarıldığında çıkış hızı 943.8 m/s'ye düşmüştür. Bu değişim, sürtünmenin mermi çıkış hızı üzerindeki önemli etkisini göstermektedir. Titreşim genliği ise aynı parametre değişiminde 0.20 mm'den 0.10 mm'ye düşmüştür.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

6.2. Eksantrikliğin Etkisi

Eksantriklik e_0 = 1.3 mm iken maksimum namlu uç deplasmanı 0.20 mm iken, e_0 = 1.0 mm'ye düşürüldüğünde deplasman 0.10 mm'ye inmiştir. Bu durum, eksantrikliğin titreşim genliğini doğrudan etkilediğini ve atış doğruluğu optimizasyonunda kritik bir parametre olduğunu göstermektedir.

7. Sonuçlar

Bu çalışmada, tüfek namlusu içerisinde hareket eden merminin dinamik davranışı ve bu hareketin neden olduğu namlu titreşimleri, bütüncül bir matematiksel model ile analiz edilmiştir. Bu çalışma, tüfek namlusu dinamiklerinin matematiksel modellenmesi ve sayısal analizi konusunda yapılan bir çalışmayı özetlemektedir. Geliştirilen model ve elde edilen sonuçlar, savunma sanayinde namlu tasarımı ve atış doğruluğu optimizasyonu çalışmalarına katkı sağlayacaktır. Geliştirilen model, iç balistik denklemleri ile yapısal dinamik denklemlerini eş zamanlı çözmekte olup, aşağıdaki önemli sonuçlara ulaşılmıştır:

1. **Model Doğrulaması:** Geliştirilen model, 5.56 mm NATO M855 mermisi için deneysel verilerle uyumlu sonuçlar üretmiştir. Mermi çıkış hızı (943.8 m/s), namlu içinde kalma süresi (1.132 ms) ve titreşim genliği (0.100 mm) literatürdeki değerlerle tutarlıdır.
2. **Titreşim Davranışı:** Namlu ağzı titreşimlerinde birinci mod (182 Hz) baskın durumdadır. Maksimum deplasman 0.100 mm olup, bu değer atış doğruluğu açısından kabul edilebilir seviyededir.
3. **Temas Kuvveti:** Mermi-namlu temas kuvveti 300 N civarında hesaplanmış olup, namlu aşınması açısından güvenli seviyededir. Temas kuvveti mermi ilerledikçe stabil kalmaktadır.
4. **Parametrik Duyarlılık:** Sürtünme katsayısı ve eksantriklik, sistem davranışını en çok etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerin doğru seçilmesi, modelin gerçekçiliği açısından kritik öneme sahiptir.
5. **Sayısal Kararlılık:** Newmark yöntemi (β=0.25, γ=0.5) ve RK4 yöntemi kombinasyonu, $\Delta t = 2 \times 10^{-7}$ s zaman adımı ile kararlı ve doğru sonuçlar vermiştir.

KAYNAKLAR

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[1]. Cronemberger, P. O., E. P. Lima Junior, J. A. M. Gois, ve A. B. Caldeira. «Theoretical and Experimental Study of The Interior Ballistics of a Rifle 7.62 .» Instituto Militar de Engenharia, Aralık 2014.

[2]. Deng, S., H. K. Sun, ve Chung-Jung Chiu. «Rifles ın-bore finite element transient analysis.» International Conference on Mechanical, Production and Materials Engineering. Bangkok, 2012.

[3]. Öztürk, Ali Rıza. İç Balistik. Ankara: T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Makina Ve Kimya Endüstrisi Kurumu Genel Müdürlüğü Özel Yayınları, 1984.

[4]. Peköksüz, M., Kılınçoğlu, İ., Kalyoncu, M., 2022, Vibration Suppression of a Gun Barrel Using Tuned Mass Damper, 11th Internatıonal Istanbul Scientific Research Congress, İstanbul, October 15-17, pp. 290-296.

[5]. Peköksüz, M., Kılınçoğlu, İ., Kalyoncu, M., 2022, Namlu Harmonik Düzenleyicisinin Namlu Ağzı Konumuna Etkisi, 5. Uluslararası Fen Bilimler ve İnovasyon Kongresi, Ankara, 11-12 November, pp. 107-116

[6]. Peköksüz, M., Öğüt, A., Kılınçoğlu, İ., Kalyoncu, M., 2022, Namlu Harmonik Düzenleyicisinin Atış İsabetliliğine Etkisi, 7. Uluslararası Asya Modern Bilimler Kongresi, 9-11 Aralık 2022, Olongapo City, Filipinler, pp.162-170.

[7]. Peköksüz, M., Tellioğlu, H., Kılınçoğlu, İ., Kalyoncu, M., 2022, Bir Namlunun Namlu Ağzı Titreşiminin Modellenmesi ve Analizi, 2. Uluslararası Taşkent Modern Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 16-17 Aralık 2022, Taşkent, Özbekistan, pp.817-824.

[8]. Pihtili, Haşim, ve Ramazan Yildirim. «Investigation of the Effect of Various Types and Features of Grooved Barrels on the Range of Firearms.» Defence Science Journal, Ocak 2023: 11-19.

[9]. Sun, Jia, Guangsong Chen, Linfang Qian, ve Taisu Liu. «Analysis of Gun Barrel Rifling Twist.» School of Mechanical Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, 2014.

[10]. Sızır, M., Kalyoncu, M., Namlu Uzunluğunun Namlu Çıkış Hızına Etkisi, 8.Uluslararası ICONTECH Pozitif Bilimlerde Yenilikçi Araştırmalar Kongresi, Bakü, Azerbaycan, pp. 641-646, 16-18 Mart 2024.

[11]. Wei, Zhifang, Yangyang Cheng, Zhiwei Wang, ve Yanpeng Lin. «Simulation Study on the Impact Response of Barrels with Different Rifling Profiles during Bullet Engraving.» Modelling and Simulation in Engineering, 2022.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[12]. Sarı, S., Akbaş, A., Kalyoncu, M., Tüfek Namlusu Dinamiklerinin Parametrik Analizi: Namlu Boyu ve Sürtünme Katsayısının Mermi Çıkış Hızına Etkisi, ATLAS 17. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyon Kongresi, Roma, İtalya, 28 Nisan - 2 Mayıs 2026,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SELÜLOZ NANOKRISTAL TAKVİYELİ EPOKSI YAPIŞTIRICILARIN ÇEKME PERFORMANSI VE TERMOMEKANIK KARARLILIĞI

Doç. Dr. Benek Hamamcı

Kafkas Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, benekhamamci@kafkas.edu.tr-
https://orcid.org/0000-0002-5180-6798

ÖZET

Bu çalışmada, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde hafifletilmiş yapı tasarımları için büyük önem taşıyan AA7075-T6 alüminyum alaşımı ile karbon fiber takviyeli plastik (KFTP) malzemelerin yapıştırıcı ile birleştirilebilirliği incelenmiştir. Yapısal bağlantıların performansını maksimize etmek amacıyla alt tabaka yüzeylerine mekanik kenetlenmeyi artırıcı taşlama işlemi uygulanmıştır. Ek olarak, yapışma arayüzeyini ve kohezif dayanımı güçlendirmek için epoksi bazlı yapısal yapıştırıcı Araldite 2015 matrisine Selüloz Nanokristal (Nano SNK) ilave edilmiştir. Çalışma kapsamında katkısız referans, %0.5 ve %1 oranlarında nano SNK içeren yapıştırıcılar kullanılarak tek bindirmeli bağlantı (TBB) numuneleri hazırlanmıştır. Geliştirilen nano-modifiye bağlantıların mekanik yük taşıma kapasiteleri çekme testleri ile değerlendirilirken, polimer matrisin termomekanik davranışları ve viskoelastik özellikleri Dinamik Mekanik Analiz (DMA) cihazı ile karakterize edilmiştir. %0.5 nano SNK katkısının matris içerisinde homojen dağılarak bağlantının maksimum çekme mukavemetini dolgusuz yapıştırıcılara kıyasla önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. %1 oranındaki katkıda ise artan viskozite ve olası topaklanma etkilerine rağmen yüksek rijitlik elde edilmiştir. Ayrıca DMA sonuçları, yüksek yüzey alanına sahip nano SNK partiküllerinin polimer zincir hareketliliğini kısıtlayarak yapıştırıcının depolama modülünü belirgin şekilde yükselttiğini ve camsı geçiş sıcaklığını (T_g) daha yüksek derecelere taşıyarak termal kararlılığı artırdığını ortaya koymuştur. Sonuç olarak, taşlanmış yüzeyler üzerinde Nano SNK katkılı yapıştırıcıların kullanımı, ileri mühendislik uygulamaları için yüksek mukavemetli ve termal açıdan dirençli, güvenilir bağlantılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: AA7075-T6, CFRP, Araldite 2015, Nano SNK, DMA, Çekme Dayanımı

1. GIRIŞ

İmalat yöntemleri arasında birleştirme işlemleri, sürdürülebilir üretim için kabul edilmiş bir teknolojidir [1]. Günümüzde havacılık, uzay ve otomotiv gibi yüksek performanslı sektörlerde, yakıt verimliliğini artırmak ve karbon emisyonlarını azaltmak amacıyla hafifletilmiş yapı tasarımları üzerine olan ilgi giderek artar hale gelmiştir [1–4]. Bu bağlamda, yüksek spesifik mukavemeti ve korozyon direnciyle bilinen AA7075-T6 alüminyum alaşımları ile KFTP kompozitlerin bir arada kullanıldığı hibrit yapılar, modern mühendislik uygulamalarının vazgeçilmez bir parçası olmuştur.

Farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip malzemenin güvenilir bir şekilde birleştirilmesi, yapısal bütünlüğün korunması açısından kritik bir öneme sahiptir [5]. Geleneksel mekanik

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

perçinleme ve cıvatalama yöntemleri, kompozit malzemelerde delik delme ihtiyacı nedeniyle lif hasarlarına ve bölgesel stres yığılmalarına yol açarak bağlantı ömrünü kısıtlamaktadır [6]. Bu dezavantajları ortadan kaldırmak amacıyla, yükün yüzeye homojen dağılmasını sağlayan ve ağırlık artışına neden olmayan "yapısal yapıştırıcılar" ile birleştirme yöntemi, yaygın bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır [7].

Ancak, yapıştırma teknolojisinin başarısı doğrudan yapışma arayüzeyindeki etkileşime ve yapıştırıcının kohezif dayanımına bağlıdır [7,8]. Bağlantı performansını maksimize etmek için taban yüzeylerine uygulanan taşlama gibi yüzey hazırlık işlemleri, mekanik kenetlenmeyi artırmada kilit rol oynamaktadır [9,10]. Öte yandan, polimer matrisin kendi dayanıklılığını ve termal kararlılığını artırmak için nanoteknolojik çözümlere başvurulmaktadır [11,12]. Bu noktada, yüksek özgül yüzey alanı, muazzam mekanik direnci ve çevre dostu yapısıyla nano SNK [13], epoksi esaslı yapıştırıcıların modifikasyonunda yenilikçi bir takviye elemanı olarak öne çıkmaktadır.

Bu çalışmanın temel motivasyonu, AA7075-T6 ve CFRP malzemelerden oluşan TBBların, nano SNK (10-20 nm genişlik, 300-900 nm uzunluk) takviyesinin hem mekanik yük taşıma kapasitesine hem de malzemenin termomekanik davranışlarına olan etkisini kapsamlı bir şekilde ortaya koymaktır. Çalışma kapsamında, farklı oranlarda nanokristal içeren bağlantıların çekme performansları analiz edilmiş; ayrıca malzemenin viskoelastik özellikleri ve T_g üzerindeki değişimler DMA yöntemleri ile karakterize edilerek endüstriyel uygulamalar için optimum bir değer sunulması hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Malzemeler

Çalışmada yapıştırılacak alt tabaka malzemeleri olarak AA7075-T6 alüminyum alaşımı ve KFTP kullanılmıştır. AA7075-T6 2mm kalınlığa sahip plakalar Seykoç firması tarafından temin edilmiştir. Yapıştırıcı matris olarak havacılık standartlarında sıkça tercih edilen iki bileşenli epoksi bazlı yapısal yapıştırıcı Araldite 2015 (Dost Kimya) seçilmiştir. Matris modifikasyonu için takviye elemanı olarak nano SNK partikülleri Naografi firmasından tedarik edilmiştir. Nano SNK partiküllerinin boyutları 10-20 nm genişlik ve 300-900 nm uzunluk aralığındadır. Çizelge 1 de AA7075-T6, KFTP, nano SNK ve Araldite 2015 in mekanik verileri verilmiştir.

Table 1. Malzemelerin mekanik özellikleri

AA7075-T6

Çekme akma dayanımı, σy [MPa]	460-505
Çekme kopma mukavemeti, σf [MPa]	530-570
Çekme gerilme uzaması, εf [%]	10
Vickers hardness, [HV]	140-160

Nano SNK

Yoğunluk [g/cm³]	1.49
Young modülü, [GPa]	110-150

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Çekme Dayanımı [GPa]	7.5-10

KFTP

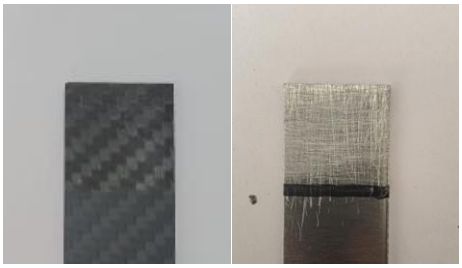
Young modülü, E [GPa]	70.07±0.83
Poisson oranı, υ	0.3
Çekme akma dayanımı, σy [MPa]	261.67±7.65
Çekme kopma mukavemeti, σf [MPa]	324.00±0.16
Vickers sertliği, [HV]	100

Aralidite 2015

Young modülü, E [GPa]	1.85±0.21
Poisson oranı, ν	0.33
Çekme, akma gerilimi, σy [MPa]	12.63±0.61
Çekme mukavemeti σf [MPa]	21.63±1.61

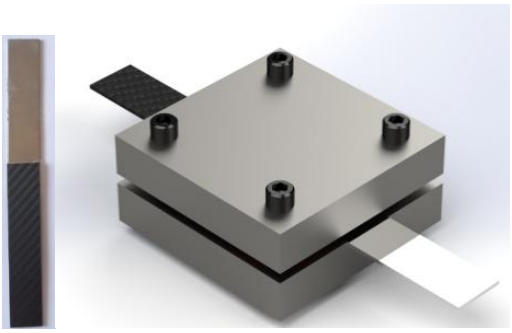
2.2. Numune Hazırlama

AA7075-T6 ve KFTP plakalar, TBB test standartlarına uygun olarak 101.6 x 25.4 x 2 mm ebatlarında kesilmiştir. Yapıştırma öncesinde, arayüzeydeki mekanik kenetlenmeyi maksimize etmek amacıyla alt tabaka yüzeylerine 120 grit taşlama işlemi uygulanmıştır Görsel 1. Taşlama işleminin ardından yüzeyler, kirliliklerden tamamen arındırılmıştır.



Görsel 1. Taşlanmış KFTP ve AA7075-T6 numunelerinin yüzey görüntüleri

Kalıp köşelerde 4 adet yuvarlak başlı vida ile sabitlemiştir. Kalıp aralarına ölçüsü 2.15mm olan parçalar yerleştirilerek yapıştırma kalınlıkları tam olarak ayarlanmıştır.



Görsel 2. TBB bağlantısı ve yapıştırma bağlantı kalıbı

Araldite 2015 içerisine katkısız referans (%0), %0.5 ve %1 oranlarında nano SNK ilave edilerek ultrasonik karıştırma yöntemleri ile homojenize edilmiştir. Hazırlanan nano-modifiye

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

yapıştırıcılar kullanılarak TBB numuneleri üretilmiş ve standart kürlenme prosedürüne tabi tutulmuştur.

2.3. Mekanik ve Termomekanik Testler

Geliştirilen nano SNK modifiyeli yapıştırma bağlantılarının yapısal performansı ve malzeme karakteristikleri, statik ve dinamik test yöntemleri kombinasyonu ile kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir.

2.3.1. Çekme Testleri

TBB' lara sahip numunelerinin mekanik yük taşıma kapasiteleri ve kopma davranışları, ASTM D5868 standardı referans alınarak tayin edilmiştir. Testler, bilgisayar kontrollü BESMAK BMT-E universal test cihazında, 50kN yük hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, çevresel etkilerin minimize edilmesi amacıyla standart laboratuvar şartlarında 20°C sıcaklık ve %10 nem yürütülmüştür. Yapıştırıcı hattındaki gerilme dağılımını hassas bir şekilde gözlemleyebilmek adına quasi-statik yükleme hızı 1 mm/dk olarak belirlenmiştir. Her bir konfigürasyon yani referans, %0.5 ve %1 nano SNK için en az 3 adet numune test edilmiş; maksimum kayma kuvveti ve kopma uzaması değerleri kaydedilerek istatistiksel ortalamaları alınmıştır.

2.3.2. Dinamik Mekanik Analiz (DMA)

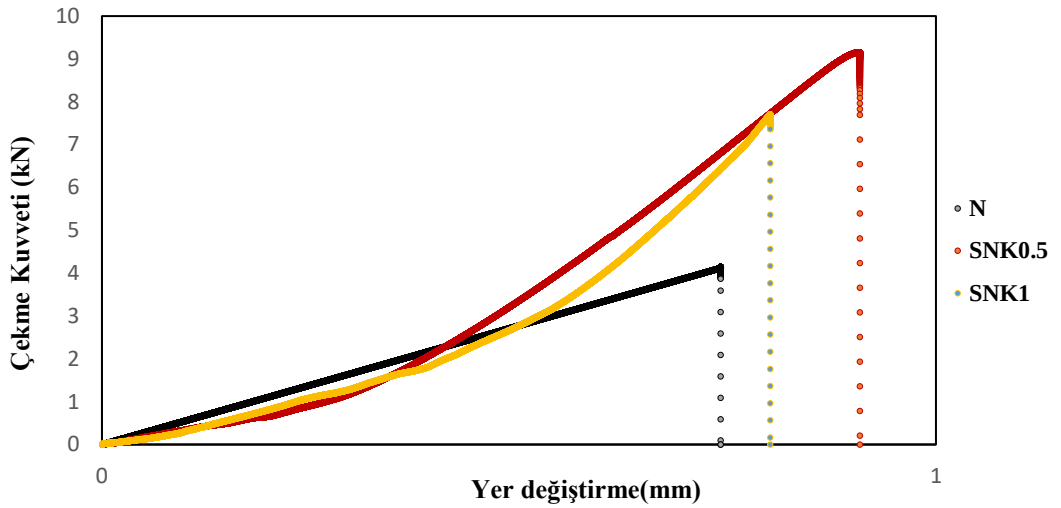
Nano SNK takviyesinin epoksi matrisin viskoelastik özellikleri ve T_g üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla DMA gerçekleştirilmiştir. Bu analiz, malzemenin sıcaklığa bağlı olarak enerji depolama ve sönümleme kapasitesindeki değişimleri kantitatif olarak ortaya koymaktadır. Üç nokta eğme modunda, polimerik numuneler üzerinde yürütülmüştür. Numuneler oda sıcaklığından başlayarak 180°C sıcaklığa kadar, 2-5 °C/dk ısıtma hızında termal taramaya tabi tutulmuştur. Analizler, malzemenin dinamik yanıtını ölçmek için 1 Hz sabit frekansta gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda depolama Modülü (E') malzemenin elastik sertliği ve yük taşıma kapasitesi, Kayıp Modülü (E") Isı olarak dağıtılan enerji miktarı ve tan-delta E"/E' oranı ile sönümleme faktörü ve pik noktası üzerinden Tg değerleri analiz edilmiştir.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

3.1. TBB Bağlantılarının Mekanik Performansı

Farklı oranlarda nano SNK ilavesinin TBB bağlantılarının mekanik davranışı üzerindeki etkileri Görsel 3'te sunulmuştur. Deneysel veriler, nanopartikül takviyesinin yük taşıma kapasitesini ve bağlantı rijitliğini dikkate değer ölçüde iyileştirdiğini kanıtlamaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 3. Farklı nano SNK konsantrasyonlarına sahip TBB numunelerinin çekme kuvveti-yerdeğiştirme grafikleri

Katkısız referans numunelere kıyasla, %0.5 nano SNK içeren bağlantılarda çekme-kayma mukavemetinde %22-29 aralığında bir artış kaydedilmiştir. Bu iyileşme, nanopartiküllerin epoksi matris içerisinde sahip olduğu yüksek yüzey alanı/hacim oranı ve buna bağlı olarak gelişen güçlü arayüzey etkileşimleri ile açıklanabilir. Düşük konsantrasyonda homojen bir dağılım sergileyen nano SNK partikülleri, polimer zincirleri arasında bir köprü görevi görerek dış yükün matristen takviye elemanına etkin bir şekilde aktarılmasını sağlamıştır.

Nano SNK oranı %1 seviyesine çıkarıldığında, mukavemet değerleri referans numunelerin üzerinde kalmasına rağmen %0.5'lik gruba göre bir düşüş eğilimi göstermiştir. Bu fenomenin temelinde iki ana neden yatmaktadır. İlki artan nanopartikül konsantrasyonu, van der Waals kuvvetleri etkisiyle matris içerisinde yerel topaklanmalara yol açarak gerilme yığılma noktaları oluşturmuştur. Bu durum, nanopartiküllerin matris içindeki agregasyonundan kaynaklanmaktadır. İkincisi ise yapıştırıcı viskozitesindeki artış, uygulama esnasında arayüzey kısıtlamış ve mikro-boşlukların oluşmasına zemin hazırlamıştır.

Grafikteki eğimler incelendiğinde, nano-takviyenin malzemenin deformasyona karşı direncini sistematik olarak artırdığı görülmektedir. Özellikle %1 nano SNK içeren numuneler en yüksek rijitliği sergilerken, %0.5'lik oran hem mukavemet hem de süneklik açısından en dengeli performansı sunarak optimum değer olarak belirlenmiştir.

Görsel 3'te gözlemlenen mukavemet artışı, AA7075-T6 alaşımının yüzey hazırlığı sonrası elde edilen mekanik kenetlenme etkisiyle doğrudan ilişkilidir. Yapıştırıcının taşlanmış yüzeydeki mikro gözeneklere nüfuz etmesi, arayüzeyde güçlü bir fiziksel bağ oluşturmuştur. %0,5 Nano SNK ilavesiyle matrisin rijitliğinin artması, bu mekanik kilitlenmenin verimliliğini yükselterek hibrit yapının toplam yük taşıma kapasitesini maksimize etmiştir. Bu sinerjik etki, adhezyon kalitesini artırarak hasarın daha yüksek yüklerde meydana gelmesini sağlamıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

3.2. Termomekanik Karakterizasyon

Nano SNK takviyesinin epoksi matrisin viskoelastik özellikleri ve termal kararlılığı üzerindeki etkilerini doğrulamaktadır. Görsel 4 (a, b ve c) üzerinden yapılan analizler, nanopartikül konsantrasyonuna bağlı olarak malzemenin termomekanik yanıtında meydana gelen değişimleri ortaya koymaktadır.

3.2.1. Depolama Modülü (E') ve Yapısal Rijitlik

Görsel 4 (a)'da görüldüğü üzere, oda sıcaklığındaki E' değerleri, nano SNK ilavesiyle birlikte katkısız numuneye kıyasla artış göstermiştir. En yüksek modül artışı %0.5 nano SNK takviyeli numunelerde gözlemlenmiştir. Bu durum, rijit nano SNK yapılarının polimer zincirlerinin mobilitesini kısıtlaması ve matris içerisinde etkili bir yük taşıyıcı iskelet oluşturmasıyla açıklanabilir. %1 nano SNK içeren numunelerin modül değerleri referanstan yüksek olsa da, %0.5'lik gruba göre daha düşüktür. Bu azalma, yüksek konsantrasyonda oluşan nano-topaklanmaların matris sürekliliğini bozmasından kaynaklanmaktadır.

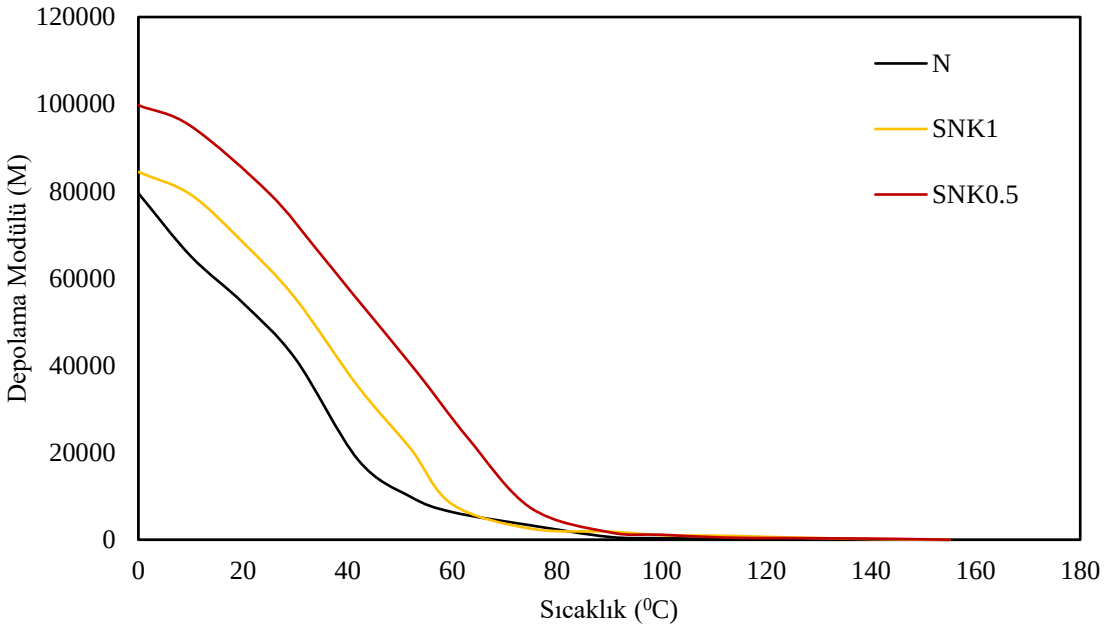
3.2.2. Kayıp Modülü ve Enerji Dağılımı

Görsel 4 (b)'de sunulan E'' eğrileri, malzemenin deformasyon sırasında ısı olarak dağıttığı enerji miktarını temsil etmektedir. Nano SNK takviyesi ile E'' piklerinin daha yüksek sıcaklıklara kaydığı ve pik şiddetinin arttığı görülmektedir. Bu, nanopartiküllerin polimer matris ile oluşturduğu geniş arayüzey alanında meydana gelen moleküler sürtünmelerin, enerji sönümleme kapasitesini artırdığını kanıtlamaktadır.

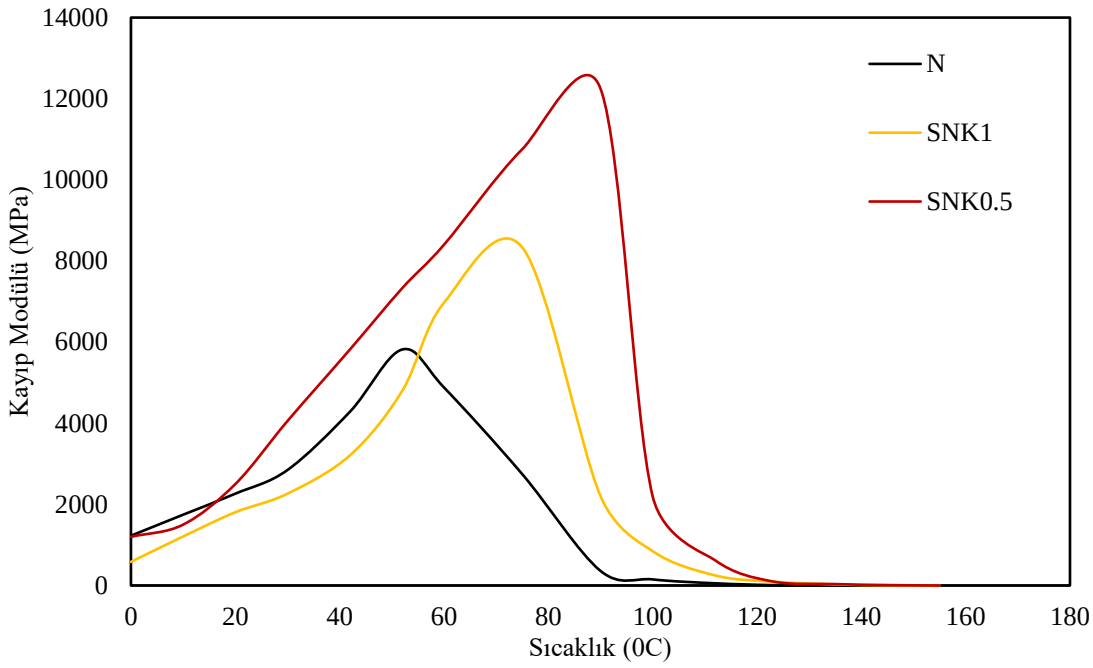
3.2.3. Tan Delta ve Camsı Geçiş Sıcaklığı

Malzemenin sönümleme faktörünü ve viskoelastik dönüşümünü gösteren Tanδ eğrileri Görsel 4 (c)'de verilmiştir. Referans numunesinin tan delta piki yaklaşık 50-55°C civarındayken, %0.5 nano Nano SNK takviyesi ile bu değer ~90°C seviyelerine, %1 nano SNK ile ise ~75°C seviyelerine yükselmiştir. T_g değerindeki bu ~35°C'lik radikal artış, nano SNK partiküllerinin polimer ağ yapısı içindeki zincir hareketliliğini çok güçlü bir şekilde bloke ettiğini göstermektedir. Takviyeli numunelerdeki tan delta piklerinin daha dar ve yüksek olması, malzemenin elastik karakterinin baskın hale geldiğini ve nano-arayüzey etkileşimlerinin moleküler düzeyde homojen bir kısıtlama yarattığını doğrulamaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

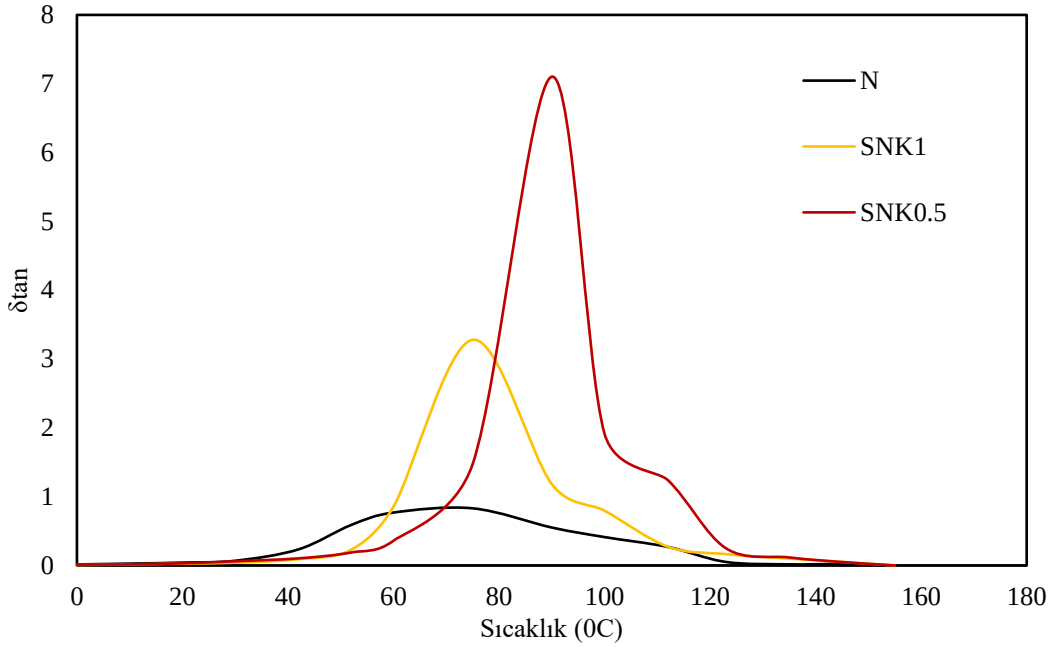


(a)



(b)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



(c)

Görsel 4. Nano-modifiye yapıştırıcıların sıcaklığa bağlı: (a) Depolama modülü, (b) Kayıp modülü ve (c) Tan delta değişimleri

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, nano SNK takviyesinin AA7075-T6 ve KFTP hibrit yapıştırma bağlantılarının mekanik ve termomekanik performansına etkileri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Elde edilen temel bulgular aşağıda özetlenmiştir:

- Nano SNK takviyesi, Araldite 2015 epoksi yapıştırıcısının yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde artırmıştır. Katkısız referans numunelere kıyasla, %0.5 nano SNK ilavesiyle çekme-kayma mukavemetinde %22-29 oranında bir iyileşme elde edilmiştir. Bu durum, optimum takviye oranında matris içerisinde sağlanan homojen dağılım ve etkili yük aktarım mekanizması ile doğrulanmıştır.

- Artan nano-katkı miktarının (%1 nano SNK) viskozite artışına ve yerel agregasyonlara neden olduğu, bu durumun mukavemette %0.5'lik gruba göre sınırlı bir düşüşe yol açtığı gözlemlenmiştir. Ancak, %1'lik oran sistemin rijitliğini maksimize ederek deformasyon direncini artırmıştır.

- DMA analizleri, nano SNK takviyesinin epoksi ağ yapısının termal stabilitesini radikal bir şekilde geliştirdiğini göstermiştir. Özellikle %0.5 nano SNK ilavesiyle T_g, referans numuneye göre ~35°C (55°C'den 90°C'ye) yükselerek malzemenin yüksek sıcaklıklardaki yapısal bütünlüğünü artırmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

- Depolama modülü (E') sonuçları, nano-takviyelerin polimer zincir hareketliliğini kısıtlayarak malzemenin sertliğini oda sıcaklığından camsı geçiş bölgesine kadar her aşamada artırdığını kanıtlamıştır.

- %0.5 nano SNK modifikasyonu, hem statik mukavemet hem de termal kararlılık açısından en dengeli performansı sunarak havacılık ve ileri imalat teknolojileri için optimum değer olarak öne çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

[1] Khan SA, Liaqat H, Akram F, Khan HA. Development of a design space for dissimilar materials joining in aerospace applications, The Aeronautical Journal, Haziran 2024.

[2] Gohlke M, Schuldt T, Döringshoff K, Peters A, Johann U, Weise D, vd. Adhesive Bonding for Optical Metrology Systems in Space Applications, J Phys: Conf Ser, Nisan 2015;610.

[3] Balaji S, Rajesh M, Dhilipkumar T, Arumugam S. Performance Enhancement of Epoxy-Adhesive Co-Cured Joints With GPTMS-Modified Stainless Steel Mesh: A Comparative Study of Interleaved and Conventional Reinforcements, Polymer Composites, 16 June 2025.

[4] Kumar Akkasali N, Biswas S, Kumar Panda S. Deflection and stress characteristics of single lap joint (adhesively bonded) theoretical analysis and experimental verification, Composite Structures, 15 Eylül 2024.

[5] Akkasali NK, Biswas S, Sen S, Anitha S. A state-of-the-art review on adhesively bonded joints of similar and dissimilar materials, Journal of Adhesion Science and Technology, 16 Aralık 2024;38(24):4317-71.

[6] Karimi S. Investigating the durability of nano-reinforced CFRP-aluminum and CFRP-CFRP bonded and bonded/bolted joints under hygrothermal conditions, Polymer Composites, 2025;46(5):4075-95.

[7] Aranda MT, Távara L, Reinoso J, Camanho PP. Single lap joint (SLJ) fracture assessment of 3D printing composite parts using structured and flat interface definitions: Experimental and numerical study, Composite Structures, 01 Şubat 2025;355:118788.

[8] Ibrahim AH, Watson B, Jahed H, Rezaee S, Royer C, Cronin DS. Prediction of bonded asymmetric metallic cross-tension and single lap shear joints using finite element model with material-level adhesive properties and cohesive zone method, International Journal of Adhesion and Adhesives, 01 Ocak 2023;120:103298.

[9] Rocha A, Aguiar JB, Valente IB, Silva FS. Effects of surface treatment methods on adhesively bonded joints with galvanised steel substrates, The Journal of Adhesion, 04 Aralık 2025;1-26.

[10] Pragathi P, Jenison SJ, Vijayan KA, Singh GR, Govindarajan KV, Sarathi R, vd. Enhanced interfacial bonding strength in K-300 adhesive joint between aluminum alloy and mild steel substrates through effective resin precoating treatment, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 20 Nisan 2024.

[11] Özbek Ö. Shear and Fracture Characteristics of Nano-silica and GNP Hybrid Nanoparticle Reinforced Single Lap Joints, J Inst Sci and Tech, 01 Eylül 2023.

[12] Esmail R, Alaei MH, Eskandarijam J, Rezvaninasab M. Effect of presence of SWCNT and Fullerene nano particles in the adhesive of CFRP single lap joint on the lap shear strength subjected to hygrothermal conditions, Journal of Adhesion Science and Technology, 02 Kasım 2023.

[13] Kamboj G, Gaff M, Smardzewski J, Haviarová E, Hui D, Rezaei F, vd. Effect of cellulose nanofiber and cellulose nanocrystals reinforcement on the strength and stiffness of PVAc bonded joints, Composite Structures, 01 Eylül 2022.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

THE EFFECT OF VELOCITY AND APPLIED LOAD ON THE FRICTION AND WEAR PERFORMANCE OF POLYOXYMETHYLENE (POM) COPOLYMER COMPOSITE REINFORCED WITH GLASS FIBER

YUSUF BERKAY CAN[1], Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL[2]

[1] Sakarya University of Applied Science, Faulty of Technology, 22010503023@subu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0001-9279-4976

[2] Sakarya University of Applied Science, Faulty of Technology, unal@subu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0003-0521-6647

ABSTRACT

Poly-oxy-methylene (POM) polymer, belonging to the group of engineering plastics, exhibits superior tribological performance due to its low coefficient of friction (CoF) and high wear resistance. With these properties, it is employed in applications where friction and wear are critical, such as gears, bearings, fasteners, and automotive components. In this study, the wear and friction performance of a poly-oxy-methylene copolymer composite reinforced with 25% glass fiber (POM-C/25GF) was systematically investigated. Wear and friction experiments were conducted using a pin-on-disc tribometer. In the experiments, the poly-oxy-methylene copolymer was tested against an AISI 316L stainless steel disc surface. Wear tests were carried out under different loads (50 N - 150 N) and velocıty (1.0 - 4.0 m/s). During the tribological tests, the wear rate and CoF of the composite were determined. The results revealed that, under all applied loads, an increase in velocity led to a decrease in the CoF. Furthermore, at 50 N load, the specific wear rate (s-WR) increased with velocity up to 3.0 m/s, after which it showed a decreasing trend. At 100 N and 150 N loads, however, the s-WR continuously decreased as the velocity increased. The wear surfaces of the poly-oxy-methylene copolymer composite and the stainless steel disc under the applied loads and velocity were examined using an optical microscope.

Keywords: Polyoxymethylene, glass fibre, composite, friction, wear, tribology

1. INTRODUCTION

Tribology is defined as the interdisciplinary science that investigates friction, wear, and lubrication mechanisms, which directly affect the efficiency and service life of engineering systems. In industrial applications, a significant portion of energy losses originates from friction, while wear leads to damage of machine components and a reduction in system reliability. Therefore, the development of materials with low friction coefficients and high wear resistance is of great importance (Bhushan, 2013; Blau, 2008). Engineering polymers are widely used in tribological applications due to their low density, good corrosion resistance, and self-lubricating properties. Among these materials, poly-oxy-methylene (POM) stands out with its high crystallinity, low CoF, excellent dimensional stability, and low moisture absorption. High stiffness and strength, good fatigue resistance, and inherent lubricity are the main advantages of POM. However, its relatively low thermal resistance, limited impact strength,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

and creep behaviour under long-term loading are considered its main disadvantages (Kato, 2003; Friedrich & Zhang, 2011). POM polymers are commonly used in applications where friction and wear are critical, such as gears, bearings, bushings, sliding elements, and automotive components (see Figure 1). However, under increasing load and sliding velocity conditions, the wear resistance of neat POM becomes insufficient, necessitating the use of various reinforcements and additives to enhance its performance (Blau, 2008; Unal et al., 2003; Siddiqui et al., 2023). To improve its properties, reinforcements such as glass fibre (GF), carbon fibre (CF), and aramid fibre, as well as particulate additives like PTFE (Li et al., 2024), graphite, and MoS_2, are incorporated into the POM matrix to produce composite materials. The addition of glass fibre significantly enhances the elastic modulus, tensile strength, and load-bearing capacity of the composite. Furthermore, the increased stiffness provided by glass fibres reduces surface deformation at the contact interface, which can improve wear resistance under certain conditions. However, due to their hard and abrasive nature, glass fibres may increase the wear of the counter-face. In addition, fibre-matrix debonding and fibre pull-out under high loads are important factors limiting the tribological performance of POM-GF composites (Friedrich et al., 2005; Bijwe et al., 2009).

The wear mechanisms in POM-GF composites vary depending on applied load, velocity, and environmental conditions. At low loads and velocities, adhesive wear is dominant, whereas at higher loads and velocities, abrasive wear becomes more pronounced due to the exposure of glass fibres on the surface. Mechanisms such as fibre breakage, matrix-fibre debonding, and the formation of third-body debris contribute to increasing wear rates, particularly under high contact stresses. On the other hand, the incorporation of solid lubricant additives (such as PTFE or graphite) into the POM-GF system reduces the friction coefficient and promotes the formation of a stable transfer film, thereby decreasing wear (Zhang et al., 2014; Myshkin & Petrokovets, 2005). Previous studies have demonstrated that glass fibre reinforcement significantly improves the mechanical properties of POM. However, it is also evident that tribological performance cannot be optimized solely by fibre reinforcement, but requires an appropriate combination of solid lubricants and optimized processing parameters. In particular, hybrid composite systems (POM-GF + PTFE/graphite) have been reported to provide both low friction coefficients and high wear resistance. This has enabled wider application of POM-GF composites in engineering systems (Friedrich & Zhang, 2011; Bijwe et al., 2009). In summary, glass fibre reinforced POM composites are important engineering materials that combine high mechanical strength with enhanced tribological performance. When optimized with suitable additive combinations, they can be considered ideal materials for dry sliding applications, especially under high load and high velocity conditions.

In this experimental study, the tribological behaviour of 25wt.% glass fibre reinforced poly-oxy-methylene (POM-GF) used in the automotive industry was investigated under dry sliding conditions at room temperature. Three different loads (50, 100, and 150 N) and four different velocities (1.0, 2.0, 3.0, and 4.0 m/s) were employed. AISI 316L stainless steel was used as the counter-face material, with a measured surface roughness of 0.126 µm Ra. The effects of velocity and applied load on the tribological performance of the POM composite under dry conditions at room temperature were systematically examined.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Figure 1. Industrial gears and bearings made from POM polymer

2.EXPERIMENTAL

2.1.Materials

The material used in the experiments is a poly-oxy-methylene polymer composite, which is used in the automotive industry and contains 25wt.% by weight of short glass fibre reinforcement.

2.2.Test Metotları

The tribological behaviour of the POM polymer composite was investigated using the pin-on-disc wear test method. In the experiments, the effects of applied load and velocity on the CoF and s-WR were examined in detail. The tribological tests were carried out using a pin-on-disc wear testing device, as illustrated in Figure 2. The pin specimens used in the experiments were produced by injection moulding, with dimensions of 6 mm in diameter and 50 mm in length. Prior to each test, the steel disc surfaces were thoroughly cleaned with alcohol. The friction force required for the measurements was recorded using a load cell, and the CoF values were calculated based on these measurements. A total of 60,000 data points were collected during the experiments. The CoF (μ) was calculated using the ratio of the measured friction force (Ft) to the applied normal load (Fn), as given in the following equation:

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

$$\mu = \frac{F_t}{F_n}$$

Here, μ represents the CoF, Ft represents the frictional force in the direction of sliding (N), and Fn represents the applied load (N).



Figure 2. Pin-on-disc wear test apparatus

To determine the specific wear rate (Ws), the mass loss of the pin specimen was measured before and after the test with an accuracy of 1×10^{-4} g. The measured mass loss was converted to volume loss using the density of the composite, and the s-WR was then calculated using the following equation.

$$W_s = \frac{\Delta V}{F_n \cdot L}$$

In the above formula, Ws represents the s-WR (mm^3/Nm), ΔV represents the volume loss of the pin specimen (mm^3), Fn represents the applied load (N), and L represents the total sliding distance (m). Following the experiments, the wear surfaces of the pin and disc specimens were examined using an optical microscope.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. The Effect of Velocity on the CoF of POM/25GF Composite

Figure 3 presents the variation of the CoF of the POM/25GF composite as a function of velocity under different normal loads (50 N, 100 N, and 150 N). The results clearly indicate that, at all load levels, the CoF decreases significantly with increasing velocity. As shown in Figure 3, under a load of 50 N, the CoF decreases from 0.60 at a velocity of 1.0 m/s to 0.40, 0.30, and 0.29 at 2.0, 3.0, and 4.0 m/s, respectively. Similarly, at a load of 100 N, the CoF decreases from 0.38 at 1.0 m/s to 0.18 at 4.0 m/s, while for 150 N, it decreases from 0.29 to 0.14. This trend can be attributed to the increase in frictional heating at higher sliding velocities, which leads to localized softening of the matrix phase, thereby reducing the real contact area and enabling glass fibres to participate more effectively in load-bearing. In addition, the formation of a more

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

stable transfer film at higher speeds may limit adhesive interactions, further contributing to the reduction in the coefficient of friction. Therefore, sliding velocity emerges as a critical parameter governing the friction behaviour of the POM/25GF composite.

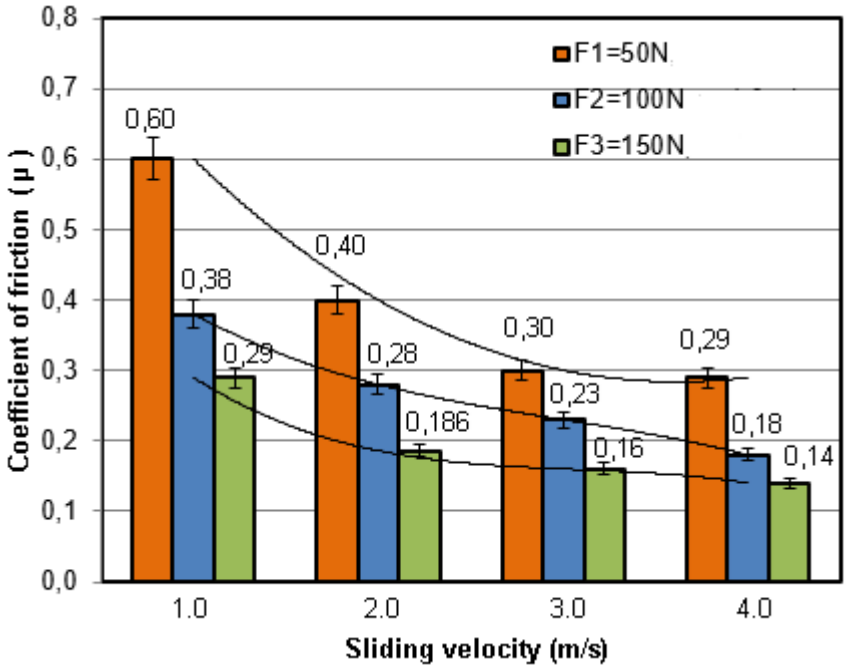


Figure 3. Variation in the CoF of the POM/25GF composite as a function of velocity under different loads

3.2. The Effect of Applied Load on the CoF of POM/25GF Composite

As observed in Figure 3, the CoF decreases systematically with increasing normal load at constant velocities. For example, at a velocity of 1.0 m/s, the CoF decreases from 0.60 at 50 N to 0.38 at 100 N and further to 0.29 at 150 N. A similar trend is also observed at the velocities of 2.0, 3.0, and 4.0 m/s. At each velocity level, the lowest CoF is obtained under a load of 150 N. This behaviour can be attributed to the formation of a more compact and stable transfer layer on the contact surface with increasing normal load, as well as the partial smoothing of surface asperities due to plastic deformation, leading to more stable real contact conditions. In addition, under higher loads, the load-bearing contribution of the glass fibre reinforcement increases, reducing the direct contact of the polymer matrix with the counter-face and thereby limiting the adhesive component of friction. Consequently, the increase in normal load leads to a reduction in the CoF within the investigated velocities range, indicating that the POM/25GF composite exhibits more stable tribological performance under higher load conditions.

3.3. The Effect of Velocity on the s-WR of POM/25GF Composite

Figure 4 shows the variation of the s-WR of the POM/25GF composite as a function of velocity under different normal loads (50 N, 100 N, and 150 N). A careful examination of the figure indicates that sliding velocity produces different trends in wear behaviour depending on the applied load. At a load of 50 N, the s-WR is 1.35×10^{-4} mm³/Nm at 1.0 m/s, and it increases to 1.67×10^{-4} and 1.75×10^{-4} mm³/Nm at sliding velocities of 2.0 and 3.0 m/s, respectively,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

before decreasing to 1.05×10^{-4} mm³/Nm at 4.0 m/s. In contrast, at loads of 100 N and 150 N, a general decrease in s-WR is observed with increasing velocity. In particular, at 150 N, the s-WR decreases from 1.0×10^{-4} mm³/Nm (at 1.0 m/s) to 0.30×10^{-4} mm³/Nm (at 4.0 m/s). This behaviour can be explained by the frictional heat generated at higher velocities, which leads to controlled softening of the matrix phase and promotes the formation of a more stable transfer film on the contact surface. However, under low load conditions (50 N), the increase in sliding velocity initially causes higher wear due to intensified micro-cutting and damage at the fibre-matrix interface. In conclusion, the effect of sliding velocity varies depending on the applied load. Particularly under high load conditions, increasing sliding velocity improves the wear resistance of the composite.

3.4. The Effect of Applied Load on the s-WR of POM/25GF Composite

As observed in Figure 4, increasing the applied normal load at constant velocities generally leads to a decrease in the s-WR of the glass fibre reinforced POM composite. For example, at a sliding velocity of 2.0 m/s, the s-WR decreases from 1.67×10^{-4} mm³/Nm at 50 N to 1.15×10^{-4} mm³/Nm at 100 N, and further to 0.50×10^{-4} mm³/Nm at 150 N. A similar trend is clearly observed at the velocities of 3.0 and 4.0 m/s.

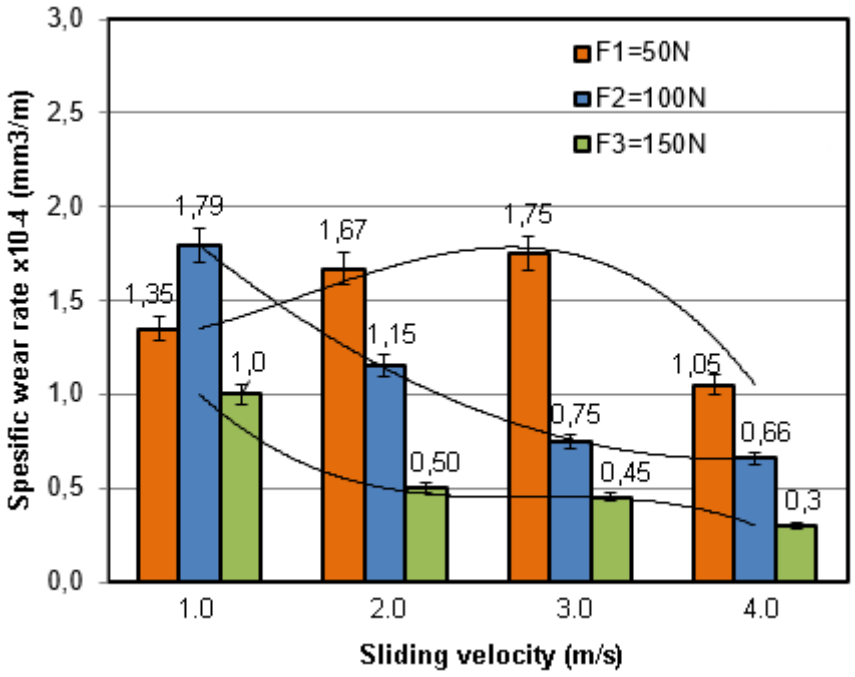


Figure 4. Variation in the s-WR of the POM/25GF composite as a function of velocity under different loads

With increasing load, the higher contact pressure likely promotes faster plastic deformation of surface asperities, leading to a more uniform and stable contact area. In addition, glass fibre reinforcement enhances the load-bearing capacity under higher loads, thereby reducing the direct abrasive contact of the matrix phase and decreasing volumetric material loss. However, the relatively higher wear value observed at 1.0 m/s under 100 N load may be associated with insufficient stability of the transfer film under the low-velocity, moderate-load condition. In

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

summary, the POM/25GF composite exhibits lower s-WRs under higher load conditions, and it can be inferred that the wear mechanism transitions to a more stable regime with increasing load.

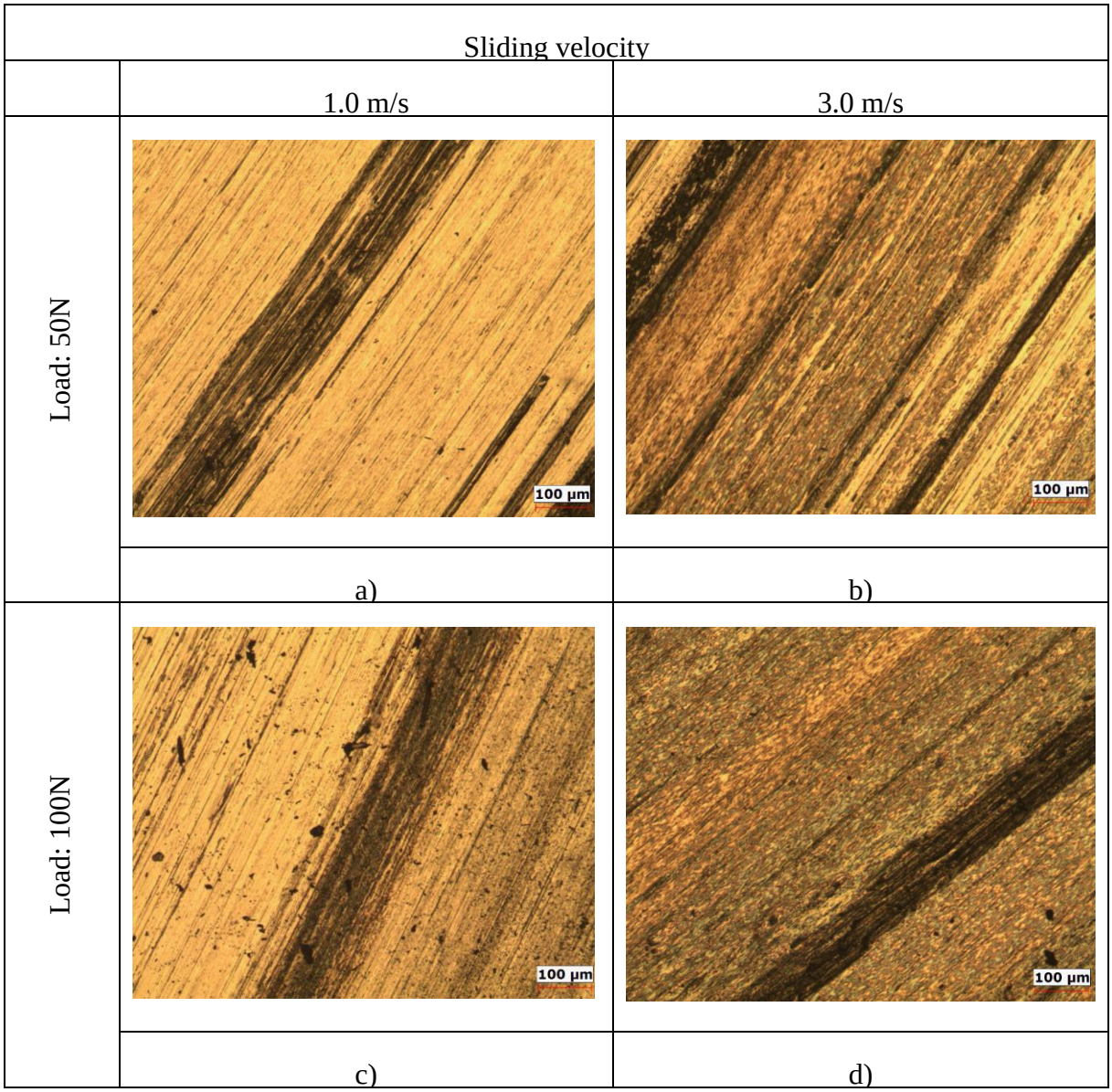


Figure 5. Optical microscope images taken from the wear surface of a steel disc under different loads (50 and 100 N) and at different speeds (1.0 and 3.0 m/s)

Figure 5(a-d) shows optical microscope images taken from the wear surface of the stainless steel disc following testing of the POM/25GF composite against the disc under different loads (50 and 100 N) and at different velocities (1.0 and 3.0 m/s). As shown in the figure, whilst a very thin film layer forms on the surface of the steel disc at a load of 50 N and a sliding velocity of 1.0 m/s (see Figure 5a), film formation is greater at a speed of 3.0 m/s (see Figure 5b). Film formation increased further with an increase in load (see Figure 5c). With increases in both load

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

and velocity, a thin, continuous film layer formed on the steel surface. This resulted in a reduction in the CoF and s-WRs of the POM/25GF composite.

4. CONCLUSIONS

Following tribological tests conducted under various loads and sliding velocities, the following conclusions were drawn regarding the POM/25GF composite.

1. It was determined that the CoF of the POM/25GF composite decreases with increasing applied load, particularly in combination with increasing sliding velocity. At sliding velocities of 1.0, 2.0, 3.0, and 4.0 m/s, the CoF decreased by approximately 51.6%, 53.5%, 46.6%, and 51.7%, respectively.
2. It was also observed that increasing sliding velocity leads to a reduction in the CoF of the POM/25GF composite. Compared to the value at 1.0 m/s, the CoF decreased by approximately 33.3%, 50%, and 51.6% at sliding velocities of 2.0, 3.0, and 4.0 m/s under loads of 50 N, 100 N, and 150 N, respectively.
3. The s-WR of the POM/25GF composite increased under low load (50 N) up to a sliding velocity of 3.0 m/s (by approximately 22.2%), and then decreased at higher velocities.
4. At loads of 100 N and 150 N, a continuous decrease in the s-WR of the POM/25GF composite was observed with increasing velocity. At 2.0 m/s, reductions of approximately 35.7% and 50% were recorded, respectively. At 3.0 m/s, the decrease reached approximately 58.1% and 55%, while at 4.0 m/s, the reductions were about 63.1% and 70%, respectively.
5. In applications such as gears, bearings, and bushings, the use of 25wt.% glass fibre reinforced POM composite results in reduced CoF and s-WR under high-speed and high-load operating conditions.

REFERENCES

[1] Bhushan, B. (2013). *Introduction to tribology* (2nd ed.). Wiley.

[2] Bijwe, J., Sen, S., & Ghosh, A. (2009). Influence of PTFE content in POM/PTFE blends on mechanical and tribological properties. *Wear*, 266(7-8), 865-871.

[3] Blau, P. J. (2008). *Friction science and technology: From concepts to applications* (2nd ed.). CRC Press.

[4] Friedrich, K., & Zhang, Z. (2011). Tribological properties of polymer composites. In *Advanced polymer composites for structural applications*. Springer.

[5] Friedrich, K., Reinicke, R., & Zhang, Z. (2005). Effects of various fillers on the sliding wear of polymer composites. *Composites Science and Technology*, 65(15-16), 2329–2343.

[6] Kato, K. (2003). Wear in relation to friction- A review. *Wear*, 255(7-12), 1291–1300.

[7] Li, X., Nie L., Hung W.S.T., Wu Y., & Qiu Z. The effect of PTFE Content on tribological properties of POM composites. *J. of Tribology*, 147(8), 1-27.

[8] Myshkin, N. K., & Petrokovets, M. I. (2005). Tribology of polymers: Adhesion, friction, wear, and mass-transfer. *Tribology International*, 38(11-12), 910–921.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[9] Siddiqui, S., Pogacnik A. & Kalin M. (2023). Influence of load, sliding speed and heat-sink volume on the tribological behaviour of POM sliding against steel. *Tribology International*, 179.108029.

[10] Unal, H. & Mimaroglu A. (2003). Influence of test conditions on the tribological properties of polymers. *Industrial Lubricaton and Tribology*, 55(4), 178-183.

[11] Zhang, Z., Breidt, C., Chang, L., & Friedrich, K. (2014). Enhancement of the wear resistance of POM by PTFE and other fillers. *Wear*, 258(1-4), 292–300.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

THE EFFECT OF SLIDING SPEED ON THE TRIBOLOGICAL PERFORMANCE OF CARBON FIBRE REINFORCED POLYAMIDE 66 COMPOSITE

YUSUF BERKAY CAN[1], Prof. Dr. HÜSEYİN ÜNAL[2]

[1] Sakarya University of Applied Science, Faulty of Technology, 22010503023@subu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0001-9279-4976

[2] Sakarya University of Applied Science, Faulty of Technology, unal@subu.edu.tr - ORCID ID : 0000-0003-0521-6647

ABSTRACT

Carbon fibre (CF) reinforced polyamide 66 (PA66/30CF) composites are extensively utilized in various industrial applications such as gears, sliding bearings, bushings, and machine elements involving metal-polymer contact, owing to their high mechanical strength, low density, and stable tribological performance. In the present study, the friction and wear behaviour of PA66/30CF composites under dry sliding conditions was investigated. The experiments were conducted under a constant load of 100 N and sliding speeds of 1.0, 2.0, 3.0, and 4.0 m/s using the pin-on-disc wear test method. An AISI 316L stainless steel disc was employed as the counter-face material. The influence of sliding speed on the coefficient of friction (COF) and specific wear rate (SWR) of the PA66/30CF composite was systematically examined. The results revealed a pronounced improvement in tribological performance with increasing sliding speed. A consistent reduction in the COF was observed, accompanied by a gradual decrease in the SWR. The worn surface microstructures of both the polymer composite and the steel counter-face were analysed through optical microscopy and macro-surface imaging. These examinations demonstrated that abrasive wear dominated at lower sliding speeds, whereas at higher speeds the wear mechanism transitioned into a more stable and controlled regime

Keywords: Tribology, Polyamide, Carbon fibre, Friction, Wear, Composite

1. INTRODUCTION

Polymer-based engineering polymers are widely used in tribological applications due to their low density, self-lubricating properties, and superior vibration damping capacity compared to metallic materials. In industrial applications such as gears, sliding bearings, and sealing elements, sliding speed is one of the most influential parameters affecting the COF and wear behaviour (Blau, 2009). Under constant load conditions, changes in speed play a direct role in temperature rise in the contact region, transfer film formation, and the evolution of surface morphology. Among thermoplastic polymers, polyamides (PA6, PA6.6, and PA46), poly-acetal (POM), poly-tetra-fluoro-ethylene (PTFE), and ultra-high molecular weight polyethylene (UHMWPE) are among the most preferred materials in tribological applications. Studies in the literature have shown that the friction and wear behaviour of these polymers exhibit different trends with increasing sliding speed. For example, in PA6 and PA6.6 polymers,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

increasing sliding speed can lead to softening of the polymer matrix due to temperature rise in the contact region, resulting in higher wear rates (Lancaster, 1990; Sinha et al., 2018). On the other hand, within certain speed ranges, the formation of a transfer film on the counter surface has been reported to reduce the COF and make the friction behaviour more stable (Blau, 2009).

In semi-crystalline polymers such as POM and UHMWPE, an increase in sliding speed has been reported to cause limited changes in the COF at low and medium speeds, but at high speeds, the rising contact temperature accelerates micro-wear and material transfer on the surface (Unal et al., 2004; Friedrich & Schlarb, 2011). In PTFE-based materials, the increase in speed generally keeps the COF at low levels due to the formation of a stable transfer film on the counter surface. However, because of poor mechanical strength, the wear rate can increase at high speeds (Karger-Kocsis & Friedrich, 1991). To improve the tribological performance of these polymers, carbon fiber (CF) reinforcement is a widely used method. CF reinforcement limits the deformation of the matrix phase, improves load distribution in the contact area, and can reduce the adverse effects of thermal influences on wear, especially at higher sliding speeds (Zhang et al., 2015). The literature reports that CF-reinforced PA6, PA6.6, and POM composites exhibit a more stable COF and lower SWR compared to neat polymers as sliding speed increases (Kumar et al., 2019; Unal et al., 2004). Nevertheless, at very high sliding speeds, damage at the fiber-matrix interface and fiber breakage have been noted to negatively affect the wear mechanism (Friedrich & Schlarb, 2011).

In this study, the systematic investigation of the tribological behaviour of carbon fiber reinforced PA66 composite under constant load (100 N) at different sliding speeds (1.0-4.0 m/s) is of great importance for accurately evaluating the performance of polymers and polymer-based composites under real operating conditions. In particular, in applications involving metal/polymer contact, the combined consideration of changes in the COF, SWR, and surface morphology with increasing speed provides significant insights into the wear and friction behaviour of engineering composites such as PA66/30CF.

2. EXPERIMENTAL

2.1.Materials

In the experiments, a 30wt.% carbon fibre reinforced polyamide 66 polymer composite, which belongs to the engineering polymers group, was used. The material was sourced from DSM Co. in granule form and was first dried in an oven at 80 °C for 4 hours, after which tribological test specimens were produced by injection moulding into a steel mould. The mechanical, physical and thermal properties of the test material used in the experiments are given below.

Table 1. The mechanical, physical and thermal properties of PA66/30CF composite material

Properties	Unit	Value
Density	g/cm^3	1.27
Melting of temperature	^oC	260
Tensile strength	MPa	230
Elongation at break	%	2.8
Flexural strength	MPa	343
Flexural modulus	GPa	17.0

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.2. Test Methods

The tribological properties of the PA66/30CF composite material were investigated using a pin-on-disc wear testing device. The experiments were carried out in accordance with the ASTM G99 standard. In the tests, the variation of the friction coefficient and specific wear rate with sliding speed under a constant normal load was examined. For the wear tests, cylindrical PA66/30CF polymer-based composite specimens were used as pins, with a diameter of 6 mm and a length of 50 mm. As the counter-face material, AISI 316L stainless steel discs with an average surface roughness of Ra = 0.126 µm were employed. Prior to testing, the disc surfaces were cleaned with alcohol. The tribological experiments were conducted under a constant normal load of 100 N, while the sliding speed was gradually increased to 1.0, 2.0, 3.0, and 4.0 m/s. The friction force was continuously measured using a high-precision load cell integrated into the test setup, and the average COF values of the composite were calculated from the recorded data. During the experiments, data acquisition was performed at a rate of 1000 measurements per minute, allowing continuous monitoring of the time-dependent variation of the COF. The COF (µ) was determined using the following equation as the ratio of the friction force (Ft) measured in the sliding direction to the applied normal load (Fn).

$$\mu = \frac{F_t}{F_n}$$

In calculating the specific wear rate, the pre- and post-test masses of the pin specimens were taken as the basis. Mass measurements were carried out using an analytical balance with a precision of ±0.1 mg, and the mass loss values obtained were converted to volume loss using the density of the composite material. The specific wear rate (Ws) was calculated using the following formula, which involves dividing the volume loss (Δm) by the applied load (Fn) and the total sliding distance (L).

$$W_s = \frac{\Delta V}{F_n \cdot L}$$

Following the completion of the experiments, the wear surfaces of the pin and disc specimens were examined using an optical microscope. By considering all findings relating to the COF, SWR and wear surface morphology together, the tribological behaviour of the PA66/30CF composite under different sliding speeds was comprehensively elucidated.

3.RESULTS AND DISCUSSION

Figures 1-4 present the COF-sliding distance curves of the PA66/30CF composite obtained at different sliding speeds (1.0, 2.0, 3.0, and 4.0 m/s) under a constant normal load of 100 N. At the lowest sliding speed of 1.0 m/s, the COF exhibits significant fluctuations throughout the test and does not reach a stable regime. This behaviour can be attributed to the slow formation of a transfer film on the surface and the insufficient adaptation between the mating surfaces. When the sliding speed is increased to 2.0 m/s, the COF becomes more stable after approximately 400 m of sliding distance. Similarly, at a sliding speed of 3.0 m/s, the COF

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

reaches a steady-state condition around 800 m following an initial running-in period. At the highest sliding speed of 4.0 m/s, stabilization occurs after approximately 600 m of sliding distance. This earlier stabilization can be explained by the accelerated formation of the transfer film and improved surface conformity due to the higher sliding speed. These findings indicate that, under constant load, sliding speed is a key parameter influencing the distance required to reach steady-state friction, and it directly affects the tribological behaviour of the PA66/30CF composite.

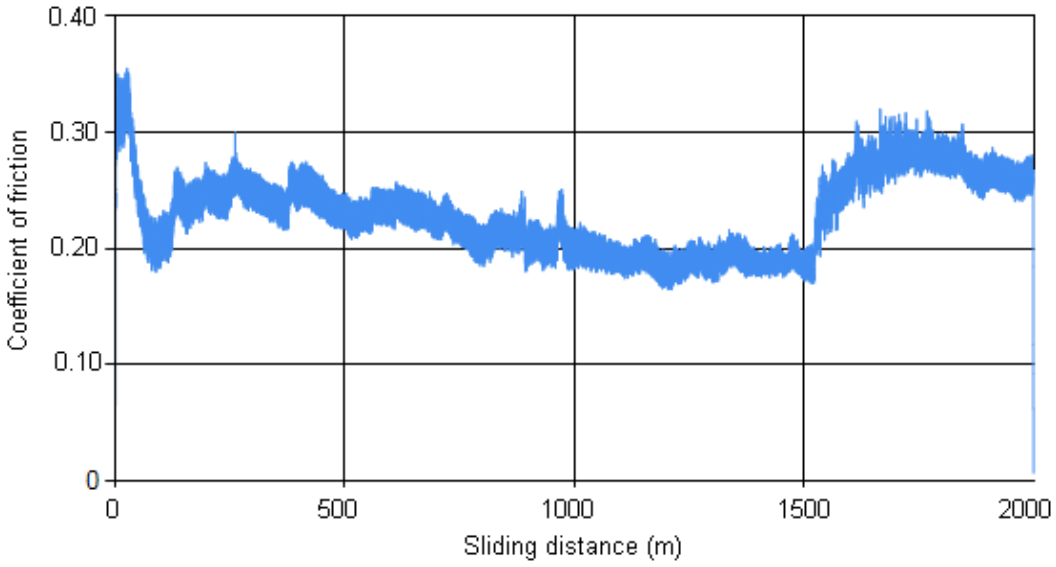


Figure 1. The COF versus sliding distance for a PA66/30CF composite operating at the speed of 1.0 m/s and under the load of 100 N

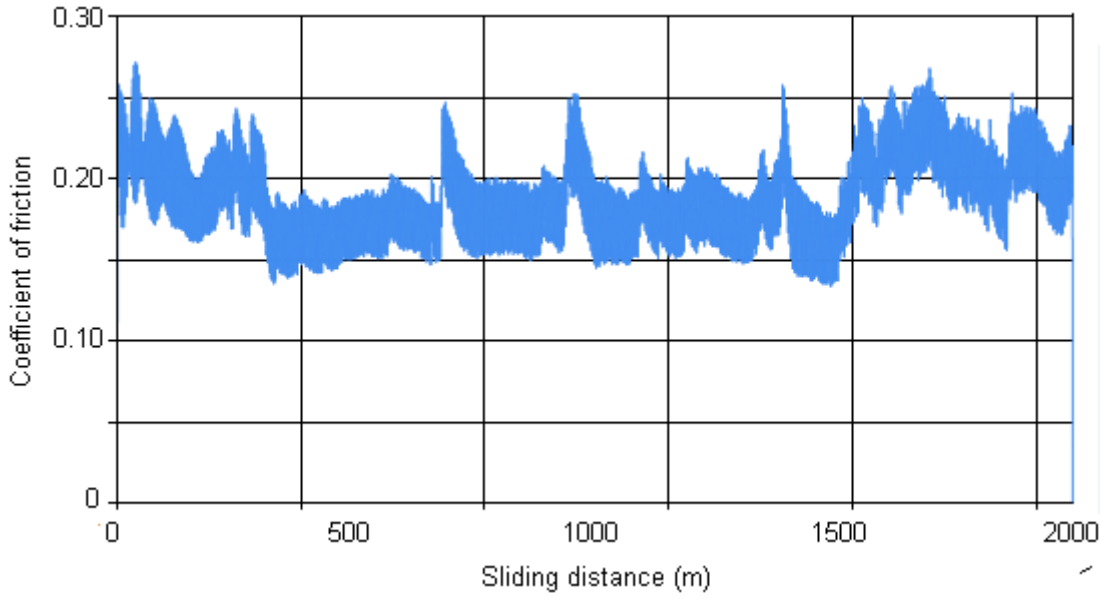


Figure 2. The COF versus sliding distance for a PA66/30CF composite operating at the speed of 2.0 m/s and under the load of 100 N

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

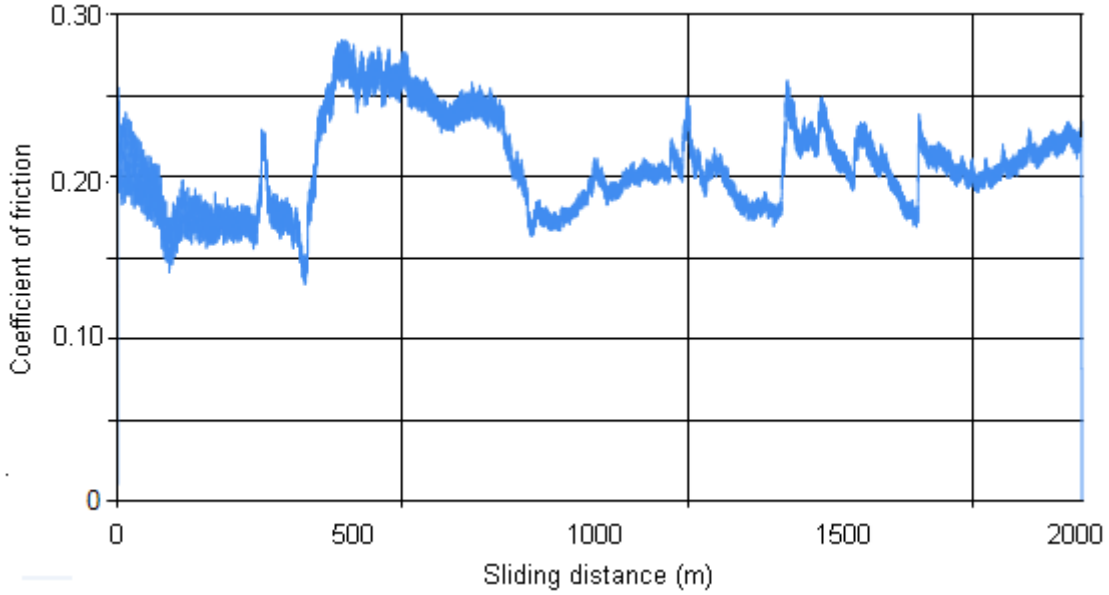


Figure 3. The COF versus sliding distance for a PA66/30CF composite operating at the speed of 3.0 m/s and under the load of 100 N

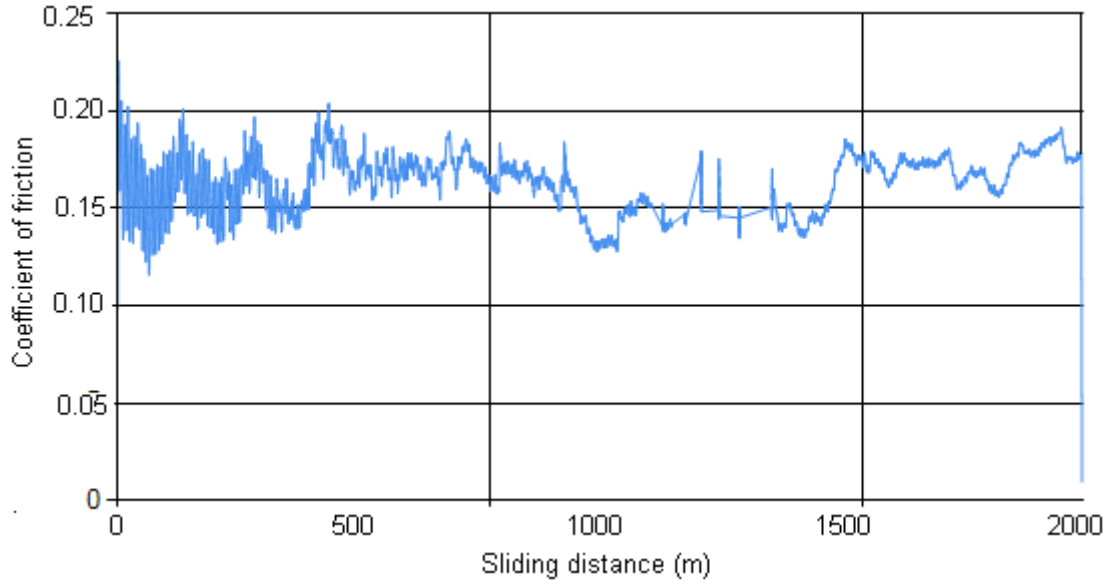


Figure 4. The COF versus sliding distance for a PA66/30CF composite operating at the speed of 4.0 m/s and under the load of 100 N

Figure 5 shows the average COF values obtained for the PA66/30CF composite under a constant normal load of 100 N at different sliding speeds (1.0-4.0 m/s). At the lowest SWR of 1.0 m/s, the COF was measured as 0.27, and this value showed a marked decreasing trend as the speed increased. As the sliding speed was increased to 2.0 and 3.0 m/s, the COF fell to 0.21, whilst at the highest speed of 4.0 m/s, this value dropped to 0.18. This decrease in the COF can be attributed to the transfer film forming in the contact area developing more rapidly and stably as the sliding speed increases. Furthermore, the fact that carbon fibre reinforcement increases

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

load-bearing capacity whilst limiting adhesive interactions has been effective in achieving a lower COF under high-speed conditions.

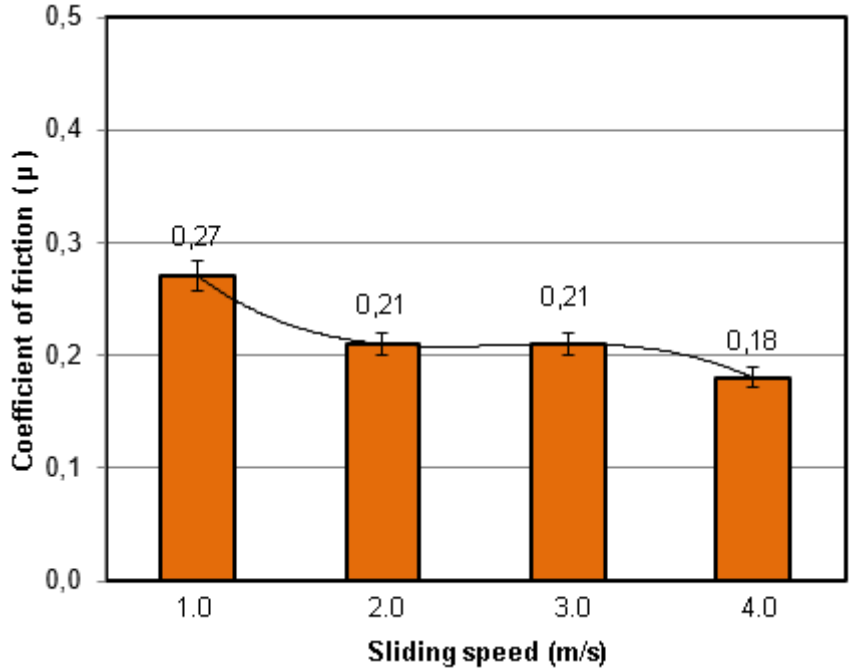


Figure 5. Variation in the COF of PA66/30CF composite as a function of sliding speed

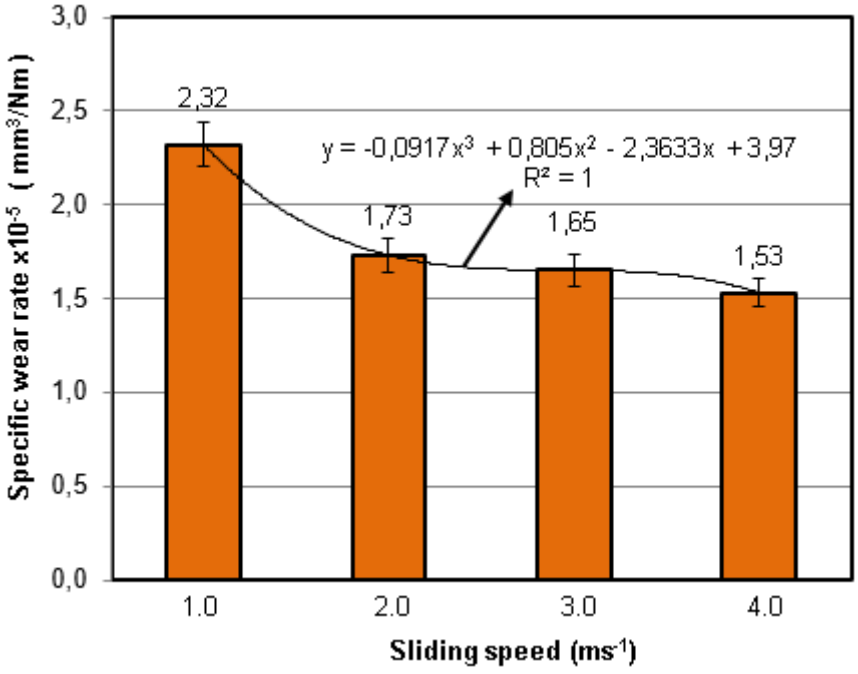


Figure 6. Variation in the SWR of the PA66/30CF composite as a function of sliding speed

Figure 6 shows the variation of the SWR of the PA66/30CF composite as a function of sliding speed under a constant load of 100 N. At a sliding speed of 1.0 m/s, the SWR was determined as 2.32×10^{-5} mm³/Nm. When the sliding speed was increased to 2.0 m/s, this value decreased

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

to 1.73×10^{-5} mm³/Nm, while values of 1.65×10^{-5} and 1.53×10^{-5} mm³/Nm were obtained at 3.0 and 4.0 m/s, respectively. These results indicate that increasing sliding speed leads to a gradual reduction in the SWR of the PA66/30CF composite. The load-bearing role of carbon fibres promotes a more uniform distribution of contact pressure, and the transfer film formed on the surface helps limit wear, resulting in lower wear rates at higher speeds. The results presented in Figures 5 and 6 clearly show that, under a constant load of 100 N, both the COF and the SWR of the PA66/30CF composite decrease with increasing sliding speed. When these findings are evaluated together with the worn surface images of the pin and disc shown in Figures 7–9, it becomes evident that increasing sliding speed shifts the tribological contact regime toward a more stable condition. Similar trends reported in the literature for carbon fibre-reinforced polymer composites suggest that higher sliding speeds accelerate the formation of a transfer film, thereby reducing friction and wear (Blau, 2009; Friedrich & Schlarb, 2011).

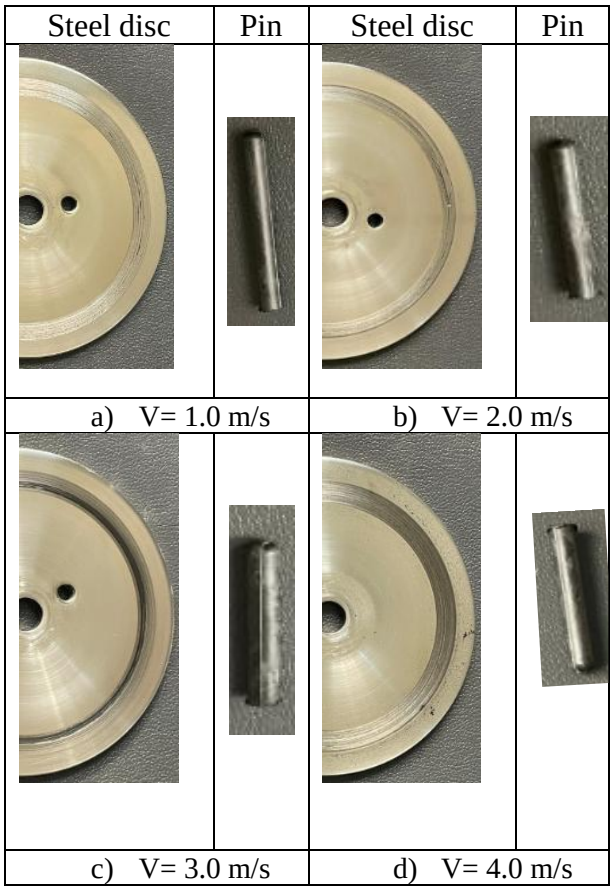
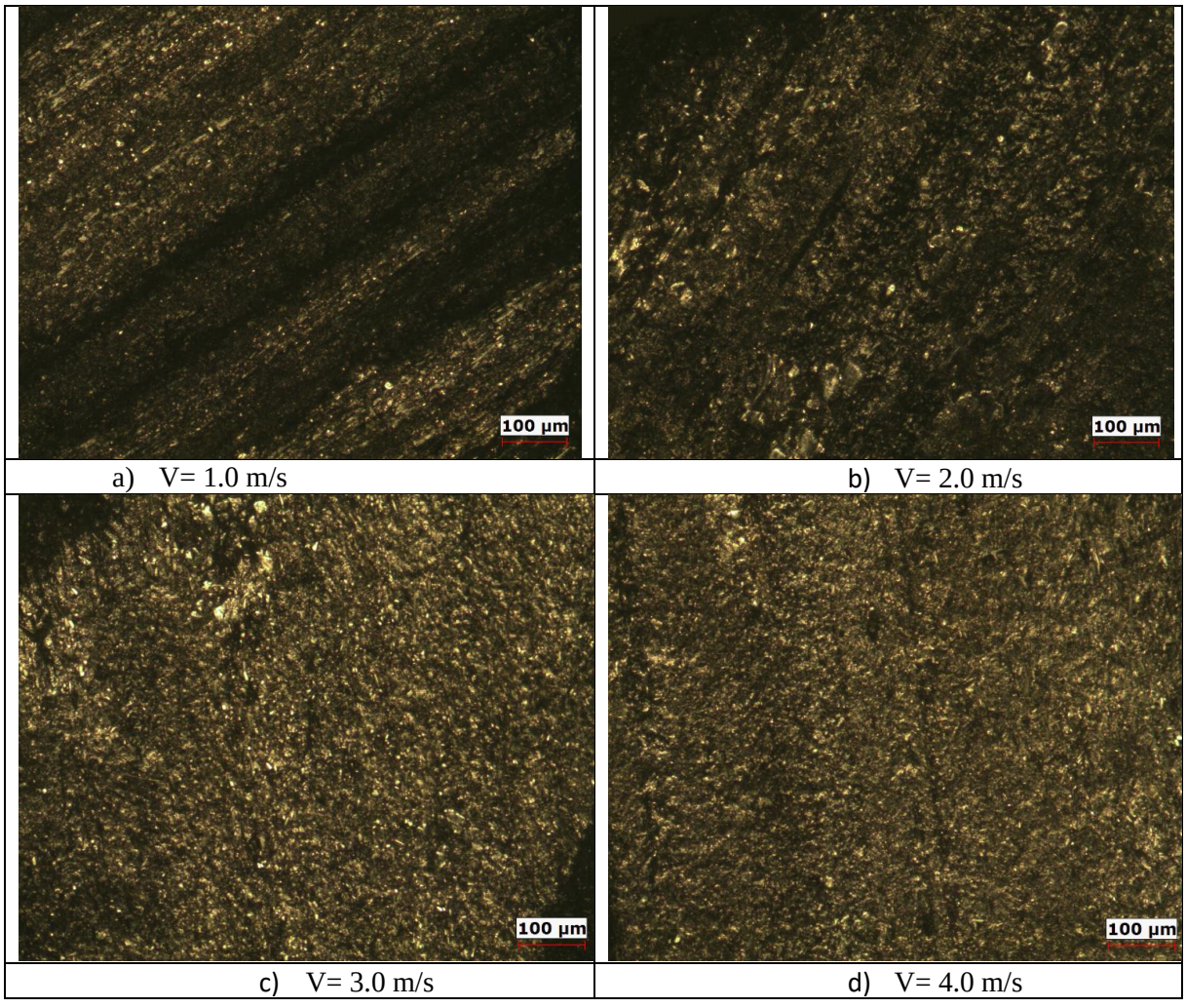


Figure 7. Camera images of the stainless steel wear surface in contact with PA66/30CF composite at different speeds: a) 1.0 m/s, b) 2.0 m/s, c) 3.0 m/s and d) 4.0 m/s

In the camera images shown in Figure 7(a–d), it can be observed that the wear marks on the steel disc surfaces become darker as the sliding speed increases. This darkening indicates that the polymer-based transfer film on the opposing surface is acquiring an increasingly continuous and homogeneous structure. Conversely, the fact that no significant temperature-induced plastic deformation was observed in the pin specimens even under high-speed conditions demonstrates

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

that carbon fibre reinforcement enhances the matrix's thermo-mechanical stability and improves its load-bearing capacity. However, the slight protrusions observed at the edges of the pin wear surfaces at shear speeds of 3.0 and 4.0 m/s suggest that the contact temperature rises with increasing speed and that surface flow has begun to a limited extent. An examination of Figure 8(a–d), which presents optical images of the polymer pin surfaces, reveals that the presence of wide and deep wear marks under low-speed conditions (1.0 and 2.0 m/s) indicates a more dominant abrasive wear mechanism. This finding is consistent with the COF measured at 1.0 m/s in Figure 5 and the high specific wear rate observed in Figure 6. In contrast, the fact that polymer surfaces exhibit a smoother and cleaner morphology at sliding speeds of 3.0 and 4.0 m/s indicates that the surfaces are protected by a stable transfer film and that wear has transitioned to a more controlled regime. Similarly, the literature reports that in CF-reinforced polyamide composites, wear marks become shallower and surface integrity is maintained as the sliding speed increases (Unal et al., 2004; Zhang et al., 2015).



a) V= 1.0 m/s | b) V= 2.0 m/s

c) V= 3.0 m/s | d) V= 4.0 m/s

Figure 8. Optical microscope images of the wear surface of a PA66/30CF composite pin at different speeds: a) 1.0 m/s, b) 2.0 m/s, c) 3.0 m/s and d) 4.0 m/s

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Figure 9(a–d), which shows optical microscope images of the steel surfaces of the counter-rotating discs, supports this interpretation. Whilst a partially thick and irregular transfer film layer was observed on the steel disc surfaces at low speeds (1.0 and 2.0 m/s), it was found that a thinner, more homogeneous and continuous film structure developed at high speeds (3.0 and 4.0 m/s). It is also emphasised in the literature that a thin and stable transfer film layer contributes to a reduction in the COF and a decrease in the SWR by reducing the steel disc-polymer contact (Blau, 2009; Karger-Kocsis & Friedrich, 1991). Consequently, the low COF and SWR values obtained in Figures 5 and 6 are directly related to the smoother polymer surfaces and the formation of a thin, homogeneous transfer film observed in Figures 7-9. These findings demonstrate that the PA66/30CF composite exhibits more stable and advantageous tribological performance at high sliding speeds under constant load, and are in strong agreement with the speed-sensitive tribological behaviour of carbon fibre-reinforced polyamide composites reported in the literature.

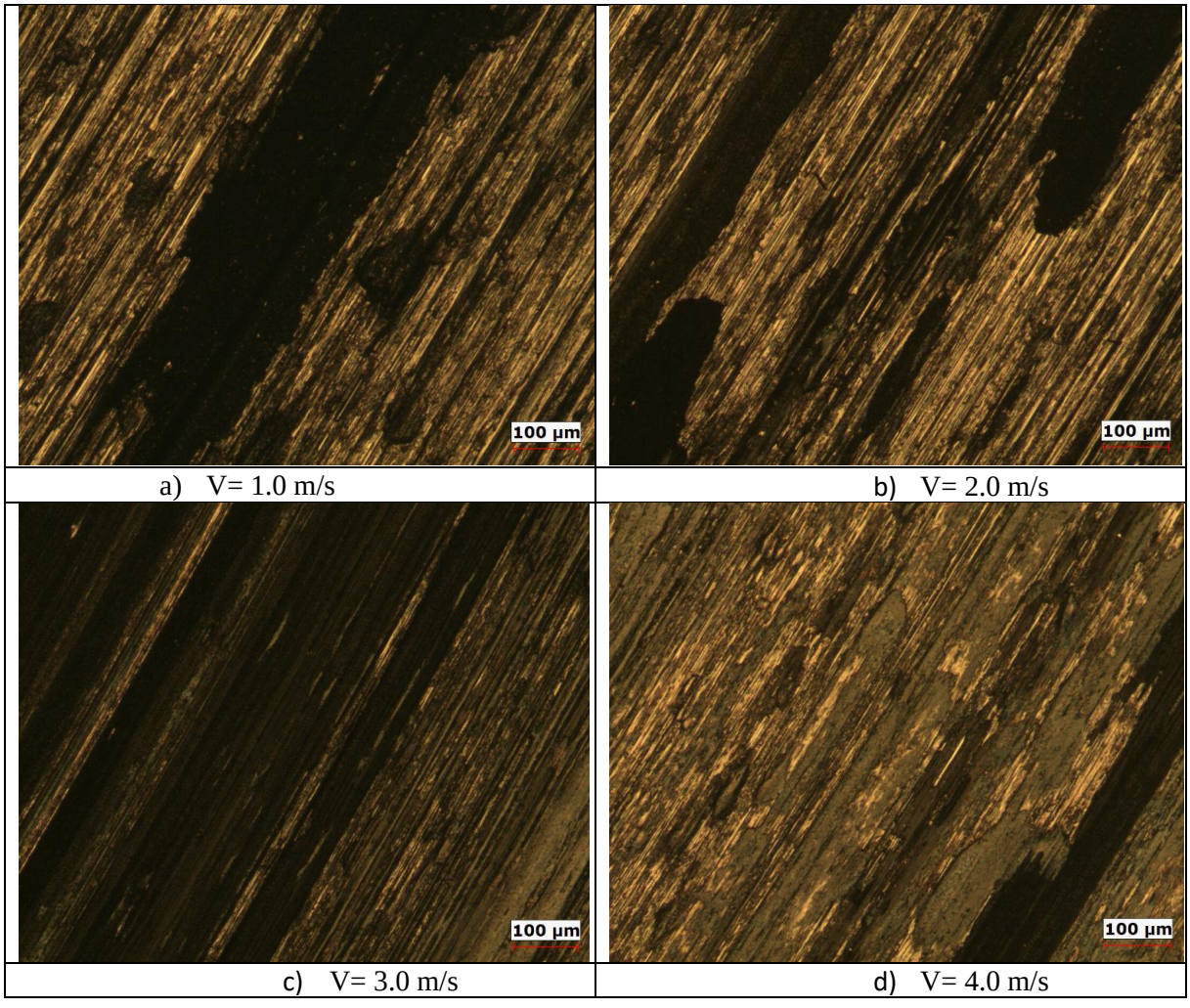


Figure 9. Optical microscope images of the wear surfaces of stainless steel discs in contact with PA66/30CF composites at different speeds: a) 1.0 m/s, b) 2.0 m/s, c) 3.0 m/s and d) 4.0 m/s

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

4. CONCLUSIONS

1. The tribological behaviour of the PA66/30CF composite is significantly dependent on the sliding speed under a constant load of 100 N; the COF decreased steadily with increasing sliding speed.
2. A gradual decrease in the SWR was observed as the sliding speed was increased from 1.0 m/s to 4.0 m/s, with the lowest wear value being obtained at the highest speed condition.
3. The decrease in the COF was directly attributed to the formation of a thinner, more homogeneous and stable transfer film on the opposing steel disc surface as the speed increased.
4. Thanks to the carbon fibre reinforcement, no significant thermal deformation was observed in the pin specimens even under high-speed conditions, confirming the composite's high thermo-mechanical stability.
5. The results obtained demonstrate that the PA66/30CF composite is a suitable engineering material for tribological applications requiring low friction and low wear at medium and high wear rates under constant load.

REFERENCES

[1] Blau, P. J. (2009). Friction science and technology: From concepts to applications (2nd ed.). *CRC Press.* https://doi.org/10.1201/9781420054057

[2] Friedrich, K., & Schlarb, A. K. (2011). Tribology of polymeric nano-composites. *Elsevier*. https://doi.org/10.1016/C2009-0-64003-0

[3] Karger-Kocsis, J., & Friedrich, K. (1991). The role of fiber reinforcement in the friction and wear behaviour of polymer composites. *Journal of Materials Science*, 26(14), 3867–3875. https://doi.org/10.1007/BF00552934

[4] Kumar, S., Ghosh, S., & Sinha, S. K. (2019). Effect of sliding velocity on friction and wear behaviour of carbon fiber reinforced polyamide composites. *Tribology International*, 131, 551–560. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.11.038

[5] Lancaster, J. K. (1990). The influence of contact conditions on the wear of polymers. In K. C. Ludema (Ed.), Wear of materials (pp. 1-11). *Elsevier.*

[6] Sinha, S. K., Biswas, S. K., & Briscoe, B. J. (2018). Sliding wear behaviour of polyamide composites under varying velocity conditions. *Wear*, 398–399, 190–198. https://doi.org/10.1016/j.wear.2017.12.015

[7] Unal, H., Sen, U., & Mimaroglu, A. (2004). Friction and wear characteristics of nylon composites under dry sliding conditions. *Materials & Design*, 25(3), 239–243. https://doi.org/10.1016/S0261-3069(03)00145-9

[8] Zhang, Z., Breidt, C., Chang, L., & Friedrich, K. (2015). Wear of PEEK composites related to their mechanical performance. *Wear*, 332–333, 738–747. https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.01.040

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

YERALTINI DİNLEMEK: SPAC YÖNTEMİ VE GEOMETRİK DİZİLİMLER

Prof. Dr. AYDIN BÜYÜKSARAÇ[1], Prof. Dr. ERCAN IŞIK[2], Doç. Dr. FATİH AVCİL[3]

[1]Çanakkale Onsekiz Mart Üni., Çan MYO, absarac@comu.edu.tr, 0000-0002-4279-4158

[2]Bitlis Eren Üni., Mühendislik Mimarlık Fak. eisik@beu.edu.tr - 0000-0001-8057-065X

[3]Bitlis Eren Üni., Mühendislik Mimarlık Fak., favcil@beu.edu.tr, 0000-0001-6550-550X

ÖZET

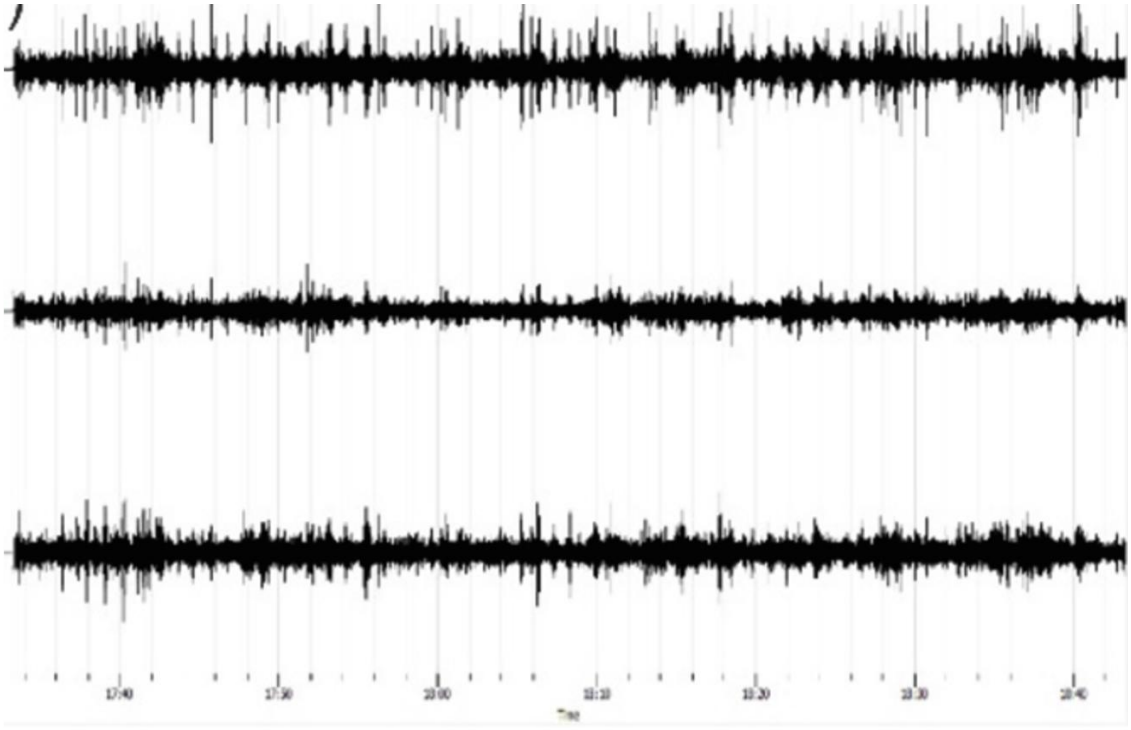
Mikrotremor yöntemi zeminin baskın titreşim periyodunun elde edilmesinin yanı sıra, dizilim ölçüleri yoluyla, yeraltı S-dalgası hız yapısının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan pasif sismik yöntemler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, uzaysal özilişki (SPAC) yöntemi kullanılarak farklı dizilim geometrilerinin performansı karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Aynı sahada, farklı açıklıklarda kurulan eşkenar üçgen, artı (+), doğrusal ve L tipi dizilimlerden elde edilen veriler analiz edilmiştir. SPAC yöntemi, ortam gürültüsünden elde edilen yüzey dalgalarının faz hızlarını belirleyerek dispersiyon eğrilerinin oluşturulmasına ve bu eğrilerin ters çözümü yoluyla yeraltı hız yapısının ortaya konmasına olanak sağlamaktadır. Veri toplama sürecinde SmartSolo cihazları kullanılmış, ölçümler 20–30 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen zaman serileri frekans alanına dönüştürülerek sensör çiftleri arasındaki tutarlılık değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin ortalaması ile SPAC fonksiyonu elde edilmiştir. Daha sonra dispersiyon eğrileri çıkarılmış ve doğrusal olmayan ters çözüm yöntemleri uygulanarak S-dalgası hızının derinliğe bağlı değişimi belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, dizilim geometrisinin frekans çözünürlüğü, veri kalitesi ve araştırma derinliği üzerinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Özellikle üçgen ve artı dizilimlerin düşük frekanslı bileşenlere daha duyarlı olduğu ve daha derin yapıların çözümünde avantaj sağladığı belirlenmiştir. Buna karşılık, doğrusal dizilimin yönlülüğe bağlı sınırlılıklar içerdiği, L tipi dizilimin ise erişimin kısıtlı olduğu alanlarda uygulanabilir bir alternatif sunduğu görülmüştür. Sonuç olarak, SPAC yönteminde dizilim geometrisinin doğru seçimi, güvenilir dispersiyon eğrileri elde edilmesi ve buna bağlı olarak doğru yeraltı hız modellerinin oluşturulması açısından kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, farklı dizilimlerin güçlü ve zayıf yönlerini ortaya koyarak mühendislik sismolojisi uygulamalarına önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Uzaysal Özilişki (SPAC), Mikrotremor, S-dalgası, Dizilim Geometrisi

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

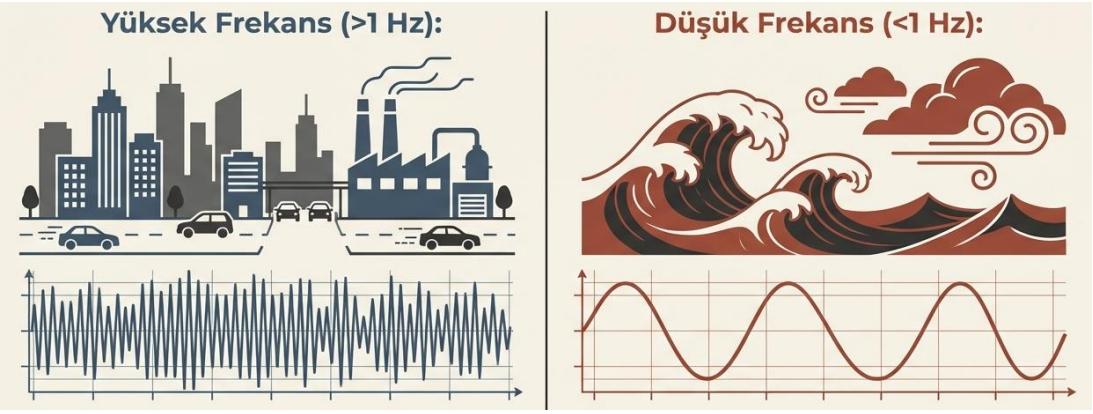
1. GİRİŞ

Çevresel sismik gürültü (mikrotremor), hem doğal (örneğin, okyanus dalgaları, meteorolojik süreçler) hem de antropojenik kaynaklar tarafından üretilen sürekli yer titreşimlerinden oluşur. Bu titreşimler ağırlıklı olarak yüzey dalgalarından, özellikle de yeraltı kesme dalgası hız yapılarının türetilmesinde yaygın olarak kullanılan Rayleigh dalgalarından oluşur (Görsel 1).



Görsel 1. Üç bileşenli bir mikrotremor kaydı.

Mikrotremorlar, frekansa bağlı olarak iki ana kaynaktan türeyen zayıf yer titreşimleri olarak tanımlanabilir: 1 Hz'in üzerindeki titreşimler çoğunlukla trafik ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanırken, 1 Hz'in altındaki bileşenler deniz etkileri ve meteorolojik süreçlerle ilişkilidir (Görsel 2).



Görsel 2. Yükse ve düşük frekanslı kaynaklara ait mikrotremor oluşumları.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Bu titreşimlerin enerji yayılımı büyük ölçüde yüzey dalgaları şeklindedir. Rayleigh dalgaları düşey bileşende, Love dalgaları ise yatay bileşende kaydedilebilmesine rağmen, pratik uygulamalarda genellikle düşey sensörlerle elde edilen Rayleigh dalgaları tercih edilmektedir (Foti vd., 2017).

Son yıllarda, sismik ortam gürültüsüne dayanan pasif yüzey dalgası yöntemlerinde önemli gelişmeler yaşanmıştır. Bu yöntemlerin temeli, Kiyoo Aki tarafından 1957 yılında ortaya konulan SPAC (Spatial Autocorrelation – Uzaysal Özilişki) yaklaşımına dayanmaktadır. Aki'nin geliştirdiği bu teori, izotropik dalga alanı varsayımı altında, farklı yönlerden gelen yüzey dalgalarının mikrotremorları oluşturduğunu ve bu kayıtlar kullanılarak ortamın hız yapısının belirlenebileceğini göstermiştir. Özellikle dairesel dizilim geometrileri ile gerçekleştirilen bu çalışmalar (Aki, 1957; 1965), yöntemin temelini oluşturmuştur.
Bu gelişmelerin ardından, çok sayıda sismometrenin kullanıldığı ölçüm teknikleri "mikrotremor dizilim ölçümleri" (MDÖ) olarak adlandırılmıştır. Hiroshi Okada (2003), SPAC yaklaşımını temel alarak kayma dalgası hızının (Vs) derinlikle değişimini tahmin etmeye yönelik daha kapsamlı bir MDÖ yöntemi geliştirmiştir. SPAC yöntemi; güvenilir sonuçlar üretmesi, saha uygulamasının görece kolay olması ve hesaplama açısından etkinliği nedeniyle, ortam gürültüsünden yüzey dalgası faz hızlarının elde edilmesinde en yaygın kullanılan tekniklerden biri haline gelmiştir.

Bunu izleyen süreçte pek çok araştırmacı, SPAC yönteminin farklı varyasyonlarını geliştirerek hem sığ hem de derin yeraltı yapılarının incelenmesine katkı sağlamıştır. Bu çalışmalar kapsamında, birkaç metreden kilometre ölçeğine kadar değişen derinliklerde yeraltı özellikleri araştırılmış ve farklı dizilim geometrilerinin performansı test edilmiştir (Asten ve Boore, 2005; Stephenson vd., 2005; Cornou vd., 2007; Boore ve Asten, 2008; Garofalo vd., 2016; Foti vd., 2017; Asten ve Hayashi, 2018; Asten vd., 2019a, 2021a,b; Hayashi vd., 2022). Uzaysal özilişki (SPAC) terimi, eşlenen bir değişkende sistematik uzaysal değişimin varlığını ifade eder. Mikrotremorları oluşturan yüzey dalgalarının yayılma yönlerini ve dolayısıyla faz hızlarını kaynak belirli olmadığından belirlemek zordur. Bu nedenle Aki (1957), bir dizi sensörle elde edilen mikrotremor verilerinin istatistiksel olarak analiz edildiği ve faz hızının elde edilmesine olanak tanıyan SPAC yöntemini önermiştir. SPAC'ın hesaplanması prensipte ortam gürültüsünün genel çapraz korelasyonuna yakındır (Wapenaar, 2004). SPAC, çapraz korelasyonun frekans alanındaki otokorelasyona bölünmesinin gerçek kısmı olarak düşünülebilir. Bitişik gözlemlerin benzer veri değerlerine sahip olduğu durumlar pozitif, bitişik gözlemlerin çok zıt değerlere sahip olma eğiliminde olduğu durumlarda, negatif uzaysal özilişki ortaya çıkar.

2. METODOLOJİ

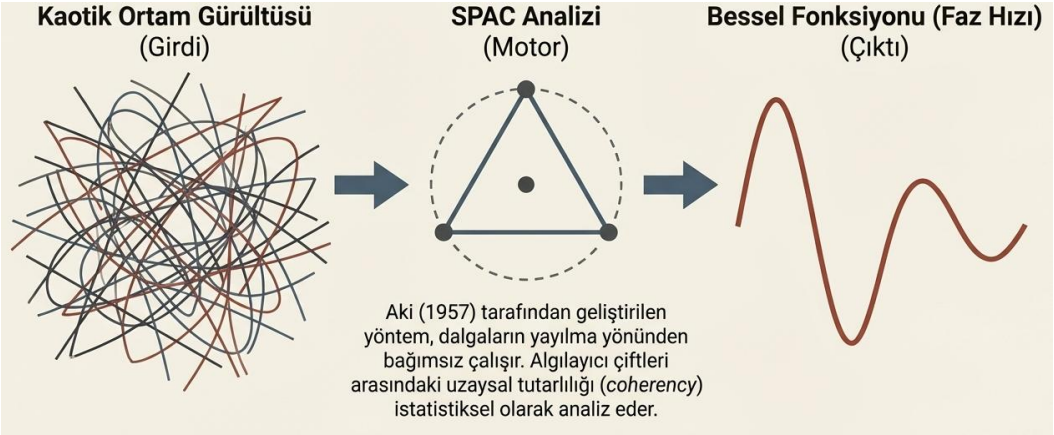
2.1 SPAC Teorisi

SPAC katsayısı, aralarında r mesafesi olan iki sensörde kaydedilen sinyaller arasındaki normalize uzamsal korelasyon olarak tanımlanır. İzotropik dalga alanı varsayımları altında, SPAC katsayısı bir Bessel fonksiyonu olarak ifade edilir:

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

$$SPAC(r,\omega) = J_0\left(\frac{\omega r}{c(\omega)}\right)$$

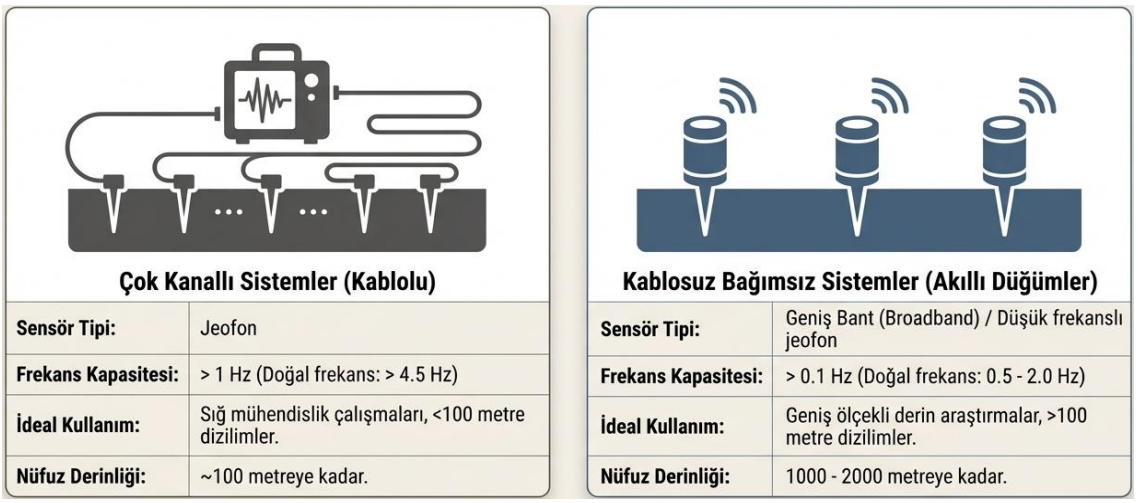
burada c(ω) faz hızıdır ve J_0 sıfır dereceden Bessel fonksiyonudur (Görsel 3). Bu ilişki, gözlemlenen mekânsal korelasyonlardan faz hızının tahmin edilmesini sağlar. SPAC verisi elde etmek için temelde iki tür veri toplama sistemi kullanılır. Çok sayıda alıcının tipik olarak çok kanallı kablolar aracılığıyla bağlandığı çok kanallı bir sismograf sistemi. Tüm birimlerin herhangi bir mesafe üzerinden senkronize edilebilmesi için her bir sensörle birlikte bir GPS saati içeren kablosuz bir bağımsız sismograf dizisi. Çok kanallı sismograflarda genellikle doğal frekansı 1.0 – 4.5 Hz olan jeofonlar kullanılır. Kablosuz sismograf sistemleri için çoğunlukla sismometreler kullanır. Çok kanallı sismograflar daha küçük (<100 m) dizilimler için kullanılırken, kablosuz sismograflar daha büyük dizilimler (>100 m) için kullanılır.



Görsel 3. Miktrotremor verisinden Bessel fonksiyonuna geçiş

Kablosuz sismograflar düşük frekanslı faz hızları gerektiren daha büyük diziler için kullanıldığından, alıcı olarak geniş bant sensörler veya düşük rezonans frekansına sahip jeofonlar kullanılır. Çok kanallı sismograflar sığ mühendislik sismolojisi çalışmalarında kullanılmaktadır ve ticari olarak birçok farklı türü mevcuttur. Teknolojinin her geçen gün ilerlemesiyle kablosuz sismograf sistemleri daha az iş gücü ve maliyet gerektirmesi sayesinde son yıllarda daha popüler hale gelmiştir. Geniş bant sensörlü kablosuz sismografların artan kullanılabilirliği SPAC ölçümlerinin büyük sismik dizilerle verimli bir şekilde yapılmasını sağlamaktadır (Görsel 4). Kullanılacak sistemin seçimi kültürel gürültü seviyesine, sahaların ölçü alınabilir durumuna, jeolojisine ve ilgilenilen araştırma derinliğine bağlıdır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



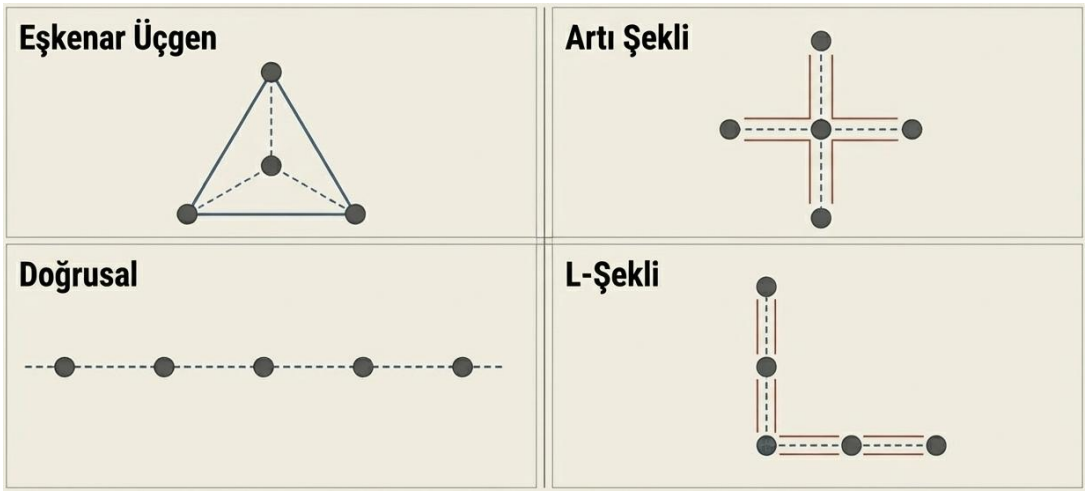
Çok Kanallı Sistemler (Kablolu)	
Sensör Tipi:	Jeofon
Frekans Kapasitesi:	> 1 Hz (Doğal frekans: > 4.5 Hz)
İdeal Kullanım:	Sığ mühendislik çalışmaları, <100 metre dizilimler.
Nüfuz Derinliği:	~100 metreye kadar.

Kablosuz Bağımsız Sistemler (Akıllı Düğümler)	
Sensör Tipi:	Geniş Bant (Broadband) / Düşük frekanslı jeofon
Frekans Kapasitesi:	> 0.1 Hz (Doğal frekans: 0.5 - 2.0 Hz)
İdeal Kullanım:	Geniş ölçekli derin araştırmalar, >100 metre dizilimler.
Nüfuz Derinliği:	1000 - 2000 metreye kadar.

Görsel 4. SPAC ölçülerinde kullanılan ölçüm sistemleri

2.2 Dizilim Geometrileri

SPAC ölçümlerinde istatistiksel analiz için uzun kayıt süresi daha iyidir. Ancak uzun veri toplama sürelerine ihtiyaç duyulması yöntemin saha verimliliğini düşürebilir. Bu nedenle mikrotremor verilerinin uygun veri uzunluğunda kaydedilmesi, pratik araştırma tasarımında çok önemli bir faktördür. Çeşitli deneysel çalışmalar, 100 m'den az aralıklı diziler için genellikle 10 ila 20 dakikalık verilerin yeterli olduğunu göstermektedir (Hayashi vd 2006; Hayashi 2009; 2019). Veri kalitesi zemin yapısına göre farklılık gösterse de daha büyük dizilim boyutları için kayıt uzunluğunun artırılması gerekir. Tipik kayıt süreleri, birkaç yüz metrelik dizilim boyutu için 30 - 40 dakika, 1 km'den büyük dizilimler için ise birkaç saattir. Birkaç saatten daha uzun veriler, mikrotremor enerjisi kaynaklarının sabit olması nedeniyle veri kalitesini önemli ölçüde iyileştirmez. Ancak kentsel alanlardaki gibi bazı araştırmalar, bir dizilim içinde mevcut olan yerel sismik kaynaklarla önemli sorunlar yaşayabilir. Bunlar yakın alanda düzlemsel olmayan dalga yayılımına yol açarak istasyonlar arası tutarlılığın düşük olmasına neden olabilir. Uzun kayıtların yapılabileceği durumlar genellikle mikrotremor enerji kaynaklarının seyrek olduğu, düşük gürültülü uzak bölgelerdir. Bu çalışma kapsamında 4 farklı geometrik dizilim uygulanarak SPAC ölçümleri alınmıştır (Görsel 5).

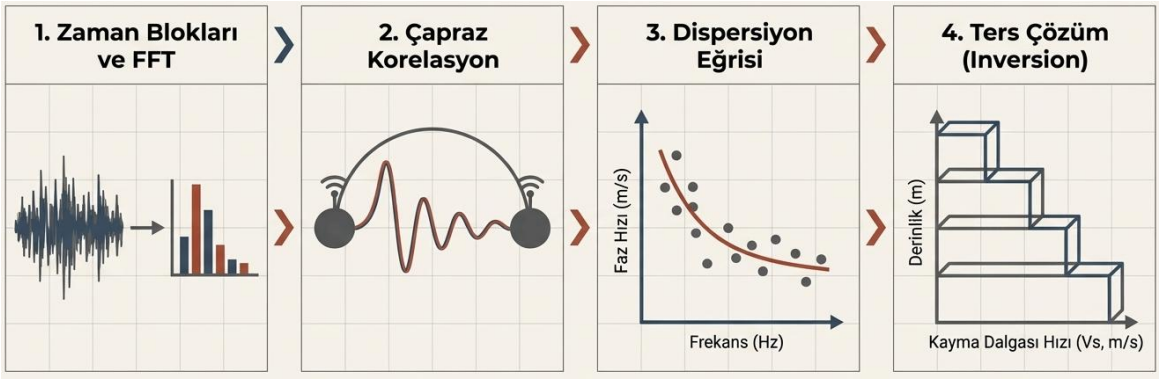


Görsel 5. Çalışma kapsamında uygulanan geometrik dizilimler

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.3 Veri İşleme

SPAC analizinde veri işleme süreci genel olarak iki farklı yaklaşımla yürütülmektedir. İlk yöntemde, düşey bileşende kaydedilen mikrotremor zaman serileri, kısmen örtüşebilen çok sayıda kısa zaman penceresine ayrılır. Bu işlemden önce tüm istasyon kayıtlarının ortak bir zaman referansına hizalanması gerekir. Her bir zaman penceresine hızlı Fourier dönüşümü (FFT) uygulanarak veriler frekans alanına aktarılır. Ardından alıcı çiftleri arasındaki tutarlılık her pencere için ayrı ayrı hesaplanır ve farklı sensör aralıkları ile azimutlar için ortalamaları alınır. Yeterli sayıda pencere ve yön üzerinden yapılan bu ortalama işlemi sonucunda elde edilen tutarlılık fonksiyonunun, teorik olarak bir Bessel fonksiyonuna yaklaştığı kabul edilir.
İkinci yaklaşımda ise ani genlik artışları gibi istenmeyen gürültüler temizlendikten sonra tek ve uzun bir veri bloğu seçilir. Bu bloğa doğrudan FFT uygulanır ve istasyon çiftleri arasındaki uyum spektrumları hesaplanır. Daha sonra belirli frekans aralıklarında karmaşık tutarlılıkların ortalaması alınarak analiz gerçekleştirilir (Asten and Boore 2005).



Görsel 6. SPAC yöntemi veri işlem adımları

Her iki yöntemde de frekanslara bağlı olarak faz hızları, gözlemsel tutarlılık değerleri ile teorik Bessel fonksiyonları arasındaki fark en aza indirilecek şekilde belirlenir. Bu işlem sonucunda elde edilen faz hızları, dispersiyon eğrisini oluşturur. Son aşamada ise bu eğrilerin ters çözümü yapılarak kayma dalgası hızının (Vs) derinlikle değişimini temsil eden yeraltı hız modeli elde edilir (Görsel 6). Vs profilleri, gözlemlenen ve teorik dağılım eğrileri arasındaki uyumsuzluğun en aza indirilmesiyle doğrusal olmayan en az kare tersine çevrilmesiyle elde edilmiştir:

$$E = \sum_{i=1}^{N} (c_{obs} - c_{cal})^2$$

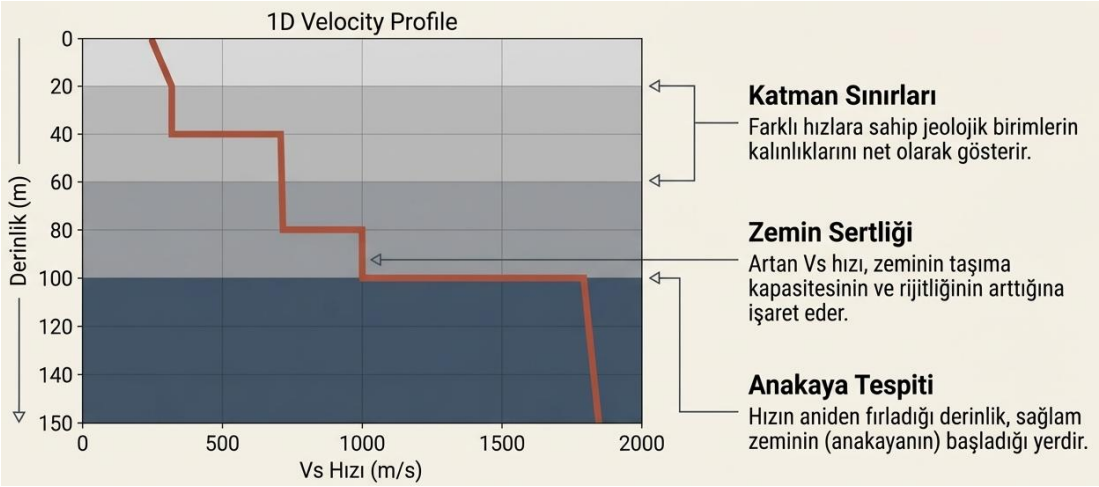
Model doğruluğunu artırmak için gerektiğinde daha yüksek modlar da dahil edilmiştir.

3. SONUÇLAR

Teorik dispersiyon eğrilerinin hesaplanması, Vs'ye ek olarak P-dalga hızı (Vp) ve yoğunluğunu gerektirir. Dispersiyon hesaplamasında Vp ve yoğunluğun etkileri Vs'ye kıyasla çok daha küçük olduğundan (Xia vd., 1999), Vp ve yoğunluk genellikle Vs ile otomatik olarak değiştirilir veya makul sabit değerlere ayarlanır. Vp ve yoğunluk için yöntemin seçimi kritik değildir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

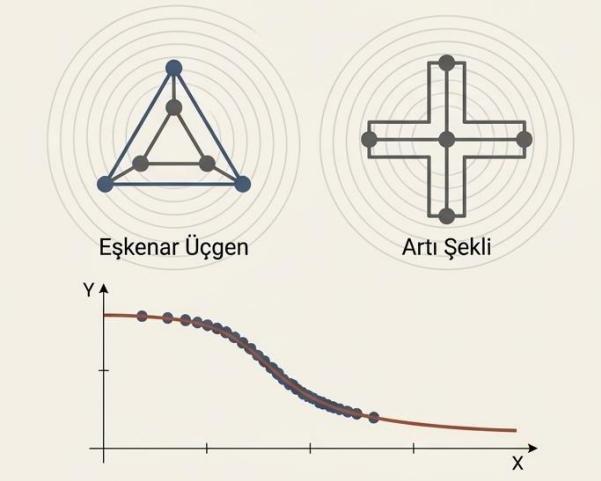
Çünkü dispersiyon eğrileri genellikle bu parametrelere karşı duyarsızdır. Su tablasında bir istisna geçerlidir. Yeraltı suyu seviyesinin üstündeki ve altındaki Vp, konsolide olmayan toprakta büyük bir değişiklik gösterdiğinden, su tablasının konumunun, yumuşak sedimanlardaki tahmini Vs modeli üzerinde büyük bir etkiye sahip olabileceği sonucu çıkar. Bu gibi durumlarda, güvenilir yeraltı suyu bilgilerinin elde edilmesi arzu edilir. Aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemlerinin çoğu, dağılım eğrilerinin temel modun (R0) hakimiyetinde olduğunu varsayar. Ancak yüksek modlar, yüksek hızlı bir katmanın düşük hızlı bir katman üzerinde yer aldığı veya yüksek hızlı katmanların düşük hızlı katmanlar arasına gömülü olduğu durumlar gibi çeşitli hız yapılarında baskın olabilir. Bu nedenle, bu durumlarda dispersiyon eğrilerinin ters çözümünde daha yüksek modların hesaba katılması gereklidir. Teorik dispersiyon eğrilerinin hesaplanmasında temel mod ve 5. moda kadar olan üst modlar dikkate alınmıştır. Gözlemlenen faz hızları düz kırmızı çizgiyle beyaz dairelerle gösterilir ve modellenen etkin mod Re faz hızları sarı dairelerle gösterilir. Kesintisiz ve kesikli çizgiler, temel ve daha yüksek modlu teorik dispersiyon eğrilerini ve bunların göreceli genliklerini diğer bir deyişle ortamın tepkisini gösterir. Dispersiyon eğrisinde 1 Hz'lik bir frekans civarındaki bir çarpmanın, birinci yüksek modun nispeten büyük genliğinden kaynaklandığı görülebilir (Görsel 7).



Görsel 7. Örnek bir Vs hız modeli

Sonuçlar, dizilim geometrisinin SPAC analizinde belirleyici bir rol oynadığını göstermektedir. Simetrik konfigürasyonlar, izotropik dalga alanı varsayımını sağlamak için daha iyi azimut ortalaması sağlar. Özellikle üçgen dizilimler, alan verimliliği ile veri güvenilirliği arasında optimal bir denge sunar. Artı-şekilli dizilim, özellikle dağıtım kısıtlamalarının bulunduğu kentsel ortamlarda da iyi performans gösterir. Buna karşılık, doğrusal ve L şeklinde dizilimler yön yanlılığına sahiptir (Görsel 8).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 8. Artı ve eşkenar üçgen dizilimlerinden dispersiyon oluşumu

Performansları gürültü kaynağı dağılımına ve kayıt süresine büyük ölçüde bağlıdır. Uygun koşullarda kabul edilebilir sonuçlar elde edilse de bu geometriler genellikle daha az güvenilirdir. Bir diğer önemli bulgu ise dizilim açıklığının artırılmasının düşük frekans çözünürlüğünü iyileştirdiği ve böylece daha derin yapıların incelenmesini arttırdığıdır. Ancak bu, daha uzun kayıt süreleri ve dikkatli gürültü yönetimi gerektirir. Bu bulgular, önceki çalışmalarla (örneğin, Foti vd., 2017) tutarlıdır ve dizilim tasarımının pasif sismik araştırmalarda kritik bir faktör olduğunu doğrular.

Teşekkür

Bu çalışma, **FHD-2023-4286** nolu hızlı destek projesi olarak ÇOMÜ BAP Birimi tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

[1] Aki, K., Space and Time Spectra of Stationary Stochastic Waves, with Special Reference to Microtremors, Bull Earthq Res Inst, 35, 415–456, 1957.

[2] Aki, K., Maximum Likelihood Estimate of b in the Formula log10N=a-bm and Its Confidence Limits, Bulletin of Earthquake Research, 43, 237-239, 1965.

[3] Asten, M. W., Boore, D. M., Comparison of Shear-Velocity Profiles of Unconsolidated Sediments Near the Coyote Borehole (CCOC) Measured with Fourteen Invasive and Non-Invasive Methods, U.S. Geological Survey Open-File Report 2005–1169, 35 pp., 2005.

[4] Asten, M. W., Hayashi, K., Application of the Spatial Autocorrelation Method for Shear-Wave Velocity Studies Using Ambient Noise, Surveys in Geophysics, 39, 633–659, 2018.

[5] Asten, M. W., Yong, A., Foti, S., Hayashi, K., Martin, A. J., Stephenson, W. J., Cassidy, J. F., Coleman, J., A Preliminary Assessment of Uncertainties Attributed by Analysts,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Array Types and Processing Algorithms for Microtremor Observations, via the COSMOS Blind Trials, ASEG Extended Abstracts, 2019, 1–4, 2019.

[6] Asten, M. W., Stephenson, W. J., Hartzell, S., Spatially Averaged Coherencies (krSPAC) and Rayleigh Effective-Mode Modeling of Microtremor Data from Asymmetric Arrays, Geophysics, 84, 3, EN47–EN56, 2019.

[7] Asten, M. W., Yong, A., Foti, S., Hayashi, K., Martin, A. J., Stephenson, W. J., Cassidy, J. F., Coleman, J., Nigbor, R., Castellaro, S., Chimoto, K., Cornou, C., Cho, I., Hayashida, T., Hobiger, M., Kuo, C.-H., Macau, A., Mercerat, E. D., Molnar, S., Pananont, P., Pilz, M., Poovarodom, N., Sáez, E., Wathelet, M., Yamanaka, H., Yokoi, T., Zhao, D., An Assessment of Uncertainties in Vs Profiles Obtained from Microtremor Observations in the Phased 2018 COSMOS Blind Trials, Journal of Seismology, 2021.

[8] Asten, M. W., Stephenson, W. J., Yong, A., Foti, S., Hayashi, K., Martin, A. J., Nigbor, R., Data Release for: An Assessment of Uncertainties Attributed by Analysts, Array Types and Processing Algorithms for Microtremor Observations, Using the Phased 2018 COSMOS Blind Trials, U.S. Geological Survey Data Release, 2021.

[9] Boore, D. M., Asten, M. W., Comparisons of Shear-Wave Slowness in the Santa Clara Valley, California, Using Blind Interpretations of Data from Invasive and Non-Invasive Methods, Bulletin of the Seismological Society of America, 98, 4, 1983–2003, 2008.

[10] Cornou, C., Ohrnberger, M., Boore, D. M., Kudo, K., Bard, P.-Y., Derivation of Structural Models from Ambient Vibration Array Recordings: Results from an International Blind Test, Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion (ESG2006), 1127–1215, 2007.

[11] Foti, S., Hollender, S., Garofalo, F., Albarello, D., Asten, M., Bard, P.-Y., Comina, C., Cornou, C., Cox, B., Di Giulio, G., Forbriger, T., Hayashi, K., Lunedei, E., Martin, A., Mercerat, D., Ohrnberger, M., Poggi, V., Renalier, F., Sicilia, D., Socco, L. V., Guidelines for the Good Practice of Surface Wave Analysis: A Product of the InterPACIFIC Project, Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 2367–2420, 2017.

[12] Garofalo, F., Foti, S., Hollender, F., Bard, P. Y., Cornou, C., Cox, B. R., Ohrnberger, M., Sicilia, D., Asten, M., Di Giulio, G., Forbriger, T., Guillier, B., Hayashi, K., Martin, A., Matsushima, S., Mercerat, D., Poggi, V., Yamanaka, H., InterPACIFIC Project: Comparison of Invasive and Non-Invasive Methods for Seismic Site Characterization. Part I: Intra-Comparison of Surface Wave Methods, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 82, 222–240, 2016.

[13] Hayashi, K., Asten, M. W., Stephenson, W. J., Cornou, C., Hobiger, M., Pilz, M., Yamanaka, H., Microtremor Array Method Using Spatial Autocorrelation Analysis of Rayleigh-Wave Data, Journal of Seismology, 26, 601–627, 2022.

[14] Okada, H., The Microtremor Survey Method, Society of Exploration Geophysicists Monograph Series 12/Tulsa, Oklahoma, 2003.

[15] Stephenson, W. J., Louie, J. N., Pullammanappallil, S., Williams, R. A., Odum, J. K., Blind Shear-Wave Velocity Comparison of ReMi and MASW Results with Boreholes to 200 m in Santa Clara Valley: Implications for Earthquake Groundmotion

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Assessment, Bulletin of the Seismological Society of America, 95, 6, 2506–2516, 2005.

[16] Xia, J., Miller, R. D., Park, C. B., Estimation of Near-Surface Shear-Wave Velocity by Inversion of Rayleigh Waves, Geophysics, 64, 3, 691–700, 1999.

[17] Wapenaar, K., Retrieving the Elastodynamic Green's Function of an Arbitrary Inhomogeneous Medium by Cross Correlation, Physical Review Letters, 93, 254301, 1–3, 2004.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

BETONARME YAPILARDA GÜÇLÜ KİRİŞ-ZAYIF KOLONLARIN FRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Prof. Dr. Ercan IŞIK[1], Doç. Dr. Fatih AVCİL[2], Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ[3]

[1]Bitlis Eren Üniversitesi, eisik@beu.edu.tr - 0000-0001-8057-065X

[2]Bitlis Eren Üniversitesi, favcil@beu.edu.tr - 0000-0001-6550-550X

[3]Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, absarac@comu.edu.tr -0000-0002-4279-4158

ÖZET

Yüksek sismik riske sahip bir coğrafi konumda yer alan Türkiye'de kentsel yapı stoklarının büyük bir bölümünü betonarme yapılar oluşturmaktadır. Meydana gelen sismik hareketler sonucu bu tür yapılarda hasar veya yıkıma neden olan faktörlerden biri de güçlü kiriş – zayıf kolon durumudur. Depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerinde her ne kadar kolonların kirişlerden güçlü olarak tasarlanıp inşa edilmesi gerektiği belirtilse de tasarım ve uygulama hatalarından dolayı kirişlerin kolonlardan daha güçlü olması sonucu farklı düzeylerde yapısal hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu çalışma kapsamında oluşturulan betonarme çerçeve modeli üzerinden öncelikle güçlü kiriş – zayıf kolon için sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizlerde kesme kuvvet kapasitesi aşılan kolonlarda lifli polimer uygulaması yapılarak kolonların kirişlerden daha güçlü olması amaçlanmıştır. Güçlendirme sonrası kesme kuvvet kapasitesi aşılan herhangi bir kolon kalmamıştır. Bu da mevcut betonarme yapılarda bulunan güçlü kiriş-zayıf kolon durumlarında FRP kullanımı ile olası yapısal hasarlarının minimize edilmesi noktasında kullanılabilirliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Deprem, FRP, betonarme, güçlendirme, güçlü kiriş-zayıf kolon

1. GİRİŞ

Yüksek sismik riske sahip bir bölgede bulunan Türkiye zaman içerisinde yıkıcı depremlerin etkisi altında kalabilmektedir. Bu sismik hareketler kentsel yapı stokunun büyük bir çoğunluğunu oluşturan betonarme yapılarda farklı düzeylerde yapısal hasar ve yıkımlara neden olabilmektedir. Betonarme yapılarda deprem direncini azaltan yapısal özellikler bu hasar ve yıkımlarda kritik rol oynamıştır. Depreme dayanıklı yapı tasarım ilkelerinin hem tasarım hem de yapım aşamasına eksik, kusurlu, hatalı veya hiç uygulanmaması yapısal hasarların boyutunu

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

olumsuz olarak etkilemektedir. 6 Şubat 2023 günü yerel saat ile 04:17 ve 13:24'te merkez üsleri Kahramanmaraş iline bağlı Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olan ana depremler ve ardından oluşan deprem silsilesi betonarme yapılardaki yapısal düzensizlik ve kusurların hasarlarda çok kritik olduğunu bir kez daha açık bir şekilde ortaya koymuştur (Aydın et al.,2025; Bayraktar et al., 2026; İnce vd., 2025; İnce, 2025). Bu hasarlarda özellikle deprem yönetmeliklerinde belirtilen koşulların tam anlamı ile uygulanmaması yıkım ve hasar miktarının artışına neden olmuştur (Aras vd., 2025; Peker et al., 2025; Işık et al., 2025a). Söz konusu yapısal tahribatın temelinde; mimari ve mühendislik tasarımındaki yapısal düzensizlikler, sismik tasarım ilkelerinin hatalı veya yetersiz uygulanması, düşük malzeme kalitesi ve yapım yılı gibi faktörler ön plana çıkmıştır (Eren ve Fenerli, 2026; Işık ve Hamacıoğlu, 2025; Işık vd., 2025b)). Bu ilkelerden biri olan kolonların, kirişlerden daha güçlü inşa edilmesi gerekliği dikkate alınmayan betonarme yapılarda farklı düzeylerde yapısal hasarlar meydana gelmiştir.

Betonarme yapıların deprem yükleri altındaki davranışı, büyük ölçüde taşıyıcı sistem elemanlarının süneklik kapasitesine ve enerji sönümleme yeteneğine bağlıdır. Modern deprem yönetmeliklerinin temel tasarım felsefesi, olası bir şiddetli deprem anında hasarın kolonlar yerine kirişlerde oluşmasını öngören "zayıf kiriş-güçlü kolon" ilkesine dayanmaktadır. Bu ilke, plastik mafsalların kiriş uçlarında oluşmasını sağlayarak yapının toptan göçmesini engeller ve can güvenliğini maksimize etmektedir. Ancak, özellikle mühendislik hizmeti almamış veya eski yönetmeliklere göre inşa edilmiş mevcut yapı stokunda, bu ilkenin tam tersi olan "Güçlü Kiriş-Zayıf Kolon" durumuyla sıklıkla karşılaşılmaktadır. Bu durumun temel nedenleri arasında şunlar yer almaktadır:

- Kirişlerdeki donatı oranının tasarımın üzerinde olması veya döşeme donatılarının kiriş kapasitesine olan katkısının ihmal edilmesi.
- Kolon boyutlarının veya donatı miktarlarının yetersizliği.
- Yapım aşamasındaki uygulama hataları.

Bu tür yapılarda deprem etkisiyle plastik mafsalların kolon uçlarında oluşması, "kat mekanizması" adı verilen dengesiz bir duruma yol açarak yapının ani ve gevrek bir şekilde çökmesine neden olabilmektedir. Literatürde güçlü kiriş – zayıf kolon üzerine yapıaln çalışmalar hem sayısal hem de deneysel bilgileri içermektedir. Büyükkaragöz (2009), deprem etkileri altında ciddi hasarı veya çökmeyi azaltmak amacıyla, betonarme yapılardaki zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimlerinin kesme ve eğilme kapasitesi üzerindeki kesme saplamalı plakaların etkisini incelemiştir. Arısoy ve Şermet (2018) mevcut yönetmeliklerin yalnızca kolon güçlendirmeye odaklanmasıyla ilgili sorunları gidermek için kolon güçlendirmeyi kiriş zayıflatmayla birleştiren yeni bir sismik tasarım stratejisi önermişlerdir. Han vd. (2025) testlerde ve deprem araştırmalarında sıkça görülen "kolon mafsal" arızalarına rağmen, betonarme çerçeve yapıların sismik tasarımında yaygın olarak kullanılan güçlü kolon-zayıf kiriş prensibini incelemişlerdir. Işık ve Özdemir (2016), örnek bir betonarme yapı modeli üzerinde güçlü kiriş–zayıf kolon durumunun yapısal performans üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Kaya ve Yalçın (2017) mevcut sismik tasarım prensiplerinin, binalardaki hasar senaryosunun önce kirişlerde, ardından kolonlarda meydana gelmesini beklediğini ve

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

bunun da güçlü kolon-yeterli kiriş tasarım prensibini gerektirdiğini değerlendirmişlerdir. Ning vd. (2016), döşemelerin, betonarme çerçevelerin tipik güçlü kolon-zayıf kiriş arıza modelini güçlü kiriş-zayıf kolon arıza modeline dönüştürebileceğini ortaya koymaya çalışmışlardır. Lu ve Lin (2025) güçlü kolon-zayıf kiriş tasarımını, yapısal sünekliği ve dağıtılmış hasarı sağlamak amacıyla, kolon uçlarından önce kiriş uçlarında plastik mafsalların oluşmasını hedefleyen bir sismik tasarım felsefesi olarak değerlendirmişlerdir. Gong vd . (2022) betonarme çerçevelerin, deprem olayları sırasında yapısal hasarı ve çökmeyi en aza indirmek için genellikle güçlü kolon-zayıf kiriş felsefesi kullanılarak tasarlandığını belirtmişlerdir. Lee vd. (2019) sismik yükleme sırasında kolon hasarını önlemek için güçlü kolon-zayıf kiriş konseptini kullanarak kiriş-kolon birleşimlerinin tasarımını ele almışlardır. Ghorbanzadeh ve Khoshnoudian (2022) yapıların çökme kapasitesi ve kolon hasarının azaltılmasında güçlü kolon-zayıf kiriş oranının etkinliğini artımlı doğrusal olmayan dinamik analiz yoluyla değerlendirmişlerdir. Surana vd. (2018) güçlü kolon zayıf kiriş tasarım kriterinin, betonarme çerçeve binaların sismik kırılganlığı ve çökme performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir.

Deprem performansı öngörülen düzeylerde olmayan betonarme yapılarda güçlendirme; yapısal elemanların mevcut taşıma kapasitelerinin, değişen kullanım koşulları, malzeme yorulması veya korozyon gibi zamana bağlı deformasyonlar nedeniyle tasarım sınırlarının altına düşmesi durumunda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, güncellenen deprem yönetmelikleri ışığında yetersiz bulunan sismik performansın artırılması, sünekliğin iyileştirilmesi ve olası bir afette can güvenliğini sağlayacak toptan göçme riskinin minimize edilmesi temel akademik gerekçeleri oluşturmaktadır. Geleneksel güçlendirme yöntemleri (betonarme mantolama veya çelik levha yapıştırma) ağır işçilik gerektirmesi, yapının kullanım alanını daraltması ve kütle artışına neden olması gibi dezavantajlara sahiptir. Buna karşılık, Lifli Polimer (FRP) malzemeler; yüksek çekme dayanımı, korozyon direnci ve hafiflikleri ile modern güçlendirme projelerinde öne çıkmaktadır. FRP kompozitleri, kolonların sarılması (kuşaklanması) yoluyla sargı etkisini artırarak eksenel yük kapasitesini ve en önemlisi sünekliği önemli ölçüde iyileştirmektedir. Kolon, kiirş veya kiriş-kolon birleşim bölgelerine uygulanan stratejik FRP konfigürasyonları, kapasite hiyerarşisini değiştirerek plastik mafsal oluşumunu kolonlardan kirişlere kaydırmayı amaçlamaktadır (Işık vd., 2025c, Işık, 2025; Abdoli ve Mostofinejad, 2025; Liu et al., 2025; Zhang et al., 2025; Dirar et al., 2025).

Bu çalışma kapsamında, güçlü kiriş-zayıf kolon mekanizmasına sahip betonarme bir çerçeve için sayısal analizler gerçekleştirilmiştir. Güçlü kiriş- zayıf kolon oluşumu boyutlar üzerinden oluşturulmuştur. Dikkate alınan betonarme çerçeve için kesme kuvvet kapasitesi aşılan kolonlarda FRP ile güçlendirilmesi teorik ve nümerik açıdan ele alınmaktadır. Çalışma kapsamında mevcut yapılarda bulunan güçlü kiriş-zayıf kolonların rehabilitasyonu için uygulanabilir çözüm önerileri sunulması hedeflenmektedir. Güçlendirme müdahaleleriyle, binaların sismik kapasiteleri hedeflenen performans düzeylerine yükseltilerek, olası bir depremde meydana gelecek yapısal hasarların önlenmesi ve can kayıplarının asgari düzeye indirilmesi hedeflenmektedir.

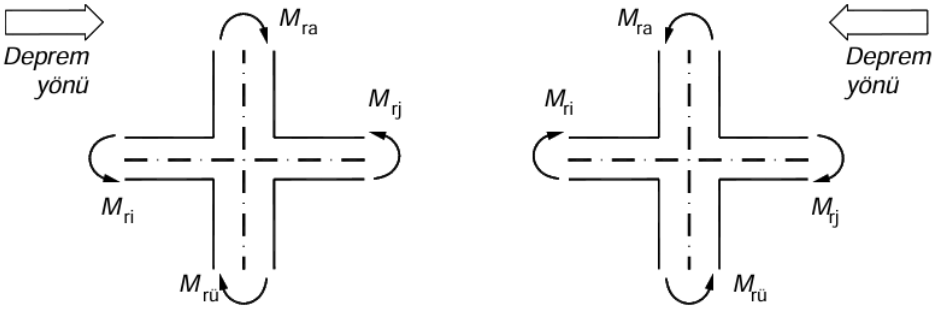
ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2. MATERYAL VE METOT

2023 Kahramanmaraş depremleri, Türkiye'deki mevcut yapı stokunun sismik direnç kapasitesini gerçek zamanlı ve devasa ölçekli bir deneye tabi tutmuştur. İnşaat mühendisliği perspektifinden bakıldığında, özellikle yapısal düzensizlik ve olumsuzluklar hasar ve yıkımlarda kritik rol oynamıştır. Bu durumlardan biri betonarme yapıları oluşturan kirişlerin kolonlardan daha güçlü inşa edilmesidir.

Mimari tasarım aşamasında geniş açıklıklı kullanım alanları oluşturma gayesiyle kesit boyutlarında gidilen tercihler, betonarme taşıyıcı sistemlerde güçlü kiriş-zayıf kolon oluşumuna sebebiyet vermektedir. Oysa deprem etkisindeki yapıların dinamik davranışı incelendiğinde; kolonların eğilme kapasiteleri toplamının, aynı düğüm noktasına birleşen kirişlerin eğilme kapasiteleri toplamından en az %20 oranında daha büyük olması zorunluluğu modern yönetmeliklerin temel sismik tasarım ilkesidir (Kocaman vd., 2011; TBDY-2018). Mevcut yapı stokunda mimari gereksinimler ve geniş açıklık ihtiyacı gibi faktörler, kolon kesitlerinin kirişlere oranla daha zayıf tasarlanmasına sebebiyet vermektedir. Ayrıca, kirişlerin tabla oluşturacak şekilde döşeme ile monolitik dökülmesi, bu elemanların eğilme kapasitesini teorik hesapların üzerine çıkararak güçlü kiriş-zayıf kolon mekanizmasının oluşumunu tetiklemektedir. Bu kapasite hiyerarşisindeki dengesizlik neticesinde, sismik yükler altında plastik mafsalların kirişler yerine düşey taşıyıcı elemanlarda kümelendiği ve yapısal hasarın kolonlarda yoğunlaştığı gözlemlenmektedir (Büyükkaragöz, 2009). Sismik tasarımın temel prensiplerinden biri, enerji sönümleme mekanizması olarak plastik mafsalların düşey taşıyıcı elemanlar (kolonlar) yerine yatay elemanlarda (kirişlerde) oluşmasını sağlamaktır. Ancak, özellikle mühendislik ömrünü tamamlamış veya dönemin yetersiz yönetmeliklerine göre inşa edilmiş eski yapılarda, kirişlerin kolonlara oranla daha büyük kesit alanına ve daha yoğun donatı oranına sahip olması bu faktörün tetiklediği hasarlara yol açabilmektedir (Kaplan vd., 2015). Kapasite hiyerarşisindeki bu tersine işleyiş, deprem anında kritik kesme kuvvetlerinin doğrudan kolonlarda yoğunlaşmasına sebebiyet vermektedir. Neticede, kolonlarda meydana gelen gevrek hasarlar sistemin yanal yük taşıma kapasitesini hızla yitirmesine ve yapının ani, kontrolsüz bir şekilde göçmesine yol açmaktadır. Söz konusu zayıf kolonların performansını artırmak amacıyla literatürde yaygın olarak kullanılan betonarme mantolama gibi geleneksel güçlendirme teknikleri, kolon kesit alanında artışa neden olmaktadır. Bu durum, binaların halihazırda kısıtlı olan kullanım alanlarının daralmasına ve yapının mimari fonksiyonelliğinin bozulmasına yol açan temel bir dezavantaj teşkil etmektedir. Bu durumda kolon ve kiriş uç bölgelerinde oluşan momentler Görsel 1'de gösterilmiştir.

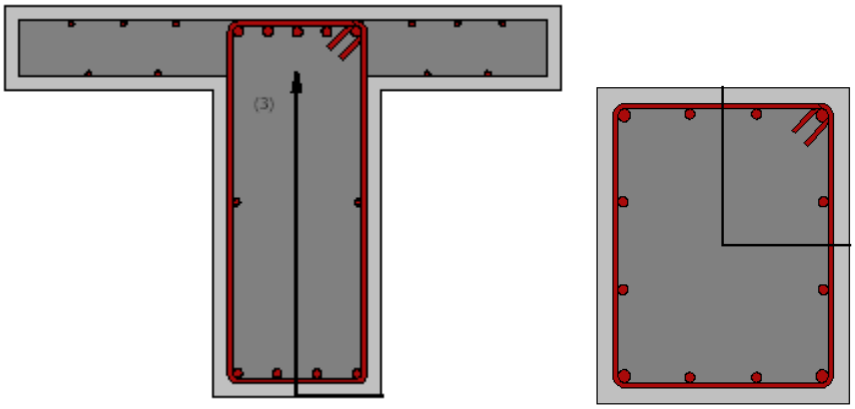
ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 1. Kolon-kiriş birleşin noktasında oluşacak momentler (TBDY-2018)

Bu bağlamda güncel olarak kullanılan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin (TBDY-2018) ilgili bölümünde belirtildiği üzere sadece çerçevelerden veya perde ve çerçevelerin birleşiminden oluşan taşıyıcı sistemlerde, her bir kolon-kiriş düğüm noktasına birleşen kolonların taşıma gücü momentlerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki kesitlerindeki taşıma gücü momentleri toplamından en az %20 daha büyük olacaktır.

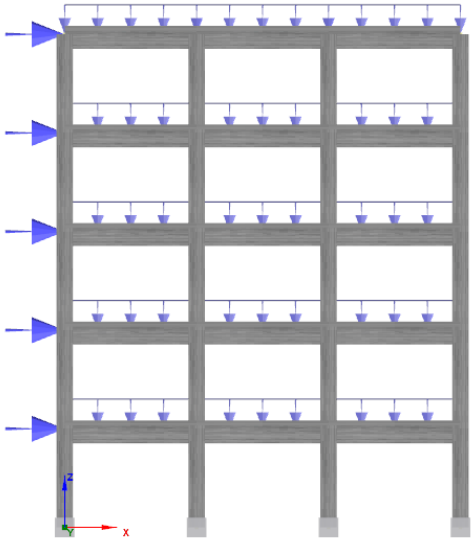
Bu çalışmada 5 katlı betonarme çerçeve sisteminde bir yapı seçilmiştir. Kat yüksekliği her katta eşit ve 3m olarak seçilmiştir. Seçilen binada kullanılan malzeme C25-S420'dir. Kolon boyutları 40*50cm, kiriş boyutları ise 30*70cm olarak dikkate alınmıştır. Bunlara ait en kesitler Görsel 2'de gösterilmiştir.



Görsel 2. Dikkate alınan kiriş ve kolon en kesitleri

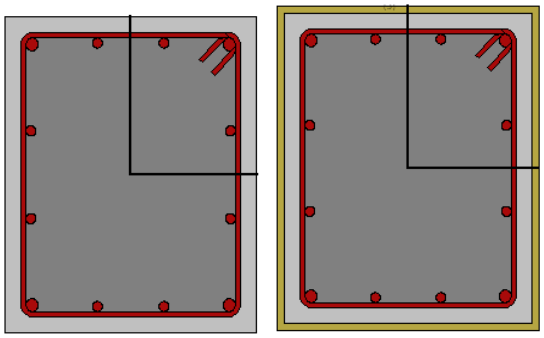
Yapısal analizler Seismostruct (Seismosoft, 2025)yazılımında yer alan statik itme analizi kullanılmıştır. Dikkate alınan yapısal model için elde edilen 2 boyutlu model Görsel 3'te gösterilmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 3. Dikkate alınan 2 boyutlu model

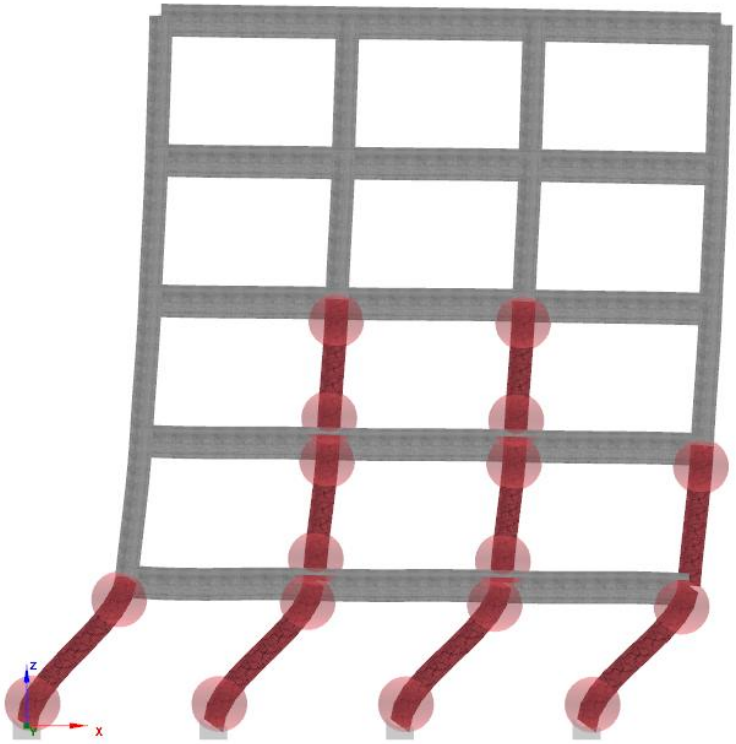
Bu çalışmada güçlendirme uygulamaları sadece kolonlara uygulanmıştır. Kolonlarda güçlendirme öncesi ve sonrası elde edilen kolon en kesitleri Görsel 4'te gösterilmiştir.



Görsel 4. Güçlendirme öncesi ve sonrası için kolon en kesitleri

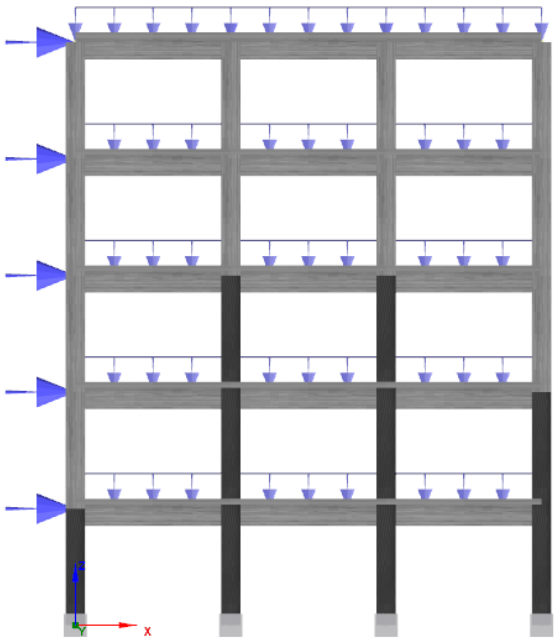
Referans bina olarak modellenen güçlü kiriş-zayıf kolon bulunan 5 katlı betonarme çerçeve için elde edilen kesme kuvvet hasar durumu ve kolon uç bölgelerinde oluşan plastik mafsallar Görsel 5'te gösterilmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 5. Referans bina modeli için kesme kuvvet hasar durumu ve oluşan plastik mafsallar

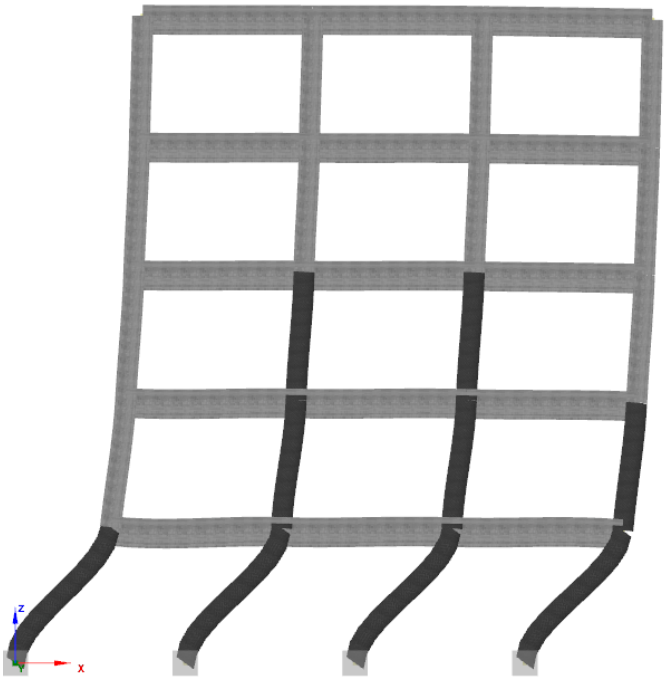
Görsel 5'den görüleceği üzere güçlü kiriş –zayıf kolon dikkate alınarak herhangi bir yapısal düzensizlik içermeden oluşturan referans binada zemin katta yer alan ve kesme kuvvet kapasitesi aşılan sekiz adet kolon bulunmaktadır. Sadece kesme kuvvet kapasitesi aşılan kolonlara FRP uygulaması yapılarak elde edilen üç boyutlu yapısal model Görsel 6'da gösterilmiştir. Siyah renkli kolonlara FRP uygulaması yapılmıştır.



Görsel 6. Güçlendirilen kolonlar için elde edilen iki boyutlu model

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Güçlendirme sonrası elde edilen kesme kuvvet kapasitesi için elde edilen deformasyon durumu Görsel 7'de gösterilmiştir.



Görsel 7. Önerilen güçlendirme sonrası elde edilen kesme kuvveti için deformasyon durumu

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, betonarme yapıların deprem güvenliğini tehdit eden kritik parametrelerden biri olan zayıf kolon-güçlü kiriş kriteri sayısal bir model üzerinden değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle güçlü kolon-zayıf kiriş prensibinin teorik altyapısı açıklanmıştır. Analitik inceleme aşamasında, seçilen bir betonarme çerçevede kirişler boyut açısından kolonlara nazaran daha güçlü seçilmiştir. Bu tasarım senaryosu altında yapıda oluşacak plastik mafsalla ve kesme kuvvet kapasitesi aşılan kolonlar elde edilmiştir. Teorik olarak ifade edilen plastik mafsalların kirişlerden önce kolonlarda oluştuğu ve buna bağlı olarak kesme kuvvet kapasitesi aşılan kolonların bulunduğu belerilmemiştir. Kesme kuvvet kapasitesi aşılan kolonlara lifli polimer uygulaması ile güçlendirme uygulanmış ve sayısal analizler yeniden gerçekleştirilmiştir. Güçlendirilmiş betonarme çerçevede herhangi bir plastik mafsal oluşumu gözlemlenmediği gibi, kesme kuvvet kapasitesi aşılan kolonda kalmamıştır. Bu da bu tür güçlendirmelerin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma, betonarme çerçeve sistemlerde kapasite hiyerarşisinin bozulmasıyla ortaya çıkan güçlü kiriş-zayıf kolon olgusunun yapısal performans üzerindeki yıkıcı etkilerini ve FRP ile güçlendirmenin bu soruna olan çözüm potansiyelini ortaya koymuştur. Yapılan sayısal analizler, referans modelde kirişlerin boyut ve donatı açısından kolonlardan daha kapasiteli olmasının, plastik mafsalların enerji sönümleme kapasitesi daha yüksek olan kiriş uçları yerine

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

doğrudan kolon uçlarında kümelenmesine yol açtığını göstermiştir. Sayısal modelde sekiz adet kolonda kesme kuvveti kapasitesinin aşılması, sistemin gevrek bir göçme mekanizmasına (kat mekanizması) sürüklendiğini ve tasarımda öngörülen %20'lik güçlü kolon-zayıf kiriş şartının sağlanamamasının yapı güvenliğini doğrudan tehdit ettiğini kanıtlamaktadır. Hasar gören ve kesme kapasitesi yetersiz bulunan kolonlara uygulanan FRP kuşaklama yöntemi, taşıyıcı sistemin dinamik karakteristiğini anlamlı ölçüde iyileştirmiştir. Güçlendirme sonrası gerçekleştirilen analizlerde, kesme kuvveti kapasitesini aşan herhangi bir kolonun kalmaması ve plastik mafsal oluşumunun kolon uçlarından arındırılması, FRP uygulamalarının kapasite hiyerarşisini yeniden düzenlemede etkin bir araç olduğunu göstermektedir. Geleneksel mantolama yöntemlerinin aksine kullanım alanını daraltmayan ve yapı kütlesini artırmayan bu yaklaşım, özellikle eski yapı stoklarındaki benzer yapısal düzensizliklerin rehabilitasyonu için uygulanabilir ve sürdürülebilir bir strateji olarak değerlendirilmektedir.

Katkı Belirtme
Bu bilimsel çalışma sunulan sonuçların bir kısmı, Avrupa Birliği tarafından Erasmus+ KA220-HED – Yükseköğretimde İş Birliği Ortaklıkları programı kapsamında ortak olarak finanse edilen 2023-1-HR01-KA220HED-000165929 Intelligent Methods for Structures, Elements, and Materials (https://im4stem.eu/en/home/, erişim tarihi: 4 Haziran 2025) adlı proje kapsamındaki araştırma faaliyetleriyle elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

[18] Abdoli, M., Mostofinejad, D., Shear-torsion Interaction in FRP-Strengthened RC Members: Modeling, Failure Modes, and Experimental Correlation, Construction and Building Materials, 500, 144138, 2025.

[19] Aras, F., Doğan, T. P., Öztürk, M., Tün, M., Işık, E., Arslan, M. H., Assessment of the Damage Caused by the 6 February 2023 Earthquakes on Old and New Dated Reinforced Concrete Buildings in Elbistan, Turkey, Advances in Structural Engineering, 2025.

[20] Arısoy, B., Şermet, F., Kompozit Kolon-Betonarme Kiriş Birleşim Noktasının Tersinir Tekrarlı Yükler Altındaki Davranışının Nümerik Olarak İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 20, 58, 138-149, 2018.

[21] Aydın, M. C., Işık, E., Büyüksaraç, A., Ulu, A. E., Avcil, F., Technical and Socio-Economic Perspective on the Disaster of the Century (6 February 2023 Earthquake) in Türkiye on the Second Anniversary, Geological Journal, 2025.

[22] Bayraktar, A., Bayraktar, S., Núñez, T. R., Brzev, S., Ventura, C. E., Yang, T. Y., Taş, Y., Seismic Demand and Performance for Severely Damaged Low-Rise Buildings During the February 2023 Kahramanmaraş, Türkiye, Earthquake Sequence, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 203, 109999, 2026.

[23] Büyükkaragöz, A., Zayıf Kolon-Güçlü Kiriş Birleşiminde Kesme Çivili Levhanın Etkisi, International Journal of Engineering Research and Development, 1, 1, 7-10, 2009.

[24] Dirar, S., Sogut, K., Caro, M., Rahman, R., Theofanous, M., Faramarzi, A., Effect of Shear Span-to-Effective Depth Ratio and FRP Material Type on the Behaviour of RC T-Beams Strengthened in Shear with Embedded FRP Bars, Engineering Structures, 332, 120105, 2025.

[25] Eren, M. E., Fenerli, C., Seismic Failure Mechanism Shift in RC Buildings Revealed by NDT-Supported, Field-Calibrated BIM-Based Models, Applied Sciences, 16, 1, 455, 2026.

[26] Ghorbanzadeh, M., Khoshnoudian, F., The Effect of Strong Column-Weak Beam Ratio on the Collapse Behaviour of Reinforced Concrete Moment Frames Subjected to Near-Field Earthquakes, Journal of Earthquake Engineering, 26, 8, 4030-4053, 2022.

[27] Gong, M., Liu, B., Zuo, Z., Sun, J., Zhang, H., The Influence of the Flexural Strength Ratio of Columns to Beams on the Collapse Capacity of RC Frame Structures, Buildings, 12, 8, 1219, 2022.

[28] Han, X., Qu, Y., Ji, J., Huang, H., Huang, D., A Numerical Study on the Yielding Mechanism of RC Frame Structure with Cast-in-Place Slabs, Advances in Structural Engineering, 2025.

[29] Işık, E., Özdemir, M., Betonarme Yapılarda Güçlü Kiriş-Zayıf Kolon Durumunun Yapı Performansına Etkisi, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC), 1-10, 2016.

[30] Işık, E., Radu, D., Harirchian, E., Avcil, F., Arkan, E., Büyüksaraç, A., Hadzima-Nyarko, M., Failures in Reinforced-Concrete Columns and Proposals for Reinforcement Solutions: Insights from the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, Buildings, 15, 9, 1535, 2025.

[31] Işık, E., Shao, Y. B., Hadzima-Nyarko, M., Radu, D., Bulajic, B., Lozancic, S., Enhancing the Seismic Safety of Upgraded RC Buildings Using FRP Retrofitting: Analytical and Field Evidence from the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, Bulletin of Earthquake Engineering, 1-35, 2025.

[32] Işık, E., Hadzima-Nyarko, M., Tayeh, B. A., Harrat, Z. R., Avcil, F., Arkan, E., Comparison of Reinforcement Methods With Advanced Materials for R/C Columns, Advanced Engineering Letters, 4, 1, 1-13, 2025.

[33] Işık, E., A Study on Strengthening RC Structural Elements with Fibers Based Polymers, Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 14, 2, 1269-1286, 2025.

[34] Işık, E., Hamamcıoğlu, M., Risk Prioritization of RC Buildings in Bitlis (Türkiye) in the Light of the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, Buildings, 15, 19, 3552, 2025.

[35] İnce, E. G., Çakıl, B., Şimşek, M., İnce, O., Evaluation of Ground Motions and Seismic Performance of RC Buildings After 2023 Kahramanmaraş Earthquakes: Design and Construction Deficiencies, Bulletin of Earthquake Engineering, 1-28, 2025.

[36] İnce, E. G., Seismic Performance of RC Buildings with One-Way Joist Slab: Insights from the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, Structural Concrete, 2025.

[37] Kaplan, O., Güney, Y., Cengiz, A. E., Özçelikörs, Y., Topçu, A., Eskişehir İli Bina Envanterinin Yapısal Kusurlar ve Düzensizlikler Bakımından İrdelenmesi, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, 2015.

[38] Kaya, O., Yalçın, C., Ağır Hasarlı Kolon Kiriş Birleşim Numunesinin Kimyasal Harçlar ile Onarılarak Sismik Davranışının İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23, 3, 171-176, 2017.

[39] Kocaman, C., Bayülke, N., Doğan, A., Duran, A., 19 Mayıs 2011 Simav Depremi ve Yapı Hasarı Raporu, 2011.

[40] Lee, H. J., Park, H. G., Hwang, H. J., Kim, C. S., Cyclic Lateral Load Test for RC Column–Steel Beam Joints with Simplified Connection Details, Journal of Structural Engineering, 145, 8, 04019075, 2019.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[41] Liu, Y., Hao, Y., Hao, H., Zhou, Y., Fragility Assessment of FRP-Strengthened RC Beams with Chloride-Induced Corrosion Damage Under Impact Loads, Reliability Engineering & System Safety, 111728, 2025.

[42] Lu, Y., Lin, F., Cyclic Behavior of Beam-Column Joints with Slit Slabs to Achieve Strong Column-Weak Beam Design Concept of Existing RC Frames, Engineering Structures, 339, 120687, 2025.

[43] Ning, N., Qu, W., Ma, Z. J., Design Recommendations for Achieving "Strong Column-Weak Beam" in RC Frames, Engineering Structures, 126, 343-352, 2016.

[44] Peker, F. Ü., Yuzbasi, J., Işık, E., Büyüksaraç, A., Avcil, F., Damage Assessment, Regional Ground Motion Record Evaluation, and Seismic Performance Analysis of a High-Rise 14-Story Dual System Building After the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes, Structures, 80, 109897, 2025.

[45] Seismosoft, SeismoStruct 2025—A Computer Program for Static and Dynamic Nonlinear Analysis of Framed Structures, Available online: http://www.seismosoft.com, 2025.

[46] Surana, M., Singh, Y., Lang, D. H., Effect of Strong-Column Weak-Beam Design Provision on the Seismic Fragility of RC Frame Buildings, International Journal of Advanced Structural Engineering, 10, 2, 131-141, 2018.

[47] TBDY 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete/Ankara, Türkiye, 2018.

[48] Zhang, S. S., Zhang, D. D., Nie, X. F., Behavior of RC Interior Beam-to-Column Joints with FRP-Strengthened Beam Web Openings Under Cyclic Loading, Engineering Structures, 324, 119373, 2025.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DETECTION OF INELASTIC REGION FORMATION IN NONLINEAR STRUCTURAL SYSTEMS UNDER EARTHQUAKES

Prof. Dr. Elif Çağda Kandemir
İzmir Demokrasi Üniversitesi,
elifcagda.kandemir@idu.edu.tr - 0000-0002-9190-7120

ABSTRACT

Structures exhibit various responses under the influence of earthquakes. Nonlinear behavior, in particular,is inevitable response of the structures under severe earthquakes, however it is expected to remain within certain limits to ensure the safety of life and property. FEMA has defined three performance targets and established criteria based on story drift. These targets allow us to obtain information about the damage status of the structure as a result of the structure's responses. In this study, plastic hinge conditions and related damage statements were calculated for a 3-story building model under earthquake types such as far-fault (FF), near-fault no-pulse (NF-NP) and near-fault pulse-like (NF-PL). In addition, structures with varying numbers of floors were also examined. The results emphasize that near-fault pulse-like (NF-PL) ground motions induce significantly higher demand on the structure compared to far-fault (FF) motions, particularly in terms of story drifts and plastic hinge formation. This leads to a more rapid progression toward damage states such as Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS) and Collapse Prevention (CP), especially in the lower stories where deformation demands are concentrated. In several cases, NF-PL records drive the system directly into LS or CP states, bypassing IO due to impulsive energy input. In contrast, far-fault ground motions generally produce a more distributed damage pattern with lower peak drift demands, resulting in fewer plastic hinge formations and a higher likelihood of the structure remaining within acceptable performance limits. NF-NP motions exhibit intermediate behavior between these two extremes.

Keywords : nonlinear structure, near-fault earthquake, far-fault earthquake, plastic hinge.

1. INTRODUCTION

Structures exhibit various responses under the influence of earthquakes. The nonlinear behavior must remain within certain limits as stated in the seismic codes like FEMA etc., given in Table

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. The damages are limited for both local and global behavior of structures. In Table 1, global performance targets have been presented for drift ratio versus base shear. The types of damage depend not only on the characteristics of the structure but also on the characteristics of the earthquakes.

Table 1. Global Performance Targets given by FEMA

Performance Level	Drift Ratio (θ)	Description	Structural Condition
Immediate Occupancy (IO)	$\theta \leq 0.01$	Minor damage	Structure remains fully operational
Life Safety (LS)	$0.01 < \theta \leq 0.02$	Moderate damage	Significant damage, but no collapse risk
Collapse Prevention (CP)	$0.02 < \theta \leq 0.04$	Severe damage	Structure is near collapse, limited safety margin

In this study three-story building exposed to near-fault and far-fault earthquakes has been investigated in terms of plastic hinge formation.

2. NUMERICAL ANALYSIS

Near-fault earthquakes include low frequency energy due to strong velocity pulses. The structure under near-fault ground motions is forced to endure large displacement demands, especially in high-rise structures which has large natural periods. Far-fault ground motions tend to be dissipated through its transition through soil resulting in more distributed frequency content. The selected earthquakes and their corresponding displacement and acceleration response spectra are given in Table 2 and Figure 1, respectively. Three-story building model has been exposed to these earthquakes and time-domain responses have been obtained.

Table 2. Selected Ground Motions

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Earthquake	Station	Component	Magnitude (Mw)	PGA (m/s^2)	Distance to rupture (km)
Far-fault					
1995 Kobe	Shin-Osaka	90	6.9	2.290	19.15
1999 Kocaeli	Duzce	270	7.5	3.573	15.37
1999 Chi-Chi	CHY086	N	7.6	2.016	28.42
Nar-fault no-pulse					
1980 Mexico	Cerro Prieto	45	6.3	6.331	14.37
1995 Kobe	Nishi-Akashi	0	6.9	4.740	7.08
1999 Chi-Chi	CHY028	E	7.6	6.243	3.12
Nar-fault pulse-like					
1979 Coyote Lake	Gilroy Array #6	230	5.7	4.138	3.11
1994 Northridge	Rinaldi Receiving Station	228	6.7	8.575	6.5
1995 Kobe	Port Island	0	6.9	3.413	3.31

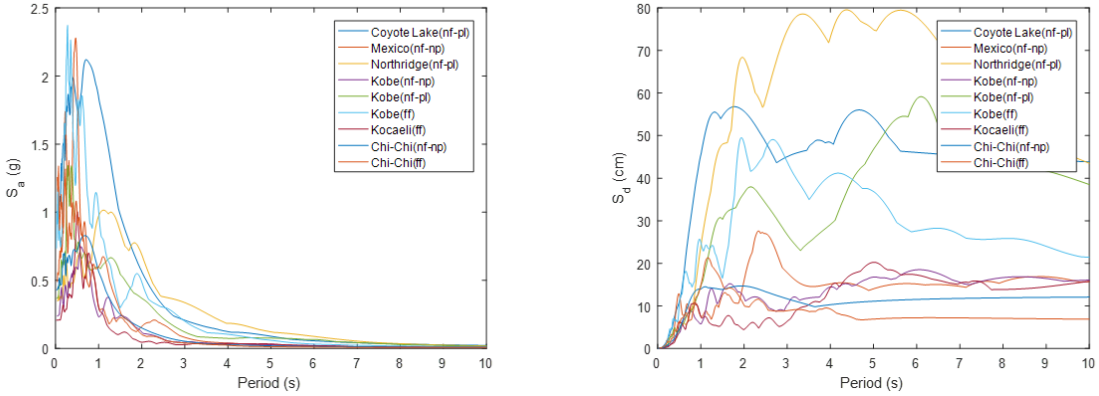


Figure 1. Acceleration and displacement spectra

3. RESULTS

As for far-fault earthquakes, most stories remain within IO and LS performance levels. Higher damage is concentrated at the lower stories. Many cycles of hysteretic curve take place in the central zone. Higher PGA causes widened area of the hysteresis loop. Some records cause CP level at the first story

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

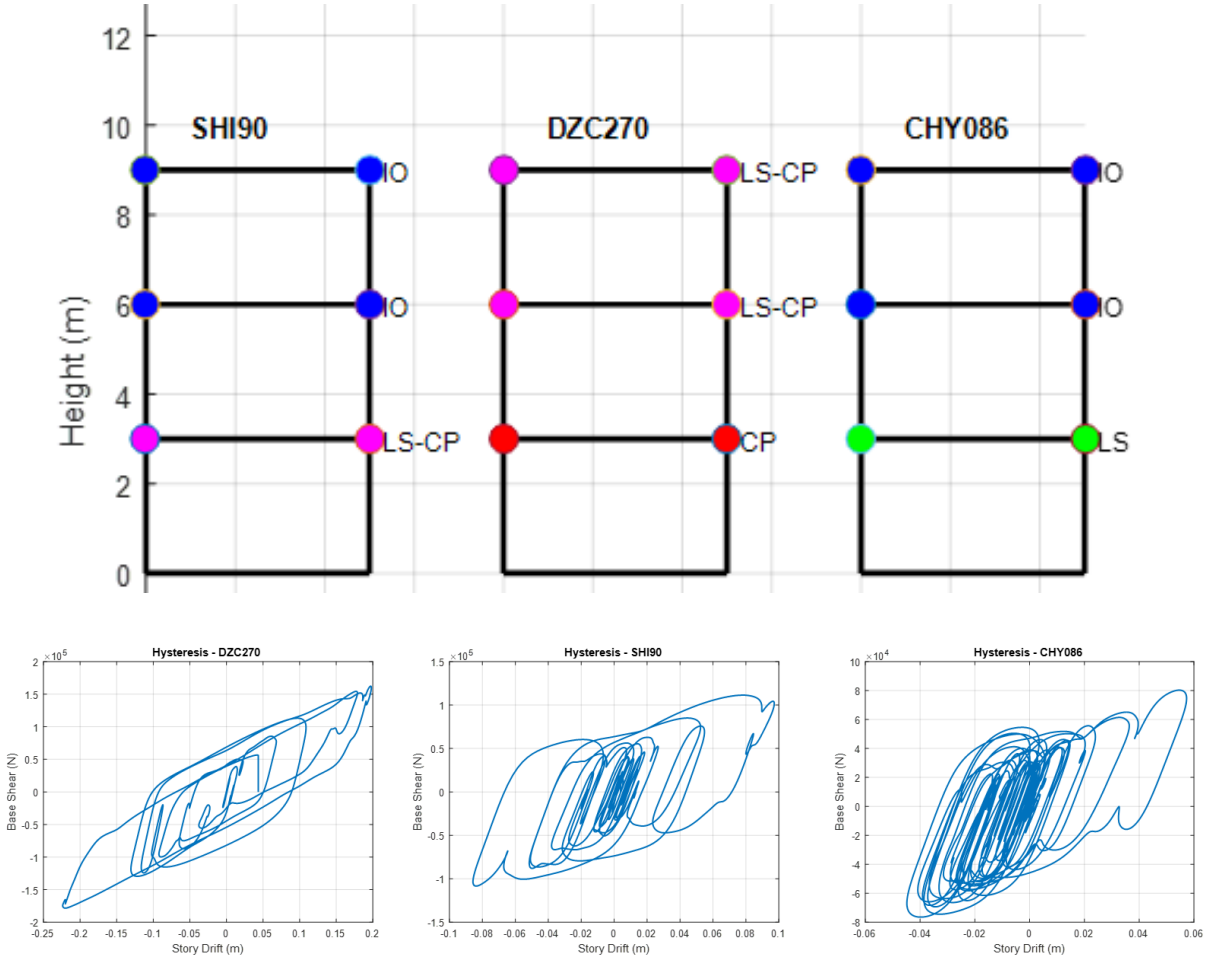


Figure 2. Damage states and corresponding hysteretic curves under far-fault earthquakes

As for near-fault no-pulse earthquakes, the structure mostly remains within the IO (Immediate Occupancy) level, with only the lower story approaching the LS–CP range. Damage significantly increases; upper stories reach LS (Life Safety) while the lower story reaches CP (Collapse Prevention), showing that the structure is pushed close to its critical damage state. The hysteresis curves elongate at the higher value of PGA. Compared to the far-field earthquakes,the numbers of hysteresis cycles within the loop are fewer.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

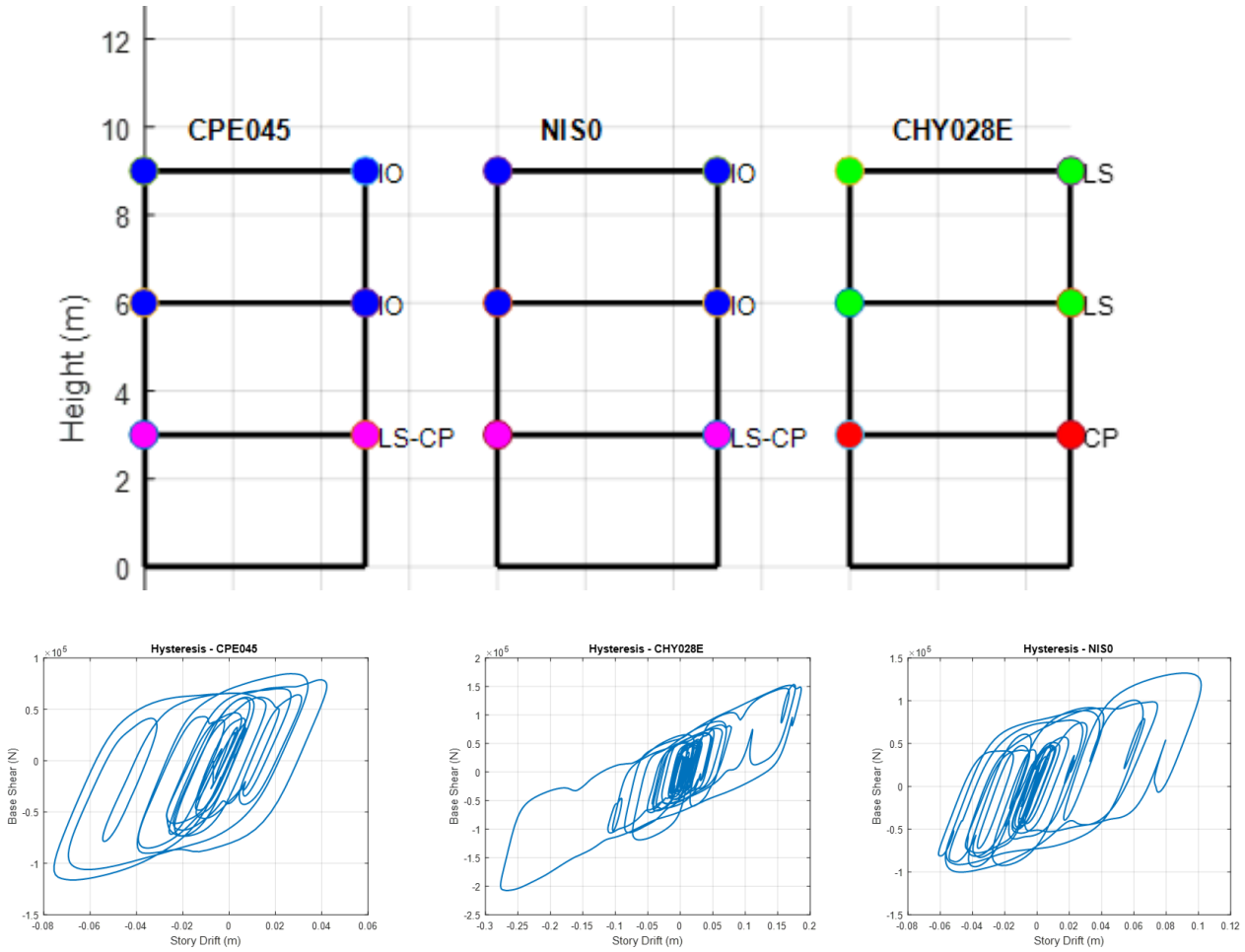


Figure 3. Damage states and corresponding hysteretic curves under near-fault no-pulse earthquakes

As for near-fault pulse-like earthquakes, the structure remains within the IO (Immediate Occupancy) level, with only the first story reaching the LS–CP transition, indicating minor to moderate nonlinear effects concentrated at the base. Damage becomes significantly more severe. The hysteresis loops are essentially narrow with fewer numbers of cycles within the loop. Structural maximum displacement is very large.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

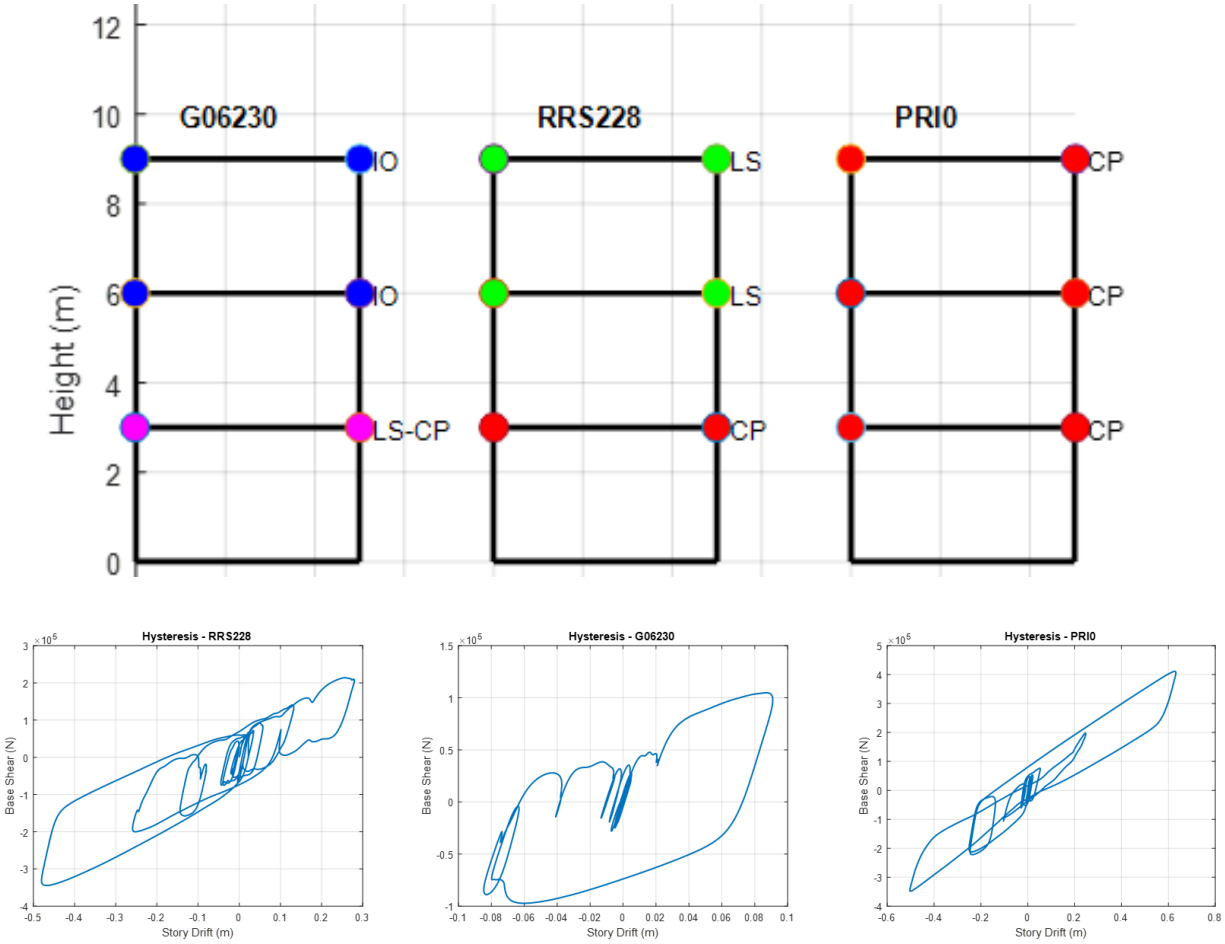


Figure 4. Damage states and corresponding hysteretic curves under near-fault pulse-like earthquakes

4. CONCLUSION

The following statements can be drawn,

- Under far-field earthquakes, damage is mainly concentrated at the lower stories. Most of the structure remains in IO to LS levels. Hysteresis loops are wide, especially at higher PGA. Responses show many closely spaced cycles. In some cases, the first story reaches CP.

- For near-fault no-pulse earthquakes, damage becomes more severe. Lower stories approach LS to CP levels. Upper stories generally remain at LS. The number of hysteresis cycles is lower than far-field cases. Energy demand is more concentrated.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

- For near-fault pulse-like earthquakes, the most critical behavior is observed. The first story often reaches CP. Upper stories may also reach LS or CP. Displacements become very large. Hysteresis loops are narrow with few cycles.
- Overall, pulse-like ground motions produce the highest structural demand and the most severe damage.

REFERENCES

[1] Applied Technology Council (ATC), I*mprovement of nonlinear static seismic analysis procedures*. Rep. No. FEMA-440, Washington, D.C.9, 2005.

[2] Kandemir, E. C. The effect of frequency-filtered earthquakes for optimum base isolation parameters across varied soil conditions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 193, 109330, 2025.

[3] Hu, Y., Jiang, L., Ye, J., Zhang, X., Jiang, L., Seismic responses and damage assessment of a mid-rise cold-formed steel building under far-fault and near-fault ground motions. Thin-Walled Struct 163:107690, 2021.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

RELATION BETWEEN RESPONSE ENERGY DISTRIBUTION AND NONLINEAR STRUCTURAL DAMAGE UNDER EARTHQUAKES

Prof. Dr. Elif Çağda Kandemir
İzmir Demokrasi Üniversitesi,
elifcagda.kandemir@idu.edu.tr - 0000-0002-9190-7120

ABSTRACT

Structures exhibit nonlinear behavior under earthquake loading, which is expected but must remain within performance limits defined by FEMA based on story drift ratios and damage states (IO, LS, CP). In this study, the seismic response of a 5-story building is evaluated under severe ground motions. Plastic hinge formation is analyzed together with a wavelet-based energy decomposition of story drift responses to relate time–frequency characteristics of demand to structural damage evolution. The wavelet energy is calculated based on the approximation components obtained through a two-level discrete wavelet transform using the Daubechies 4 (db4) wavelet function. In this process, the original signal is decomposed into different frequency bands and the approximation signals represent the low-frequency content of the response. The energy is then quantified by summing the squared amplitudes of these approximation components, providing a measure of the dominant low-frequency contribution to the overall structural response. The results demonstrate that wavelet energy of drift responses is strongly correlated with plastic hinge development and damage state transitions. This indicates that energy-based metrics can complement traditional drift-based FEMA assessments and provide additional insight into nonlinear seismic performance.

Keywords : different soil types, frequency content, ground motions, approximations.

1. INTRODUCTION

Plastic hinge formation is investigated through frequency energy contents in the drift responses since the change in frequency is a good indicator in structural responses to detect damages. In this study, structural behavior under different earthquake types is investigated. Plastic hinge formation is analyzed in relation to energy dissipation within the structure. Discrete wavelet transform is used to capture the time–frequency energy content of drift responses. Wavelet

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

transform is a mathematical tool that can be employed to track the evolution of structural response over time. Table 1 shows the global performance targets defined by the relation between drift ratio versus base shear.

Table 1. Global Performance Targets given by FEMA

Performance Level	Drift Ratio (θ)	Description	Structural Condition
Immediate Occupancy (IO)	$\theta \leq 0.01$	Minor damage	Structure remains fully operational
Life Safety (LS)	$0.01 < \theta \leq 0.02$	Moderate damage	Significant damage, but no collapse risk
Collapse Prevention (CP)	$0.02 < \theta \leq 0.04$	Severe damage	Structure is near collapse, limited safety margin

In this study three-story building exposed to near-fault and far-fault earthquakes has been investigated in terms of plastic hinge formation. The energy contents in drift responses has been compared both in time and frequency domain.

2. NUMERICAL ANALYSIS

The selected earthquakes are given in Table 2. Three-story building model has been exposed to these earthquakes and time-domain responses have been obtained.

Table 2. Selected Ground Motions

Earthquake	Station	Component	Magnitude (Mw)	PGA (m/s^2)	Distance to rupture (km)
Far-fault					
1995 Kobe	Shin-Osaka	90	6.9	2.290	19.15
1999 Kocaeli	Duzce	270	7.5	3.573	15.37
1999 Chi-Chi	CHY086	N	7.6	2.016	28.42
Nar-fault no-pulse					
1980 Mexico	Cerro Prieto	45	6.3	6.331	14.37
1995 Kobe	Nishi-Akashi	0	6.9	4.740	7.08
1999 Chi-Chi	CHY028	E	7.6	6.243	3.12
Nar-fault pulse-like					
1979 Coyote Lake	Gilroy Array #6	230	5.7	4.138	3.11
1994 Northridge	Rinaldi Receiving Station	228	6.7	8.575	6.5
1995 Kobe	Port Island	0	6.9	3.413	3.31

The discrete wavelet transform has been employed to drift responses. The decompositon takes place as given in Figure 1. Daubechies 4 (db4) to level 2 decomposition has been applied herein.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

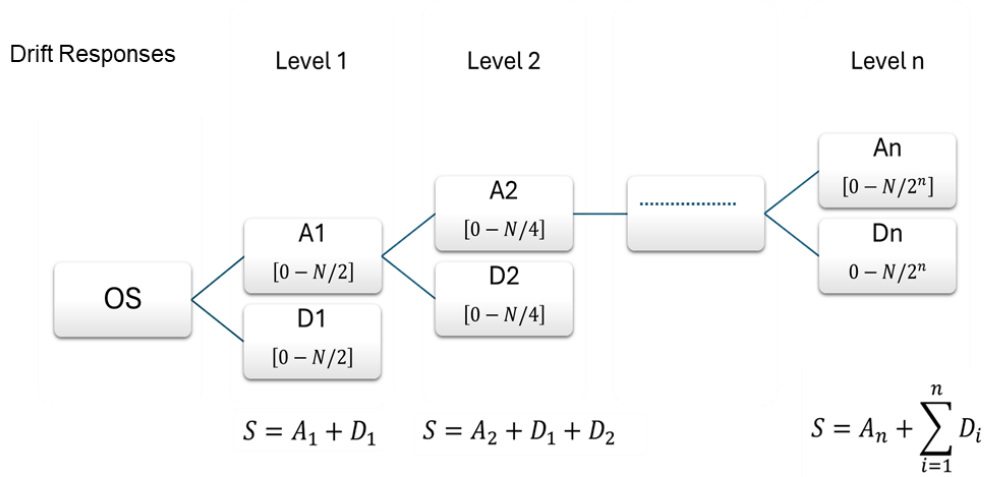


Figure 1. Schematic of DWT applied to drift responses

3. RESULTS

As for far-fault earthquakes given in Figure 2,

- Maximum drift increases toward the upper stories, indicating higher deformation demand in the upper levels.
- According to FEMA damage states, the structure is mostly within LS, with some stories approaching the LS–CP range.
- Energy distribution per story is higher in the upper floors, showing that demand is more pronounced at higher elevations under this far-field record.

As for near-fault no-pulse earthquakes given in Figure 3,

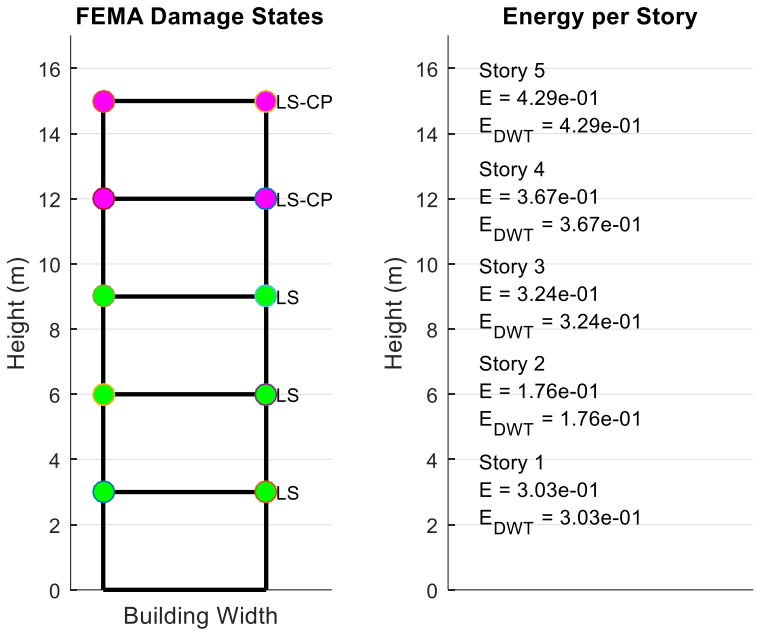
- According to FEMA damage states, the structure is within the LS–CP range.
- Energy seem distributed among the stories.

As for near-fault pulse-like earthquakes given in Figure 4,

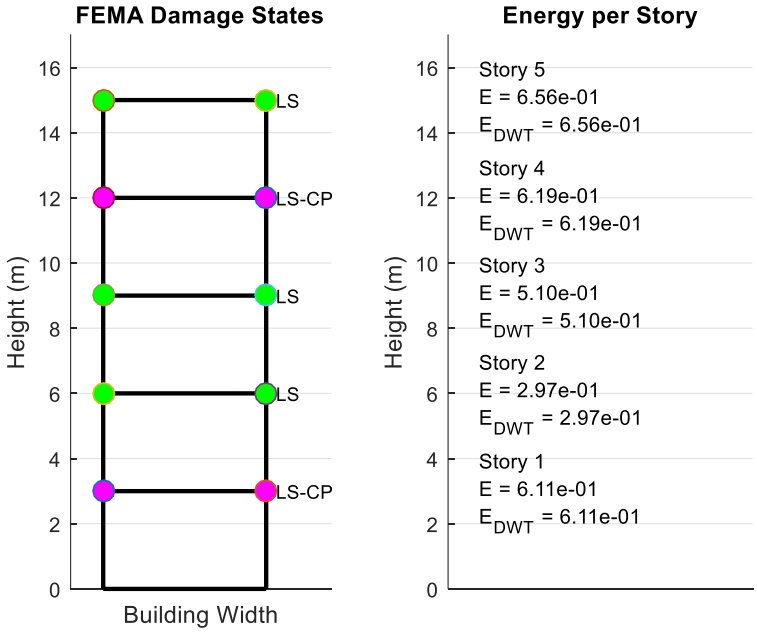
- According to FEMA damage states, the structure is within the LS–CP range.
- Energy seem distributed among the stories.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1995 Kobe Shin-Osaka



1999 Kocaeli Düzce



1999 Chi-Chi CHY086

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

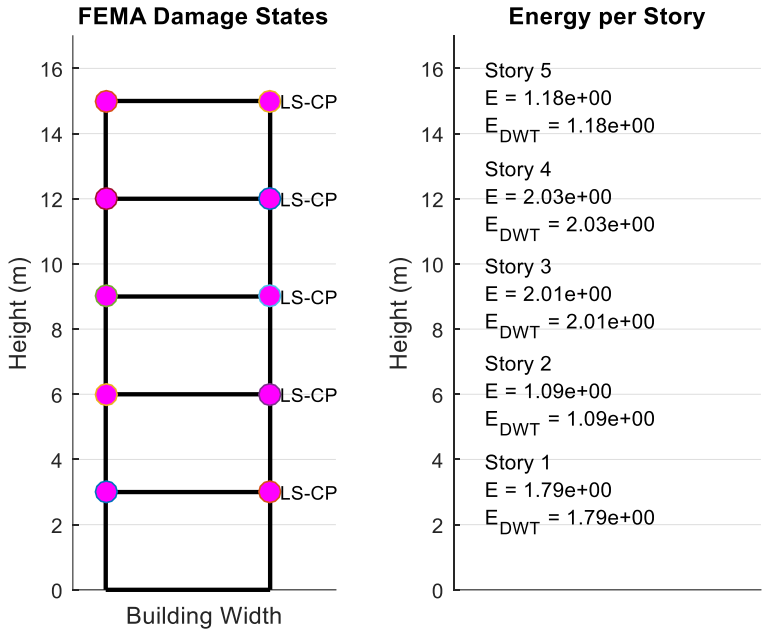
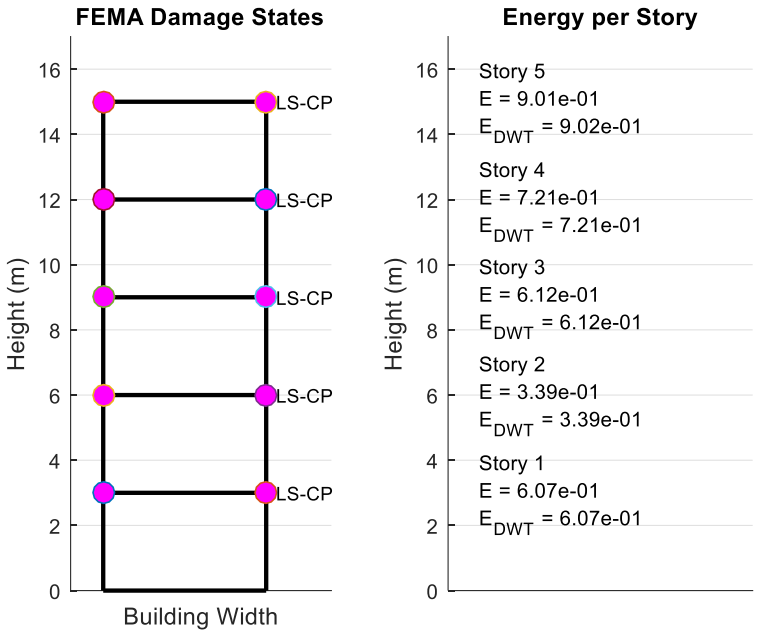


Figure 2. Damage states and corresponding energies under far-fault earthquakes

1980 Mexico Cerro Prieto



1995 Kobe Nishi Akashi

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

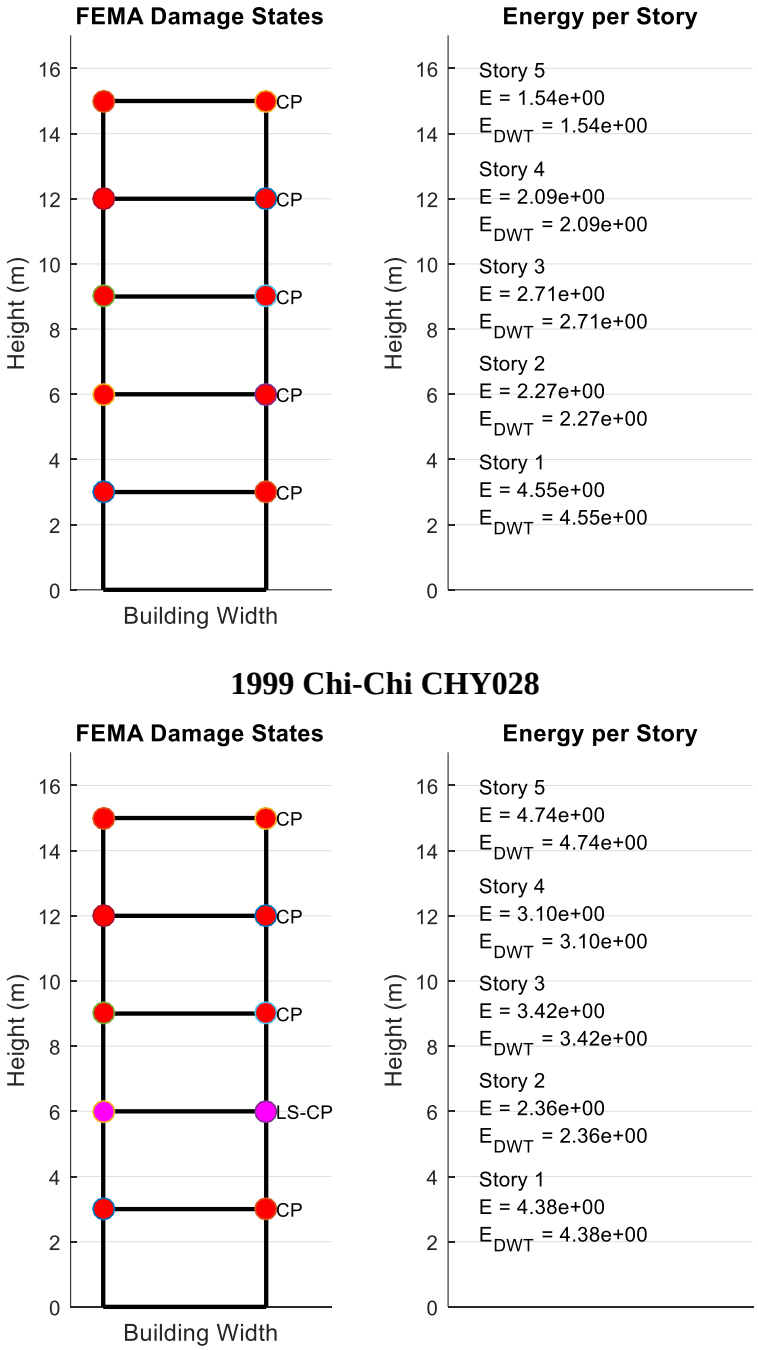
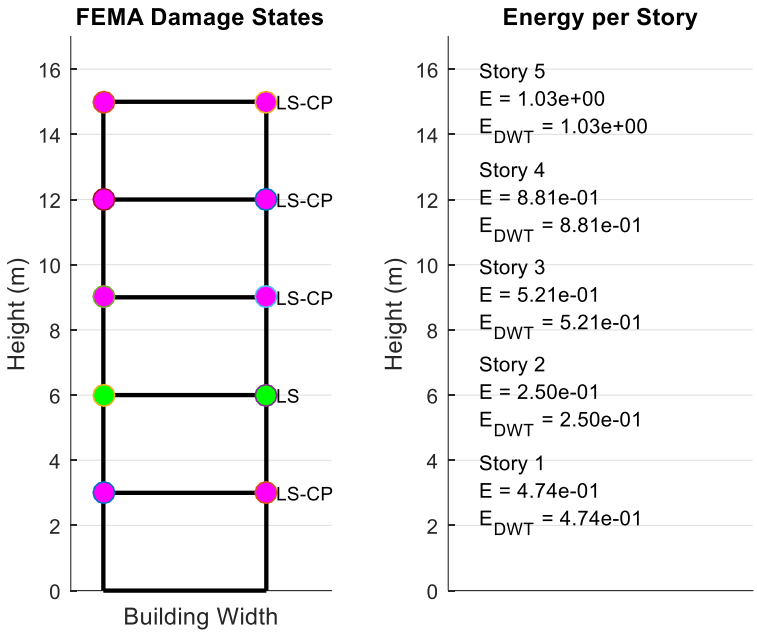


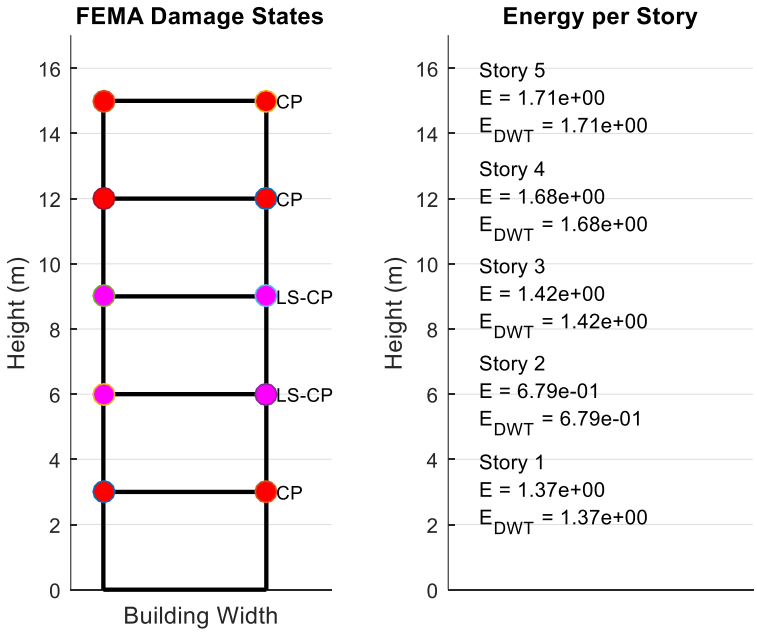
Figure 3. Damage states and corresponding energies under near-fault no-pulse earthquakes

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1979 Coyote Lake Gilroy Array #6



1994 Northridge Rinaldi Receiving Station



1995 Kobe Port Island

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

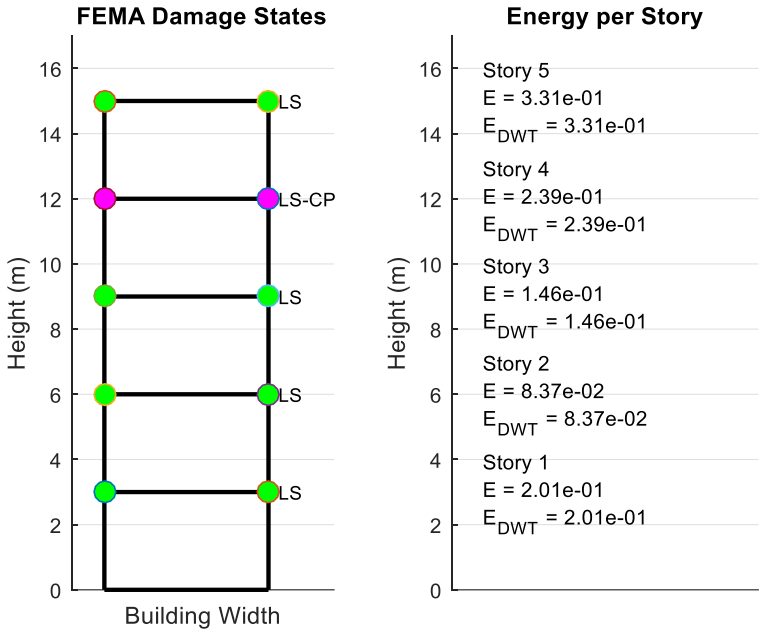


Figure 4. Damage states and corresponding energies under near-fault pulse-like earthquakes

Figure 5 represents the energy responses under different level decompositions. Up to third level decomposition, energy level corresponding to real drift responses and decomposed drift responses are similar to each other. However, fourth and fifth level decomposition gives deviated responses. Larger levels lead to distortions in the results.

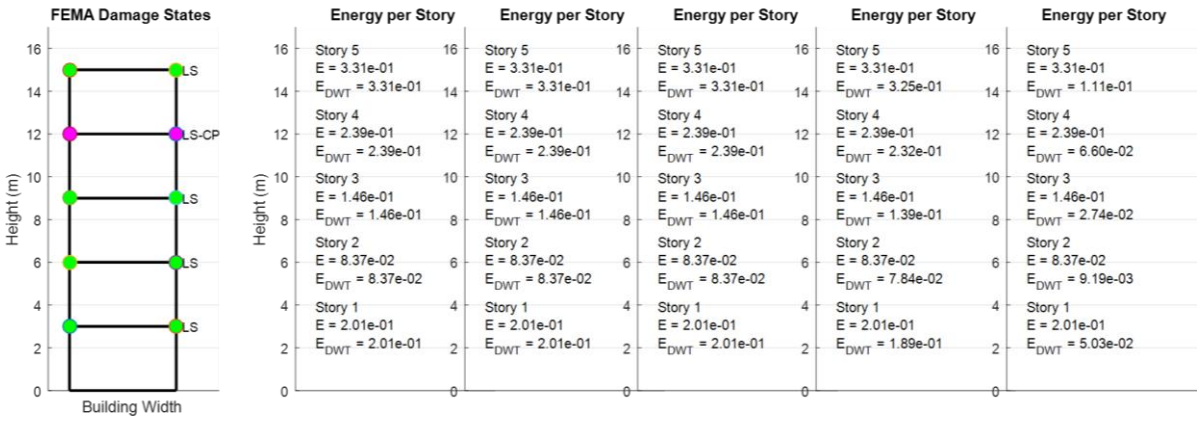


Figure 5. Damage states and energies for different level decompositions

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

4. CONCLUSION

The following statements can be drawn,

- Structural behavior highly depends on earthquake characteristics.
- Plastic hinge formation is directly related to energy dissipation throughout the structure.
- DWT is a good indicator to reveal the energy contents of drift responses.
- Near-fault ground motions generate higher inelastic demands due to velocity pulses.
- NR earthquakes generally produce higher response demands.
- Wavelet-based approaches provide time-frequency insight into structural response evolution.

REFERENCES

[1] Applied Technology Council (ATC), I*mprovement of nonlinear static seismic analysis procedures*. Rep. No. FEMA-440, Washington, D.C.9, 2005.

[2] Kandemir, E. C. The effect of frequency-filtered earthquakes for optimum base isolation parameters across varied soil conditions. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 193, 109330, 2025.

[3] Hu, Y., Jiang, L., Ye, J., Zhang, X., Jiang, L., Seismic responses and damage assessment of a mid-rise cold-formed steel building under far-fault and near-fault ground motions. Thin-Walled Struct 163:107690, 2021.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

UNSTIFFENED FLUSH-TYPE MOMENT CONNECTION DESIGN

Prof. Dr. Tugrul Talaslioglu

Osmaniye Korkut Ata Unv., Eng. And Natura Sciences Fac., Civil Engineering Dep., Fakiusagi, Osmaniye Turkiye
ttalaslioglu@osmnaniye.edu.tr, Orcid No: 0000-0002-8075-4130

ABSTRACT

Moment end-plate connections (MEPCs) play a crucial role in the structural integrity of low-rise metal buildings, particularly in continuous frame construction. One of these moment connection family is unstiffened flush-type MEPC. This type connection has been extensively used in beam-to-column and beam-to-beam joints, and designed using principles established by the provisions of American Institute of Steel Construction (AISC). This paper examines the design methodology for the unstiffened flush end-plate connection which is based on the yield-line theory, bolt force predictions, and moment-rotation relationships. Furthermore, an example is also included for the determination of using different design parameters on the basic governing design criteria. This paper considers the effect of bolt-row-number increment on for the unstiffened flush end-plate connection. Concludingly, an increase on the bolt-row-number in the unstiffened flush end-plate connection provides an elevation on the bearing moment capacity.

Keywords: Steel Moment Connection, End plate, Flush, AISC.

1. INTRODUCTION

A Flush Type Moment Connection is a structural steel connection typically used in moment-resisting frames. It is characterized by the beam flange being aligned (flush) with the column face, using end plates, stiffeners, or angles to transmit bending moments The design of MEPCs has been evolved since 1990. The first edition of MEPC design as “Design Guide 4” was edited by Murray TM in 1990 [1] . Then, its second revised version as “Design Guide 16” was released

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

by Murray TM and Shoemaker LW in 2002 [2]. It is noted that it has been improved in a way of additional considerations [3-5].

In order to provide a moment connection between column and beam members in the steel structural system, the best solution is to use a suitable MEPC. The possible MEPCs are depicted in Figure 1.

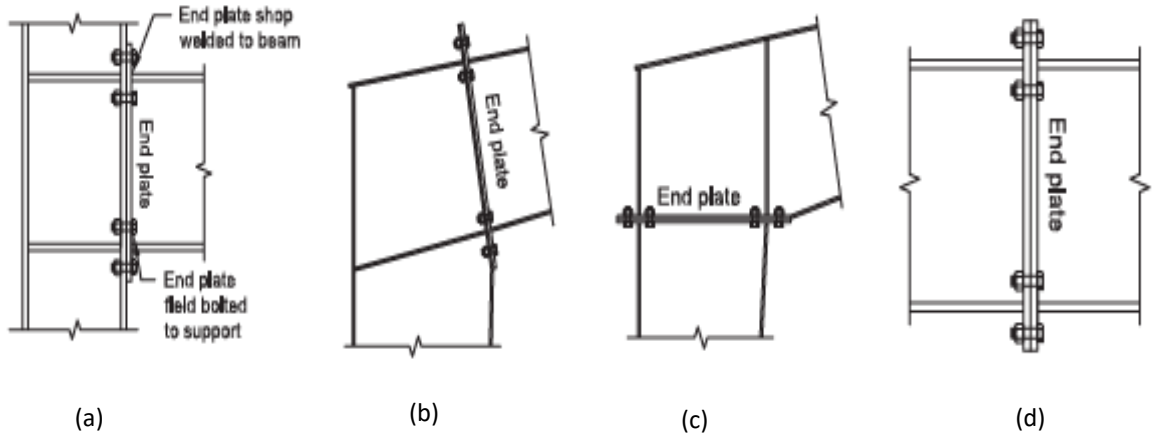


Figure 1 Vertical Connection (a), Inclined Connection (b), Horizontal Connection (c), Splice Connection (d)

The main advantages of MEPCs are to be required neither a field welding nor a special processing such as a galvanizing one. Furthermore, a direct connection between the flange or web of beam and column is not required. This property bears a big importance for the slip-critical states. Also, the end plate connections are not affected by any imperfection on the flange or web of beams.

In general, the end plate connections are classified as the extended and flush types (see Figure 2a and 2b). Moreover, it also possible to be stiffened them (see Figure 2c and 2d).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

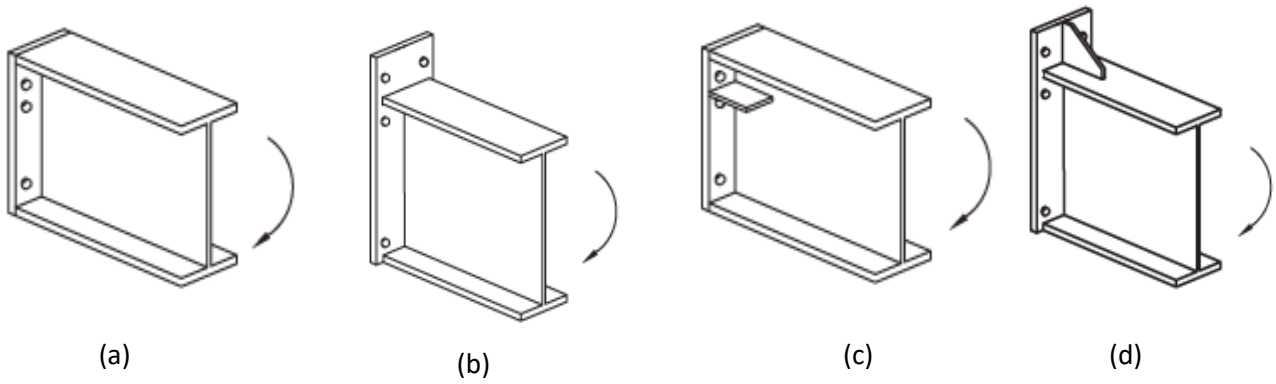


Figure 2 Flush (a), Extend (b,) Stiffened Flush (c) and Stiffened Extended (d) End-plate Moment Connections

This work proposes to examine the dimensional variation of two basic members of flush-type moment connections, end-plate and bolt and its effect on the moment bearing capacity. Thus, the organization of this work begins by introducing the basic design fundamentals of Flush-type MEPC. Then, application example and proposed search strategy is presented. The discussion and results are reserved for the last section of this work.

2. THE BASIC FUNDAMENTALS ON THE DESIGN OF MEPCS

The plate thickness of MEPCs plays solely an important role as a determinative parameter at the design stage (Figure 3a and 3b). In fact, the plate thickness provides a unique control on the design limit states. The possibility case of strong column and weak beam is also noted (Figure 3c)

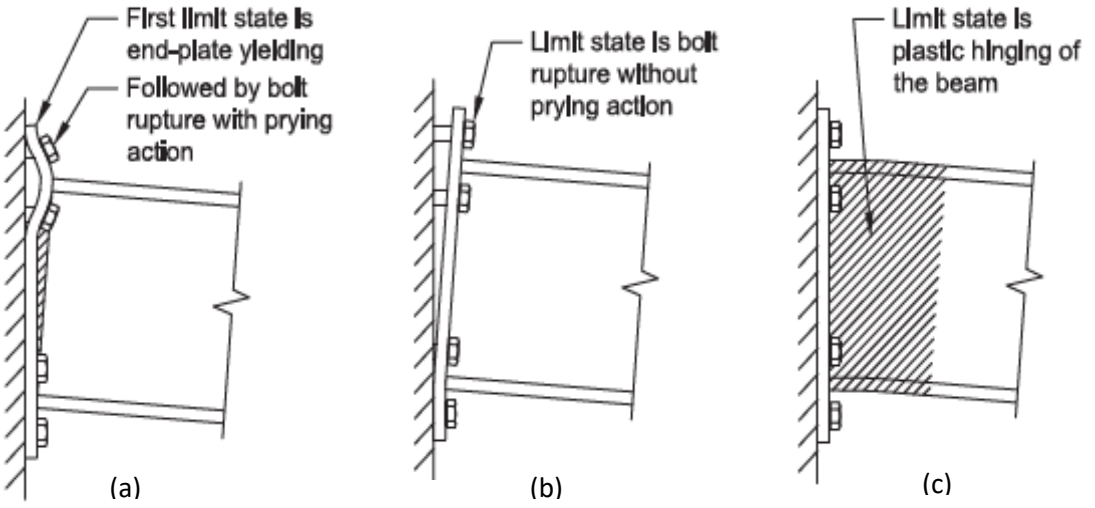


Figure 3 The Thin (a), The Thick (b) End Plate Thickness and The Strong Column & Weak Beam (c)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

The other important factor on the design of MEPCs is the loading-type condition. Although the wind type loading condition has a similarity feature to the static-type loading one, unfortunately there exists a big difference in the design of MEPCs against the seismic type loading condition. In other words, while the elastic-based design concepts are valid for the wind type-loading, the inelastic-based design concepts are utilized for the seismic type loading conditions. Moreover, the intensity and magnitude of seismic-type loading condition has a crucial importance on the determination of frame type, for example Special Moment Resisting Frame (SMRF) and Ordinary Moment Resisting Frame (OMRF). Thus, the design fundamentals mentioned above indicates us another important detail about the uncertainty on the determination of nodal constraint, for example fully, simple and partial connection. Because, at the nodes, a stiffness value is required for the definition of nodal constraints. A flow chart is provided in Figure 4 that provides a summary of the design procedures, Procedure 1 (Thick Plate) and Procedure 2 (Thin Plate)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

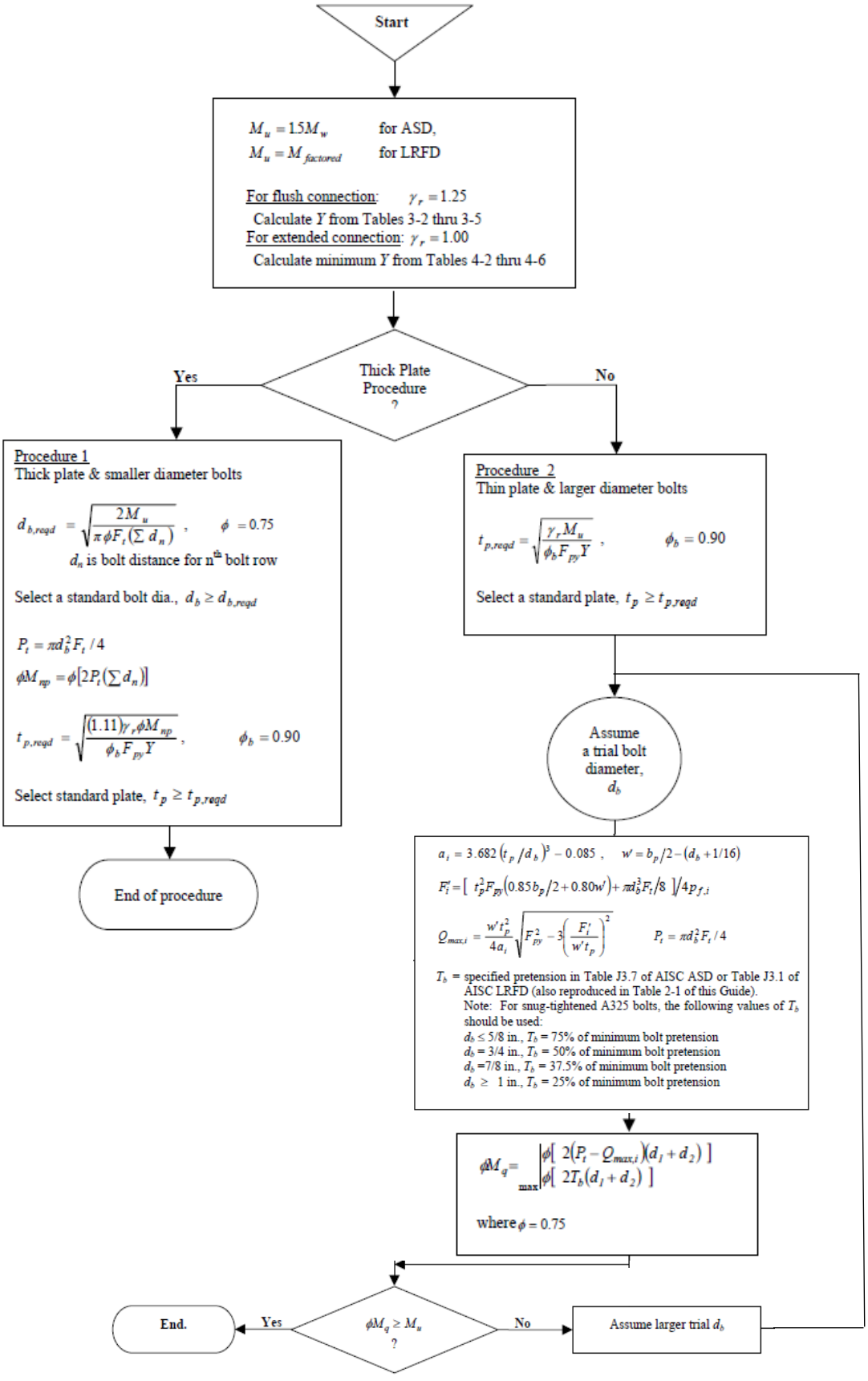


Figure 4 Flow Chart for General Design Procedure for End-Plate Connections

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

3. APPLICATION EXAMPLE AND PROPOSED SEARCH STRATEGY

While the tension strengths (F_t) of bolts are taken as 90 ksi (A325) and 113 ksi (A490), the material yielding stress of end-plates (F_{yp}) are assigned as 42 ksi (Gr 42 steel) , 50 ksi (Gr 50 steel) and 55 ksi (Gr 55 steel) (see Ref and). The moment value as a loading condition is assigned at the five stages in a way of increasing its orginal value as %50. Thus, the last total moment value 1200 kips.in is incrased two times with respec to its first orginal value 600 kips.in. Furthermore, altough the end-plate thickness (tp) is calcutaed according to the computing steps in the flowchart (see Figure), its adjusted values considering Table 1 located in ASTM 572 is also presented as tp_last.

- Procedure 1 (Thick Plate - DP1): This design philosophy assumes that the plate will not yield and prying forces will not develop in the bolts. Analyzing the data in Table 1 and Table 2, this procedure inherently requires much thicker end-plates tp under all loading conditions.

- Procedure 2 (Thin Plate - DP2): In this approach, the plate is allowed to yielding, which subsequently generates additional "prying" forces in the bolts. According to the tabulated results, DP2 consistently yields a thinner plate tp; however, it necessitates larger or at least equivalent diameter bolts db to adequately resist the supplementary tensile forces induced by the prying action.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

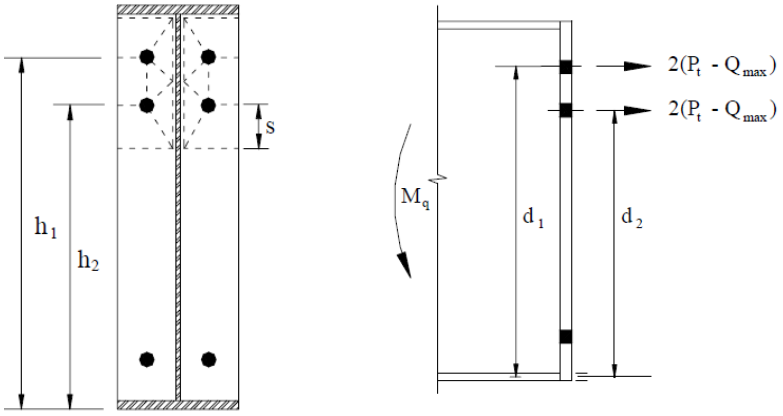


Figure 15 Four-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate

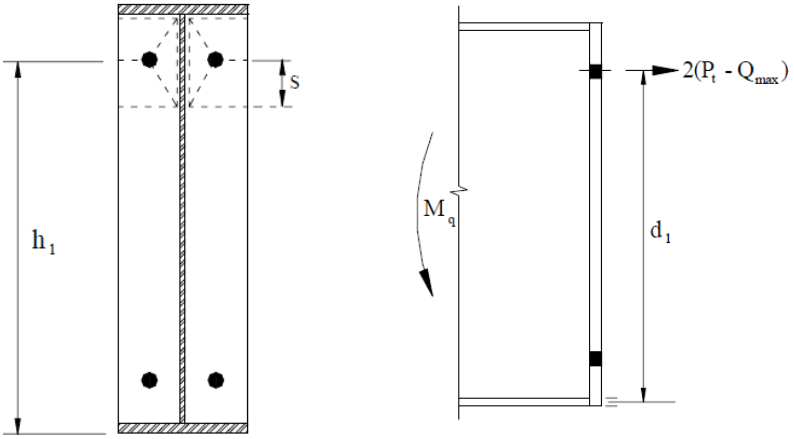


Figure 14 Two-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Table 1 Two-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate Connection

Bolt Standard 1 (A325)						Bolt Standard 2 (A490)					
DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2	DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2
tp		tp_last	db		tb_last	tp		tp_last	db		tb_last
0.500	0.444	6.000	0.625	0.725	0.500	0.600	0.444	6.000	0.625	0.600	0.600
0.500	0.407	4.000	0.625	0.725	0.500	0.500	0.407	4.000	0.625	0.600	0.500
0.400	0.388	2.500	0.625	0.725	0.400	0.500	0.388	2.500	0.625	0.600	0.500
0.600	0.544	6.000	0.750	0.850	0.600	0.700	0.544	6.000	0.750	0.725	0.700
0.500	0.499	4.000	0.750	0.850	0.500	0.600	0.499	4.000	0.750	0.725	0.600
0.500	0.476	2.500	0.750	0.850	0.500	0.600	0.476	2.500	0.750	0.725	0.600
0.700	0.628	6.000	0.875	0.975	0.700	0.700	0.628	6.000	0.750	0.850	0.700
0.600	0.576	4.000	0.875	0.975	0.600	0.600	0.576	4.000	0.750	0.850	0.600
0.600	0.549	2.500	0.875	0.975	0.600	0.600	0.549	2.500	0.750	0.850	0.600
0.800	0.703	6.000	1.000	1.100	0.800	0.800	0.703	6.000	0.875	0.975	0.800
0.700	0.644	4.000	1.000	1.100	0.700	0.700	0.644	4.000	0.875	0.975	0.700
0.700	0.614	2.500	1.000	1.100	0.700	0.700	0.614	2.500	0.875	0.975	0.700
0.900	0.770	6.000	1.125	1.100	0.900	0.900	0.770	6.000	1.000	0.975	0.900
0.800	0.705	4.000	1.125	1.100	0.800	0.800	0.705	4.000	1.000	0.975	0.800
0.800	0.673	2.500	1.125	1.100	0.800	0.800	0.673	2.500	1.000	0.975	0.800

DP: Design Procedure tp: Thickness of Plate db: Diameter of Bolts

Table 2 Four-Bolt Flush Unstiffened Moment End-Plate Connection

Bolt Standard 1 (A325)						Bolt Standard 2 (A490)					
DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2	DP1	DP2	DP1	DP1	DP2	DP2
tp		tp_last	db		tb_last	tp		tp_last	db		tb_last
0.500	0.500	6.000	0.392	0.500	0.500	0.500	0.500	6.000	0.392	0.500	0.500
0.400	0.500	4.000	0.359	0.500	0.400	0.500	0.500	4.000	0.359	0.500	0.500

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

0.400	0.500	2.500	0.343	0.625	0.400	0.500	0.500	2.500	0.343	0.500	0.500
0.600	0.625	6.000	0.480	0.625	0.600	0.500	0.500	6.000	0.480	0.625	0.500
0.500	0.625	4.000	0.440	0.625	0.500	0.500	0.500	4.000	0.440	0.625	0.500
0.500	0.625	2.500	0.419	0.625	0.500	0.500	0.500	2.500	0.419	0.625	0.500
0.600	0.625	6.000	0.554	0.750	0.600	0.700	0.625	6.000	0.554	0.625	0.700
0.500	0.625	4.000	0.508	0.750	0.500	0.600	0.625	4.000	0.508	0.625	0.600
0.500	0.625	2.500	0.484	0.750	0.500	0.600	0.625	2.500	0.484	0.625	0.600
0.700	0.750	6.000	0.620	0.750	0.700	0.700	0.625	6.000	0.620	0.750	0.700
0.700	0.750	4.000	0.568	0.875	0.700	0.600	0.625	4.000	0.568	0.750	0.600
0.600	0.750	2.500	0.542	0.875	0.600	0.600	0.625	2.500	0.542	0.750	0.600
0.800	0.875	6.000	0.679	0.875	0.800	0.800	0.750	6.000	0.679	0.750	0.800
0.800	0.875	4.000	0.622	0.875	0.800	0.700	0.750	4.000	0.622	0.750	0.700
0.700	0.875	2.500	0.593	0.875	0.700	0.700	0.750	2.500	0.593	0.750	0.700

DP: Design Procedure tp: Thickness of Plate db: Diameter of Bolts

4. CONCLUSION

This paper examines the design methodology for the unstiffened flush end-plate connection considering the effect of bolt-row-number increment on for the unstiffened flush end-plate connection. The analysis demonstrates that Design Procedure 2 (Thin Plate) provides a more economical alternative to Procedure 1 (Thick Plate) by substantially reducing the required plate thickness, particularly in four-bolt configurations. Furthermore, distributing the moment load across a four-bolt system is significantly more efficient than a two-bolt setup, preventing geometric parameters from exceeding practical limits under increasing demands. Finally, employing higher-strength materials, such as A490 bolts and plates with elevated yield stress,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

systematically reduces the required structural dimensions and alters the governing failure modes.

REFERENCES

1. *AISC, DG 4: Extended End-Plate Moment Connections Seismic and Wind Applications*, 1990, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, USA.
2. *AISC, DG 16: Flush and Extended Multiple-Row Moment End-Plate Connections*, 2002, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, USA.
3. www.aisc.org
4. *RCSC, 2004, Specification for Structural Joints Using ASTM A325 or A490 Bolts*, Research Council on Structural Connections.
5. *ASTM, 2021, ASTM 572, Standard Specification for High-Strength Low-Alloy* Columbium-Vanadium Structural Steel

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ŞEKER PANCARI ÜRETİMİNDE YAYGIN YAPRAK HASTALIKLARI: ARTAN BASKI ,VERİM VE ŞEKER KALİTESİ ÜZERİNE ETKİLERİ

Ziraat Yüksek Mühendisi RABİA HANDE ŞEN, Prof. Dr. NUH BOYRAZ
Selçuk üniversitesi, Ziraat Fakültesi, handesn001@gmail.com , 0009-0005-9893-5393
Selçuk üniversitesi, Ziraat Fakültesi, nboyraz@selcuk.edu.tr , 0000-0001-6822-9360

ÖZET

Şeker pancarı (Beta vulgaris L.), küresel şeker üretiminde önemli bir yere sahip olup tarımsal ve endüstriyel açıdan stratejik bir bitkidir. Ancak üretim sürecinde ortaya çıkan yaprak hastalıkları, bitkinin fizyolojik işleyişini olumsuz etkileyerek verim ve şeker kalitesinde kayıplara neden olmaktadır. Bu çalışmada, şeker pancarı üretim alanlarında yaygın olarak görülen yaprak hastalıkları, bu hastalıkların belirti özellikleri ve ürün performansı üzerindeki etkileri ele alınmıştır.

Arazi gözlemlerinde özellikle *Cercospora beticola*, *Ramularia beticola* ve *Erysiphe betae* kaynaklı enfeksiyonların yaygın olduğu belirlenmiştir. Bu hastalıkların yaprak yüzeyinde oluşturduğu lekeler ve nekrotik alanlar, fotosentetik aktif alanı azaltarak bitkinin karbonhidrat üretimini sınırlandırmaktadır. Bunun sonucunda kök gelişimi zayıflamakta, depolanan şeker miktarı ve polarizasyon değerleri düşmektedir.

Hastalığın ilerlemesiyle bitkiler enerji kaynaklarını yeni yaprak oluşumuna yönlendirmekte, bu durum verim kayıplarını daha da artırmaktadır. Ayrıca söz konusu hastalıklar, yalnızca tarımsal üretimi değil, şeker endüstrisinde ham madde kalitesini ve ekstraksiyon verimini de olumsuz etkileyerek ekonomik kayıplara yol açmaktadır.

Bu kapsamda, hastalık yönetiminde kültürel önlemler ile kimyasal uygulamaların birlikte ele alınması gerektiği vurgulanmıştır. Dayanıklı çeşit kullanımı, ekim nöbeti, tarla hijyeni ve erken teşhis gibi uygulamalar hastalık baskısını azaltırken, gerekli durumlarda uygun fungisitlerin doğru zamanda kullanımı etkili sonuçlar sağlamaktadır.

Sonuç olarak, şeker pancarında yaprak hastalıklarının kontrolünde entegre ve sürdürülebilir mücadele yaklaşımlarının benimsenmesi, hem verim ve kalite kayıplarının azaltılması hem de üretimin ekonomik sürdürülebilirliğinin sağlanması açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler : Şeker pancarı, Yaprak hastalıkları, Ekonomik önem, Entegre mücadele

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Common Leaf Diseases in Sugar Beet Production: Increasing Pressure and Their Effects on Yield and Sugar Quality

ABSTRACT

Sugar beet (Beta vulgaris L.) is an important crop in global sugar production and has a strategic role in both agricultural and industrial terms. However, leaf diseases that occur during the production process negatively affect the physiological functioning of the plant, causing losses in yield and sugar quality. In this study, leaf diseases commonly observed in sugar beet production areas, their symptomatic characteristics, and their effects on crop performance were evaluated.

Field observations revealed that infections caused by *Cercospora beticola*, *Ramularia beticola*, and *Erysiphe betae* are particularly widespread. The lesions and necrotic areas formed by these diseases on leaf surfaces reduce the photosynthetically active area, thereby limiting carbohydrate production in the plant. As a result, root development weakens, and the amount of stored sugar and polarization values decrease.

As the disease progresses, plants direct their energy resources to the formation of new leaves, which further increases yield losses. In addition, these diseases not only affect agricultural production but also negatively impact raw material quality and extraction efficiency in the sugar industry, leading to economic losses.

In this context, it has been emphasized that cultural measures and chemical applications should be considered together in disease management. Practices such as the use of resistant varieties, crop rotation, field sanitation, and early diagnosis reduce disease pressure, while the use of appropriate fungicides at the correct time provides effective results when necessary.

In conclusion, adopting integrated and sustainable management approaches in the control of leaf diseases in sugar beet is of great importance in terms of both reducing yield and quality losses and ensuring the economic sustainability of production.

Keywords: Sugar beet, leaf diseases, economic importance, integrated management

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. GİRİŞ

Şeker pancarı (*Beta vulgaris* L.), dünya genelinde şeker üretiminde önemli paya sahip olan başlıca endüstri bitkilerinden biridir. Günümüzde küresel şeker üretiminin yaklaşık üçte birinin şeker pancarından elde edilmesi, bu bitkinin yalnızca tarımsal açıdan değil, aynı zamanda ekonomik ve endüstriyel açıdan da stratejik bir öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Şeker pancarı, geniş adaptasyon yeteneği sayesinde farklı iklim ve toprak koşullarında yetiştirilebilmekte ve bu özelliğiyle birçok ülkede tarımsal üretim sistemlerinin önemli bir bileşeni olarak yer almaktadır.

Şeker pancarı üretimi, tarladan hasada ve fabrikasyon aşamasına kadar uzanan çok yönlü bir süreçtir. Bu süreç boyunca bitki; sıcaklık değişimleri, su stresi, besin elementi yetersizlikleri gibi abiyotik faktörlerin yanı sıra, bakteri, virüs ve özellikle fungal etmenler gibi biyotik stres faktörlerinin etkisi altında kalmaktadır. Söz konusu stres etmenleri, bitkinin fizyolojik ve biyokimyasal süreçlerini doğrudan etkileyerek büyüme, gelişme ve verim performansında önemli dalgalanmalara yol açabilmektedir.

Bitki hastalıkları içerisinde yaprak hastalıkları, şeker pancarında en yaygın ve ekonomik açıdan en önemli sorunlar arasında yer almaktadır. Yaprak dokusunda gelişen bu hastalıklar, bitkinin hayati öneme sahip olan fotosentez mekanizmasını doğrudan etkilemektedir. Fotosentez, bitkinin büyüme ve gelişmesi için gerekli olan karbonhidratların üretildiği temel süreçtir. Ancak yaprak yüzeyinde oluşan lekeler, klorotik ve nekrotik alanlar, bu sürecin etkinliğini azaltarak bitkinin enerji üretim kapasitesini sınırlamaktadır.

Yaprak hastalıklarının ilerlemesiyle birlikte fotosentetik aktif alan daralmakta, bu durum bitkinin karbon asimilasyonunu azaltarak kök gelişimini olumsuz yönde etkilemektedir. Şeker pancarında ekonomik verim, büyük ölçüde kök gelişimi ve kökte depolanan sakkaroz miktarına bağlıdır. Dolayısıyla yaprak hastalıklarının neden olduğu fotosentetik kayıplar, doğrudan kök verimi ve şeker birikimi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Hastalığın şiddetinin artması durumunda bitki, kaybettiği yaprak alanını telafi edebilmek için yeni yaprak oluşturma eğilimine girmekte; bu ise mevcut enerji kaynaklarının kök yerine yeniden yaprak gelişimine yönlendirilmesine neden olmaktadır. Bu durum, verim kaybını daha da artıran önemli bir fizyolojik tepkidir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Bunun yanı sıra yaprak hastalıkları, yalnızca bitki gelişimini değil, aynı zamanda ürün kalitesini de önemli ölçüde etkilemektedir. Şeker pancarında kalite, genellikle kökteki şeker oranı (polarizasyon değeri) ile ifade edilmektedir. Yaprak hastalıkları sonucu fotosentez kapasitesinin azalması, kökte depolanan şeker miktarını düşürmekte ve bu da doğrudan kalite kaybına yol açmaktadır. Ayrıca şeker oranındaki azalma, şeker fabrikalarında gerçekleştirilen işleme sürecini de olumsuz etkilemekte; ekstraksiyon veriminin düşmesine ve üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

Şeker pancarı üretiminde yaprak hastalıklarının etkileri yalnızca biyolojik ve teknik boyutla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda ekonomik sonuçlar da doğurmaktadır. Üretici açısından değerlendirildiğinde, verim ve kalite kayıpları birim alandan elde edilen gelirin azalmasına yol açmaktadır. Bununla birlikte hastalıklarla mücadele amacıyla yapılan fungisit uygulamaları, işçilik ve girdi maliyetlerini artırarak üretim ekonomisini zorlamaktadır. Sanayi boyutunda ise düşük kaliteli ham madde, işleme verimliliğini azaltmakta ve toplam şeker üretiminde kayıplara neden olmaktadır. Bu durum, tarımsal üretimden sanayiye kadar uzanan tüm değer zincirinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Son yıllarda iklim değişikliği, tarımsal uygulamalardaki değişimler ve yoğun üretim sistemlerinin yaygınlaşması gibi faktörler, şeker pancarında yaprak hastalıklarının görülme sıklığını ve şiddetini artırmaktadır. Özellikle sıcaklık ve nem koşullarındaki değişimler, patojenlerin gelişimi için daha elverişli ortamlar oluşturmakta ve hastalıkların daha geniş alanlara yayılmasına neden olmaktadır. Bu durum, hastalık yönetiminin daha dikkatli ve bilimsel temellere dayalı olarak ele alınmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu kapsamda, şeker pancarında yaprak hastalıklarının doğru şekilde tanılanması, hastalık etmenlerinin biyolojisinin anlaşılması ve uygun mücadele stratejilerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Etkili bir hastalık yönetimi için kültürel önlemler, dayanıklı çeşit kullanımı, uygun tarımsal uygulamalar ve gerektiğinde kimyasal mücadele yöntemlerinin entegre bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, şeker pancarı üretiminde yaygın olarak karşılaşılan yaprak hastalıkları ele alınarak, bu hastalıkların bitki gelişimi üzerindeki etkileri ile verim ve şeker kalitesi üzerindeki sonuçları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Ayrıca, hastalıkların kontrolüne yönelik uygulanabilecek mücadele yaklaşımlarına da yer verilerek sürdürülebilir üretim açısından değerlendirmeler yapılmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2. ARAZİDE GÖZLEMLENEN YAPRAK HASTALIKLARI VE SEMPTOMLAR

Şeker pancarı yetiştiriciliğinde yaprak hastalıkları, üretim sezonu boyunca farklı gelişim dönemlerinde ortaya çıkabilen ve bitkinin fizyolojik dengesini doğrudan etkileyen önemli biyotik stres faktörleri arasında yer almaktadır. Arazi koşullarında yapılan gözlemler, özellikle uygun sıcaklık ve nem koşullarının oluştuğu dönemlerde yaprak hastalıklarının hızla yayıldığını ve kısa sürede geniş alanları etkileyebildiğini göstermektedir. Bu hastalıklar genellikle başlangıçta lokal belirtiler şeklinde ortaya çıkmakta, ancak çevresel koşulların elverişli olması durumunda epidemik karakter kazanarak tüm tarlaya yayılabilmektedir.

Yaprak hastalıklarının erken dönemde doğru şekilde tanınması, hastalık yönetiminde kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle sahada gözlenen semptomların dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi ve hastalık etmenlerinin ayırt edici özelliklerinin bilinmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada arazi gözlemlerine dayalı olarak şeker pancarında yaygın şekilde karşılaşılan başlıca yaprak hastalıkları; Cercospora beticola (*Cercospora beticola*) , Ramularia yaprak lekesi *(Ramularia beticola*) ve külleme hastalığı (*Erysiphe betae)* başlıkları altında incelenmiştir.

2.1.Cercospora Yaprak Lekesi *(Cercospora beticola)*

Cercospora yaprak lekesi, şeker pancarında en yaygın ve ekonomik açıdan en önemli yaprak hastalıklarından biri olarak kabul edilmektedir. Hastalık etmeni olan *Cercospora beticola,* uygun çevre koşullarında hızla gelişerek ciddi verim ve kalite kayıplarına neden olabilmektedir.

Arazi gözlemlerinde, enfeksiyonun gerçekleşmesinden sonra ilk belirtilerin genellikle 7–10 gün içerisinde ortaya çıktığı belirlenmiştir. Hastalık başlangıçta tarlanın belirli bölgelerinde sınırlı kalmakta, ancak zamanla yayılım göstererek tüm üretim alanını etkisi altına alabilmektedir. İlk belirtiler çoğunlukla bitkinin yaşlı ve dış yapraklarında gözlenmektedir.

Hastalığın karakteristik belirtisi, yaprak yüzeyinde oluşan küçük, dairesel lekelerdir. Bu lekelerin merkezi genellikle açık gri veya açık kahverengi renkte olup, çevresi kırmızımsı kahverengi ya da morumsu bir halka ile çevrilidir. Lekelerin çapı yaklaşık 0.5–6 mm arasında değişmekte ve yoğun enfeksiyon durumunda bu lekeler birleşerek daha geniş nekrotik alanlar oluşturmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Şekil 1. *Cercospora beticola enfeksiyonuna bağlı olarak şeker pancarı yapraklarında oluşan tipik lekeler*

Hastalığın ilerleyen dönemlerinde lekelerin birleşmesiyle yaprak yüzeyinin büyük bir kısmı etkilenmekte ve buna bağlı olarak yapraklarda kuruma ve yanıklık benzeri belirtiler ortaya çıkmaktadır. Bu durum fotosentetik kapasitenin ciddi şekilde azalmasına neden olmaktadır.



Şekil 2. *İleri düzey Cercospora enfeksiyonunda yaprak yüzeyinde yaygın nekrotik alan oluşumu*

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Mikroskobik incelemelerde, etmenin konidioforlarının açık kahverengi, bölmeli ve genellikle dallanmamış yapıda olduğu; konidilerin ise şeffaf, uzun ve silindirik formda olduğu gözlenmiştir. Bu morfolojik özellikler hastalık etmeninin tanılanmasında önemli kriterler arasında yer almaktadır.



Şekil 3. *Cercospora beticola'ya ait konidiofor yapısı*

2.2.Ramularia Yaprak Lekesi *(Ramularia beticola)*

Ramularia yaprak lekesi, şeker pancarında yaygın olarak görülen bir diğer fungal hastalık olup, özellikle nemli çevre koşullarında hızlı gelişim göstermektedir. Arazi gözlemlerinde bu hastalığın genellikle daha serin ve nemli mikroklimaya sahip alanlarda yoğunlaştığı belirlenmiştir.

Hastalığın ilk belirtileri, yaprak yüzeyinde açık yeşil tonlarında küçük lekeler şeklinde ortaya çıkmaktadır. Zamanla bu lekeler soluk kahverengi renge dönüşmekte ve düzensiz şekilli nekrotik alanlara dönüşmektedir. Hastalık ilerledikçe lekeler birleşerek daha geniş alanları kaplayabilmekte ve yaprak dokusunda ciddi deformasyonlara neden olmaktadır.

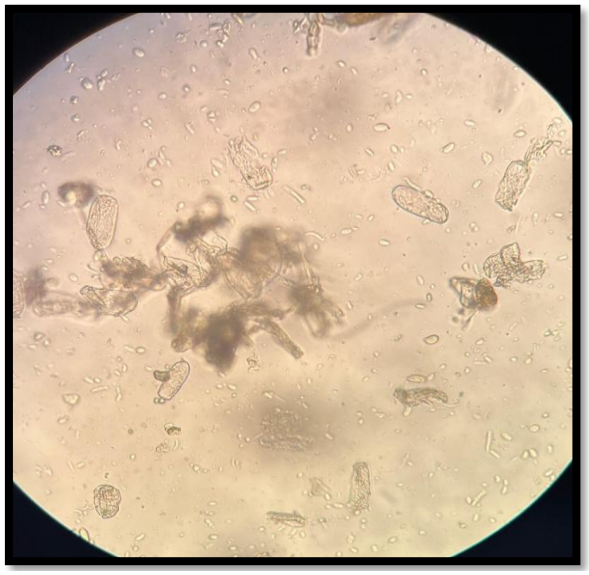
ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Şekil 4. *Ramularia yaprak lekesi hastalığının tarla koşullarındaki görünümü*

Nemli koşullar altında hastalık etmeninin gelişimi hızlanmakta ve bu durum yaprakların erken yaşlanmasına yol açmaktadır. Erken yaşlanan yapraklar fotosentetik etkinliğini kaybetmekte ve bitkinin genel gelişimi olumsuz etkilenmektedir.

Mikroskobik incelemelerde, *Ramularia beticola* etmenine ait konidilerin renksiz (hiyalin), uzun elipsoidal veya silindirik yapıda olduğu gözlenmiştir. Konidiler genellikle tek hücreli veya birkaç bölmeli olup uç kısımları yuvarlak ya da hafif sivridir. Ayrıca örneklerde dallanmış ve renksiz hif yapıları da tespit edilmiştir.



Şekil 5. *Ramularia beticola konidilerinin mikroskobik görünümü*

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.3. Külleme Hastalığı (*Erysiphe betae*)

Külleme hastalığı, şeker pancarı yapraklarında yüzeysel gelişim gösteren ve kolaylıkla ayırt edilebilen bir hastalıktır. Arazi gözlemlerinde hastalığın özellikle kuru ve sıcak günler ile serin gecelerin yaşandığı dönemlerde daha sık görüldüğü belirlenmiştir.

Hastalığın en belirgin özelliği, yaprak yüzeyinde oluşan beyaz, unumsu tabakadır. Bu yapı başlangıçta küçük alanlarda ortaya çıkmakta, ancak zamanla genişleyerek yaprağın büyük bir kısmını kaplayabilmektedir.

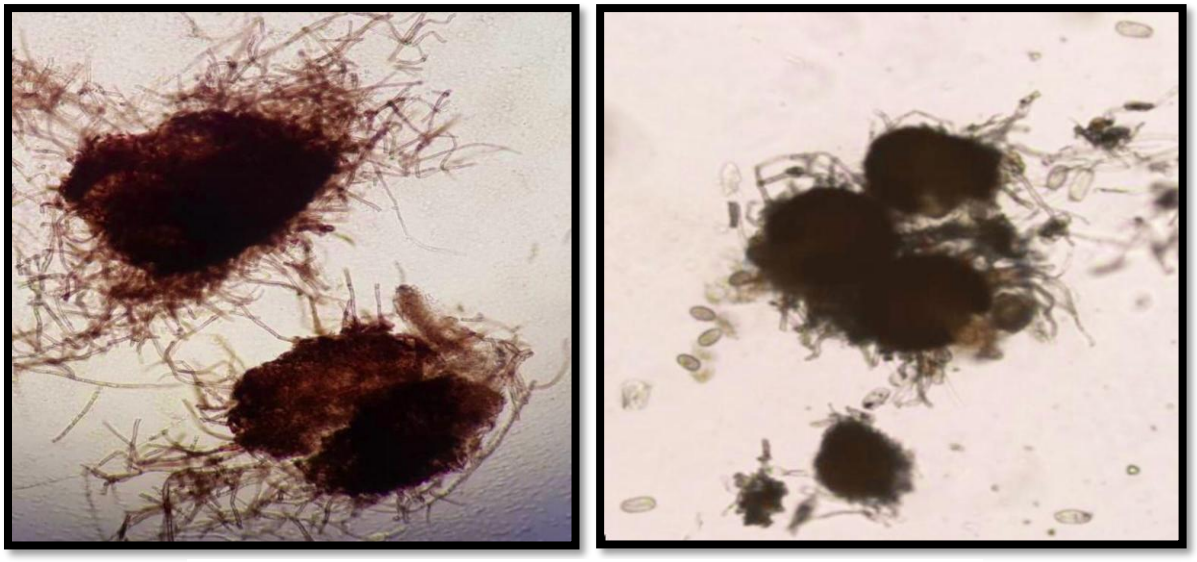


Şekil 6. *Külleme hastalığının şeker pancarı yaprağındaki tipik görünümü*

Hastalığın ilerlemesiyle birlikte yapraklarda sararma, kıvrılma ve kuruma gibi belirtiler ortaya çıkmaktadır. Bu durum fotosentez faaliyetini olumsuz etkileyerek bitkinin gelişimini sınırlandırmaktadır.

Mikroskobik incelemelerde, yüzeysel miselyumlar üzerinde zincir şeklinde dizilmiş, renksiz ve eliptik konidiler gözlenmiştir. Ayrıca küresel yapıda olan cleistotheciumların, miselyumlar arasında yer aldığı belirlenmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Şekil 7. *Erysiphe betae'ye ait cleistothecium yapıları*

3. Yaprak Hastalıklarının Verim ve Şeker Kalitesi Üzerine Etkileri

Şeker pancarında yaprak hastalıkları, bitkinin fizyolojik işleyişini doğrudan etkileyen ve üretim performansını belirleyen en önemli biyotik stres faktörlerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Bu hastalıklar, özellikle fotosentez sürecinin gerçekleştiği yaprak dokusunda meydana gelmeleri nedeniyle, bitkinin enerji üretim mekanizmasını doğrudan sınırlamakta ve buna bağlı olarak hem verim hem de kalite parametrelerinde önemli kayıplara yol açmaktadır.

Yaprak hastalıklarının en belirgin etkisi, yaprak yüzeyinde oluşan lekeler, klorotik alanlar ve nekrotik dokular aracılığıyla fotosentetik aktif alanın azalmasıdır. Sağlıklı bir şeker pancarı bitkisinde yapraklar, güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek karbonhidrat üretiminin temel kaynağını oluşturur. Ancak hastalık etmenlerinin neden olduğu doku tahribatı, bu sürecin etkinliğini azaltmakta ve bitkinin karbon asimilasyon kapasitesini düşürmektedir. Bu durum, bitkinin büyüme ve gelişme sürecinde enerji yetersizliği yaşamasına neden olmaktadır.

Fotosentez kapasitesindeki bu azalma, doğrudan kök gelişimini etkilemektedir. Şeker pancarında ekonomik değeri belirleyen temel unsur, kökün büyüklüğü ve içerisinde depolanan sakkaroz miktarıdır. Yaprak hastalıkları nedeniyle yeterli düzeyde karbonhidrat üretilememesi, kök dokusuna taşınan asimilant miktarını sınırlandırmakta ve sonuç olarak kök veriminde azalmaya yol açmaktadır. Özellikle erken dönemde başlayan enfeksiyonlar, bitkinin gelişim

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

sürecini daha fazla etkileyerek verim kaybının daha yüksek düzeylerde gerçekleşmesine neden olmaktadır.

Bununla birlikte, hastalığın şiddeti arttıkça bitkide fizyolojik denge bozulmakta ve bitki savunma mekanizmaları devreye girmektedir. Bu süreçte bitki, zarar gören yaprak dokularını telafi edebilmek amacıyla yeni yaprak oluşturma eğilimi göstermektedir. Ancak bu durum, mevcut enerji kaynaklarının kök gelişimi yerine yeniden yaprak oluşumuna yönlendirilmesine neden olmaktadır. Sonuç olarak bitki, depolama organı olan kök yerine vejetatif gelişime yatırım yapmakta ve bu da toplam verim kaybını daha da artırmaktadır.

Yaprak hastalıklarının etkileri yalnızca verim ile sınırlı kalmayıp, şeker pancarının kalite özellikleri üzerinde de belirgin sonuçlar doğurmaktadır. Şeker pancarında kalite genellikle kökteki sakkaroz oranı ile ifade edilmekte ve bu değer polarizasyon ölçümleri ile belirlenmektedir. Yaprak hastalıklarının neden olduğu fotosentetik kayıplar, kökte biriken şeker miktarını azaltmakta ve buna bağlı olarak polarizasyon değerlerinde düşüş meydana gelmektedir. Bu durum, ürünün sanayi açısından işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemektedir.

Şeker oranındaki azalma, şeker fabrikalarında gerçekleştirilen ekstraksiyon sürecinde de önemli sorunlara yol açmaktadır. Düşük sakkaroz içeriğine sahip pancarlar, işleme sırasında daha az şeker verimi sağlamakta ve bu durum fabrikasyon verimliliğini düşürmektedir. Ayrıca hastalık nedeniyle zayıflayan bitkilerde istenmeyen safsızlıkların (melas oluşumunu artıran bileşikler gibi) artması, şeker üretim sürecini daha karmaşık ve maliyetli hale getirebilmektedir.

Yaprak hastalıklarının ekonomik etkileri hem tarla hem de sanayi düzeyinde hissedilmektedir. Üretici açısından değerlendirildiğinde, verim ve kalite kayıpları doğrudan gelir azalmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra hastalıkların kontrol altına alınabilmesi için yapılan fungisit uygulamaları, işçilik ve ekipman kullanımı gibi girdiler üretim maliyetlerini artırmaktadır. Özellikle hastalıkların yaygın olduğu yıllarda, birden fazla ilaçlama gereksinimi doğmakta ve bu durum ekonomik yükü daha da artırmaktadır.

Sanayi açısından bakıldığında ise düşük kaliteli hammadde, işleme sürecinin verimliliğini azaltmakta ve toplam şeker üretiminde kayıplara yol açmaktadır. Şeker oranı düşük pancarların işlenmesi, aynı miktarda şeker elde edebilmek için daha fazla hammadde kullanımını gerektirmekte; bu da enerji tüketimi ve işletme maliyetlerini yükseltmektedir. Dolayısıyla

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

yaprak hastalıklarının etkileri, yalnızca tarımsal üretim aşamasıyla sınırlı kalmayıp, üretim zincirinin tamamında hissedilen bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çevresel koşullar, yaprak hastalıklarının verim ve kalite üzerindeki etkisinin şiddetini belirleyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Özellikle yüksek nem ve uygun sıcaklık koşulları, hastalık etmenlerinin gelişimini hızlandırmakta ve enfeksiyon düzeyini artırmaktadır. Bu durum, hastalığın daha geniş alanlara yayılmasına ve daha kısa sürede ciddi zarar oluşturmasına neden olmaktadır. Ayrıca iklim değişikliği ile birlikte değişen çevresel koşullar, bu hastalıkların görülme sıklığını ve etki düzeyini artıran bir unsur olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak, şeker pancarında yaprak hastalıkları; fotosentez kapasitesinin azalması, kök gelişiminin zayıflaması ve şeker birikiminin düşmesi gibi birbiriyle ilişkili süreçler üzerinden hem verim hem de kaliteyi olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle yaprak hastalıklarının etkilerinin doğru anlaşılması, üretim kayıplarının önlenmesi ve sürdürülebilir üretim sistemlerinin oluşturulması açısından büyük önem taşımaktadır. Hastalıkların erken dönemde kontrol altına alınması, uygun tarımsal uygulamaların benimsenmesi ve entegre mücadele stratejilerinin uygulanması, bu olumsuz etkilerin en aza indirilmesinde temel yaklaşımlar arasında yer almaktadır.

4. YAPRAK HASTALIKLARI İLE MÜCADELE YAKLAŞIMLARI

Şeker pancarı üretiminde yaprak hastalıklarının kontrolü, sürdürülebilir verim ve kalite hedeflerine ulaşabilmek açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu hastalıkların yönetimi, yalnızca kimyasal uygulamalara dayalı bir yaklaşım yerine; kültürel önlemler, dayanıklı çeşit kullanımı ve uygun tarımsal uygulamaların birlikte değerlendirildiği bütüncül bir strateji gerektirmektedir. Bu kapsamda, yaprak hastalıkları ile mücadelede en etkili yaklaşım, farklı yöntemlerin uyum içerisinde uygulandığı entegre mücadele sistemleridir.

4.1. Kültürel Mücadele Yöntemleri

- Yaprak hastalıklarının ortaya çıkışını ve yayılımını sınırlamada kültürel uygulamalar temel bir rol oynamaktadır. Bu yöntemler, hastalık etmenlerinin yaşam döngüsünü kesintiye uğratmayı ve enfeksiyon için uygun ortam koşullarını ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

- Hastalıklara dayanıklı veya toleranslı çeşitlerin tercih edilmesi, mücadelede en etkili ve ekonomik yöntemlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Genetik olarak dayanıklı çeşitlerin kullanımı, patojenin bitki üzerindeki etkisini sınırlayarak hastalık şiddetinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Bu sayede kimyasal mücadeleye duyulan ihtiyaç da azaltılabilmektedir.
- Ekim nöbeti (münavebe) uygulaması, toprakta ve bitki artıklarında yaşamını sürdüren hastalık etmenlerinin yoğunluğunu azaltmada önemli bir yöntemdir. Aynı tarlaya üst üste şeker pancarı ekilmesi, patojen popülasyonunun artmasına neden olmakta; bu durum ise hastalık riskini yükseltmektedir. Bu nedenle farklı bitki türleri ile yapılan ekim nöbeti, hastalık baskısının azaltılmasında etkili olmaktadır.
- Tarla hijyeninin sağlanması da kültürel mücadelenin önemli bir bileşenidir. Hasat sonrasında tarlada bırakılan enfekte bitki artıkları, birçok patojen için kışlama kaynağı oluşturmaktadır. Bu artıkların uzaklaştırılması veya uygun şekilde parçalanarak toprağa karıştırılması, hastalık etmenlerinin yeni sezona taşınmasını engellemektedir.
- Bitki sıklığı ve ekim zamanı gibi agronomik uygulamalar da hastalık gelişimi üzerinde doğrudan etkilidir. Sık ekim yapılan alanlarda hava sirkülasyonu azalmakta ve yaprak yüzeyinde nem birikimi artmaktadır. Bu durum, özellikle fungal hastalıkların gelişimi için uygun bir mikroklima oluşturmaktadır. Bu nedenle uygun bitki aralığı bırakılması ve doğru ekim zamanının seçilmesi, hastalık riskinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.
- Sulama yönetimi de yaprak hastalıklarının kontrolünde önemli bir faktördür. Özellikle yaprak yüzeyinde uzun süreli nem oluşumu, patojenlerin gelişimini teşvik etmektedir. Bu nedenle sulamanın gece saatlerinde yapılması veya gün içinde yapılacaksa yüksek sıcaklık saatlerinden kaçınılması önerilmektedir. Ayrıca damlama sulama sistemlerinin tercih edilmesi, yaprakların ıslanmasını azaltarak hastalık gelişimini sınırlandırmaktadır.
- Düzenli arazi kontrolleri, hastalıkların erken dönemde tespit edilmesini sağlayarak zamanında müdahale imkânı sunmaktadır. Erken teşhis, hastalığın yayılmadan kontrol altına alınmasında en kritik adımlardan biridir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

4.2. Kimyasal Mücadele Yöntemleri

- Yaprak hastalıklarının yoğun olarak görüldüğü durumlarda kimyasal mücadele önemli bir kontrol aracı olarak kullanılmaktadır. Fungisit uygulamaları, özellikle hastalığın yayılma hızının arttığı dönemlerde etkili sonuçlar verebilmektedir. Ancak bu uygulamaların bilinçli ve doğru şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır.
- Kimyasal mücadelenin başarısı, büyük ölçüde doğru zamanlama ile ilişkilidir. Hastalık belirtilerinin ilk ortaya çıktığı dönemde yapılan uygulamalar, ilerleyen dönemlerde oluşabilecek yoğun enfeksiyonların önüne geçebilmektedir. Geç yapılan uygulamalar ise genellikle istenilen etkiyi göstermemekte ve ekonomik kayıpların önüne geçilememektedir.
- Fungisitlerin önerilen dozlarda kullanılması, hem etkinlik hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Gereğinden düşük dozlar hastalığın kontrolünü zorlaştırırken, yüksek dozlar bitki üzerinde fitotoksik etkilere neden olabilmekte ve çevreye zarar verebilmektedir.
- Direnç yönetimi, kimyasal mücadelede dikkat edilmesi gereken bir diğer önemli konudur. Aynı etki mekanizmasına sahip fungisitlerin sürekli kullanılması, patojenlerin zamanla bu maddelere karşı direnç geliştirmesine yol açabilmektedir. Bu nedenle farklı etki mekanizmasına sahip fungisitlerin dönüşümlü olarak kullanılması önerilmektedir. Bu yaklaşım, hem uygulamaların etkinliğini artırmakta hem de uzun vadede direnç gelişimini yavaşlatmaktadır.

4.3. Entegre Mücadele Yaklaşımı

Günümüzde bitki hastalıkları ile mücadelede en etkili ve sürdürülebilir yöntem, entegre mücadele yaklaşımı olarak kabul edilmektedir. Bu yaklaşım, kültürel, biyolojik ve kimyasal yöntemlerin birlikte ve dengeli bir şekilde uygulanmasını esas almaktadır.

Entegre mücadelede temel amaç, hastalık etmenlerini tamamen ortadan kaldırmak değil; ekonomik zarar eşiğinin altında tutmaktır. Bu doğrultuda, öncelikle kültürel önlemler uygulanmakta, hastalık riskinin arttığı durumlarda ise kimyasal mücadele devreye alınmaktadır. Bu sayede gereksiz ilaç kullanımının önüne geçilmekte ve çevresel etkiler en aza indirilmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Üreticilerin hastalık tanı ve yönetimi konusunda bilinçlendirilmesi, entegre mücadelenin başarısı açısından büyük önem taşımaktadır. Doğru bilgiye sahip üreticiler, hastalık belirtilerini erken dönemde fark edebilmekte ve uygun mücadele yöntemlerini zamanında uygulayabilmektedir. Bu durum, hem verim kayıplarının azaltılmasına hem de üretim maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır.

Ayrıca teknolojik gelişmelerin tarımsal üretime entegrasyonu, hastalık yönetiminde yeni olanaklar sunmaktadır. Uzaktan algılama sistemleri, erken uyarı modelleri ve dijital tarım uygulamaları sayesinde hastalıkların izlenmesi ve kontrolü daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Şeker pancarı üretiminde yaprak hastalıkları, bitki gelişimi, verim ve şeker kalitesi üzerinde doğrudan ve çok yönlü etkiler oluşturan önemli biyotik stres faktörleri arasında yer almaktadır. Arazi gözlemleri ve mevcut bulgular birlikte değerlendirildiğinde, özellikle *Cercospora beticola*, *Ramularia beticola* ve *Erysiphe betae* gibi etmenlerin uygun çevre koşullarında hızla yayılım göstererek üretim sürecini ciddi ölçüde etkileyebildiği görülmektedir. Bu hastalıklar, başlangıçta sınırlı belirtilerle ortaya çıkmakla birlikte, zamanında müdahale edilmediği durumlarda geniş alanlara yayılmakta ve ekonomik kayıpların artmasına neden olmaktadır.

Yaprak hastalıklarının en önemli etkisi, fotosentetik aktif alanın azalmasına bağlı olarak bitkinin karbon asimilasyon kapasitesinin düşmesidir. Fotosentez sürecindeki bu azalma, bitkinin enerji üretimini sınırlamakta ve doğrudan kök gelişimi ile şeker birikimini olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle erken dönemde meydana gelen enfeksiyonlar, bitkinin gelişim sürecini daha fazla etkileyerek verim kayıplarının daha belirgin hale gelmesine yol açmaktadır. Bunun yanı sıra bitkinin zarar gören yapraklarını telafi etmek amacıyla yeni yaprak oluşturma eğilimi göstermesi, mevcut enerji kaynaklarının kök yerine vejetatif gelişime yönlendirilmesine neden olmakta ve bu durum verim kaybını daha da artırmaktadır.

Kalite açısından değerlendirildiğinde, yaprak hastalıklarının şeker pancarında sakkaroz birikimini azaltarak polarizasyon değerlerinde düşüşe neden olduğu belirlenmiştir. Bu durum, yalnızca tarla verimini değil, aynı zamanda ürünün endüstriyel işlenebilirliğini de olumsuz yönde etkilemektedir. Düşük şeker içeriğine sahip pancarlar, fabrikasyon sürecinde daha düşük ekstraksiyon verimi ile sonuçlanmakta ve üretim maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Dolayısıyla yaprak hastalıklarının etkileri, tarımsal üretimden sanayiye kadar uzanan geniş bir etki alanına sahiptir.

Yaprak hastalıklarının ortaya çıkışı ve yayılımında çevresel koşulların belirleyici olduğu açıkça görülmektedir. Özellikle sıcaklık ve nem dengesinin patojen gelişimi için uygun olduğu dönemlerde hastalık şiddeti artmakta ve kontrolü zorlaşmaktadır. Bu durum, hastalık yönetiminde yalnızca tedavi edici değil, aynı zamanda önleyici yaklaşımların da benimsenmesini zorunlu kılmaktadır.

Bu kapsamda, şeker pancarı üretiminde yaprak hastalıklarının etkilerini en aza indirmek amacıyla aşağıdaki önerilerin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır:

- Bitki sıklığı ve ekim zamanı, tarla içerisinde hava sirkülasyonunu artıracak ve yaprak yüzeyinde nem birikimini azaltacak şekilde planlanmalıdır.
- Hastalık belirtilerinin erken dönemde belirlenebilmesi için arazi kontrolleri düzenli olarak yapılmalı ve üreticiler bu konuda bilinçlendirilmelidir.
- Sulama uygulamaları, yaprak yüzeyinde uzun süreli ıslaklık oluşturmayacak şekilde planlanmalı; mümkün olduğunda damlama sulama sistemleri tercih edilmelidir.
- Aynı tarlada üst üste şeker pancarı yetiştirilmesinden kaçınılmalı ve uygun ekim nöbeti programları uygulanmalıdır.
- Hasat sonrası bitki artıklarının tarladan uzaklaştırılması veya uygun şekilde toprağa kazandırılması sağlanarak hastalık etmenlerinin kışlama kaynakları azaltılmalıdır.
- Hastalık riski yüksek olan durumlarda kimyasal mücadeleye zamanında başlanmalı ve uygun etken maddeler tercih edilmelidir.
- Fungisit uygulamaları, önerilen doz ve zamanlamaya uygun şekilde gerçekleştirilerek hem etkinlik artırılmalı hem de çevresel etkiler en aza indirilmelidir.
- Aynı etki mekanizmasına sahip fungisitlerin sürekli kullanımından kaçınılarak direnç gelişimini önlemek amacıyla dönüşümlü kullanım stratejileri uygulanmalıdır.
- Kültürel ve kimyasal yöntemlerin birlikte değerlendirildiği entegre mücadele yaklaşımı benimsenmeli ve sürdürülebilir üretim hedeflenmelidir.
- Üreticilerin hastalık tanı, izleme ve mücadele yöntemleri konusunda eğitilmesi sağlanarak uygulama başarısı artırılmalıdır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Sonuç olarak, şeker pancarında yaprak hastalıkları ile etkin mücadele, yalnızca hastalıkların kontrol altına alınması açısından değil, aynı zamanda verim ve kalite kayıplarının önlenmesi, üretim maliyetlerinin azaltılması ve sürdürülebilir tarım uygulamalarının geliştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, bilimsel temellere dayalı, planlı ve bütüncül bir hastalık yönetim stratejisinin benimsenmesi, şeker pancarı üretiminde başarıyı belirleyen temel unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır.

6. KAYNAKÇA

Acharya, K., Dutta, A. K., & Pradhan, P. (2011).
*Bipolaris sorokiniana (Sacc.) Shoemaker: The most destructive wheat fungal pathogen in the warmer areas.*Crop Protection, 30(7), 843–850.

Adıyaman, M. (2011a). Kök Yanıklığı. Teknik Bülten No: 2. Sesvanderhave International B.V., Ankara, 1.

Anonim (1999). Şeker Pancarı Tarımı ve Şeker Sanayii Raporu. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Yayınları, Ankara.

Anonim (1999). Türkiye'de Şekerpancarı Tarımı ve Üretim Potansiyeli Üzerine Değerlendirmeler. Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.

Anonim (2008). Şeker Pancarı Üretim Raporu. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş., Ankara.

Anonim (2008). Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Şeker Sektör Raporu 2008. Ankara.

Anonim (2013). Türkiye Şeker Sektörü Raporu. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Yayınları, Ankara.

Anonim (2014a). Dünya Şeker Pancarı Üretim İstatistikleri. FAO ve Dünya Şeker Örgütü Verileri.

Anonim (2017a). Türkiye Bitkisel Üretim İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Ankara.

Anonim (2017b). Şeker Pancarı Tarımının Ekonomik ve Sosyal Etkileri Üzerine Rapor. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Yayınları, Ankara.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Asher, M. J. C., 1986, The occurrence and control of sugar-beet powdery mildew, Conference on crop protection of sugar beet and crop protection and quality of potatoes, held at the University of Cambridge, UK on Dec. 15 – 17.

Avan, M. ve Katırcıoğlu, Y. Z. (2019). Şeker pancarlarında görülen *Rhizoctonia* türlerinin özellikleri, oluşturduğu hastalıklar ve korunma yolları. *ADÜ Ziraat Dergisi*, 16(1), 105– Bolton, M. D., & Panella, L. (2020). *Cercospora beticola*: The intoxicating lifestyle of the leaf spot pathogen of sugar beet. Molecular Plant Pathology, 21(9), 1143-1157.

Bora, T. ve Karaca, İ. (1970). Kültür bitkilerinde hastalığın ve zararın ölçülmesi. E.Ü. Ziraat F Çatal, M. İ., & Akınerdem, F. (2013). Konya koşullarında bazı şeker pancarı çeşitlerinin verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi***,** 27**(**2), 112–120. fakültesi, Yardımcı Ders Kitabı No: 167.112.

Harveson, R.M., 2004, Widespread occurrence of the perfect stage of powdery mildew caused by *Erysiphe* polygoni on sugar beets in Nebraska, Plant Disease 88 (9) St. Paul: American Phytopathological Society (APS Press), 1049.

Hoheneder, F., Hofer, K., Groth, J., Herz, M., Heß, M., & Hückelhoven, R. (2021).*Ramularia* leaf spot disease of barley is highly host genotype-dependent and suppressed by continuous drought stress in the field.Journal of Plant Diseases and Protection, 128, 749–767.

İlisulu, K. (1986). Endüstri Bitkileri ve Yetiştiriciliği. Ankara Üniversitesi Yayınları. Kacar, B. ve Katkat, V. (2007). Bitki Besleme. Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Johnston., A. and C., Booth, 1983, Plant Pathologist‟s Pocketbook. Second Edition, Commonwealth Mycological Institute, England, 439.

Keskin, N. (2003). Şeker pancarı tarımı ve ekonomik önemi. Türkiye Şeker Fabrikaları Yayınları.

Özgür, O. E. (1995). Şeker Pancarı Hastalıkları. Şeker Enstitüsü Yayınları, Yayın No: 202, Ankara.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Özgür, O.E., (2003). Türkiye Şeker Pancarı Hastalıkları. Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş. Genel Müdürlüğü, Yayın No: 5, Amasya, 109.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

TUZLULUK STRESİ ALTINDAKİ MERCİMEKTE HORMONAL PRIMING UYGULAMALARININ FİDE VE KÖK GELİŞİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa CERİTOĞLU [1*], Zehra ÖGETÜRK [2]
[*1] Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye,
ceritoglu@siirt.edu.tr - 0000-0002-4138-4579
[2] Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Siirt, Türkiye,
zehraogeturk@gmail.com - 0009-0005-7482-4576

ÖZET
Bu çalışma, mercimekte (*Lens culinaris* L.) tuzluluk stresinin fide gelişimi ve kök sistem mimarisi üzerine etkilerini belirlemek ve farklı hormonal priming uygulamalarının bu süreçteki rolünü ortaya koymak amacıyla yürütülmüştür. Araştırma üç tuzluluk seviyesi (0, 100 ve 200 mM NaCl) ile dört priming uygulaması (hidro-priming, salisilik asit (SA), gibberellik asit (GA) ve indol asetik asit (IAA)) kullanılarak tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Artan tuzluluk düzeyi bitki gelişimini belirgin şekilde azaltmıştır. Bitki boyu %26.4 oranında azalarak 18.2 cm'den 13.4 cm'ye, sürgün yaş ağırlığı %32 oranında azalarak 0.1260 g'dan 0.0862 g'a, kök yaş ağırlığı ise %59 oranında azalarak 0.1724 g'dan 0.0715 g'a gerilemiştir. Priming uygulamaları incelendiğinde en yüksek bitki boyu hidro-priming (18.6 cm) ve GA (18.0 cm) uygulamalarında elde edilirken, en düşük değer IAA uygulamasında (11.8 cm) belirlenmiştir. Kök uzunluğu GA uygulamasında ortalama 13.9 cm ile en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Lateral kök sayısı GA uygulamasında ortalama 6.6 adet olarak belirlenmiş, IAA uygulamasında bu değer %67 oranında azalarak 2.2 adede düşmüştür. Lateral kök toplam uzunluğu ise %75 oranında azalarak 20.8 cm'den 5.3 cm'ye gerilemiştir. Sonuç olarak, mercimekte tuzluluk stresine karşı 500 mg/L GA ve 0.3 mM SA uygulamaları önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mercimek, tuzluluk stresi, hormonal priming, kök mimarisi, gibberellik asit

ABSTRACT
This study was conducted to determine the effects of salinity stress on seedling growth and root system architecture in lentil (*Lens culinaris* L.), and to reveal the role of different hormonal priming treatments in this process. The experiment was arranged in a factorial design under a completely randomized layout using three salinity levels (0, 100, and 200 mM NaCl) and four priming treatments: hydro-priming, salicylic acid (SA), gibberellic acid (GA), and indole acetic acid (IAA). Increasing salinity levels significantly reduced plant growth. Plant height decreased by 26.4%, from 18.2 cm to 13.4 cm; shoot fresh weight declined by 32%, from 0.1260 g to 0.0862 g; and root fresh weight decreased by 59%, from 0.1724 g to 0.0715 g. Among priming treatments, the highest plant height was obtained with hydro-priming (18.6 cm) and GA (18.0 cm), whereas the lowest value was recorded in the IAA treatment (11.8 cm). Root length reached its highest mean value under GA treatment (13.9 cm). The number of lateral roots was highest in the GA treatment, averaging 6.6 roots, while this value declined by 67% to 2.2 roots under IAA treatment. Total lateral root length also decreased by 75%, from 20.8 cm to 5.3 cm. In conclusion, 500 mg/L GA and 0.3 mM SA applications is also recommended as an effective strategy to alleviate salinity stress in lentil.

Keywords: Lentil, salinity stress, hormonal priming, root architecture, gibberellic acid

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. GİRİŞ

Mercimek (*Lens culinaris* L.), yapılan arkeolojik kazılarda kullanılan radyokarbon tarihleme yöntemine göre tarımı yapılan en eski yemeklik tane baklagil bitkisi olarak kaydedilmiştir [1]. StatPub verilerine göre dünya genelinde 2022-23 sezonunda 5,5 milyon ha alanda 5,9 milyon ton üretim gerçekleştirilirken, 2023-24 yılında bu rakamlar sırasıyla 5,2 milyon ha ve 5,4 milyon ton olarak değişkenlik göstermiştir [2]. Dünya geneli incelendiğinde 2023 verilerine göre mercimek ekili alanların %85,5'ini kırmızı, %14,5'ini ise yeşil mercimek oluşturmaktadır [2]. FAO verilerine göre 2023 yılında dünyada mercimek ekiliş alanı açısından ilk sırayı 1,734 milyon ha ile Hindistan almakta, onu 1,716 milyon ha ile Kanada takip etmektedir [3]. Toplam üretim miktarı açısından ise ilk sırada 1,606 milyon ton ile Kanada, ikinci sırada 1,490 milyon ton ile Hindistan gelmektedir [3]. Türkiye ise TÜİK verilerine göre 290 bin ha ekiliş alanında 400 bin ton üretim gerçekleştirmiştir [4]. Ancak çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörleri, diğer bitkisel ürünlerde olduğu gibi mercimek üretimini de önemli ölçüde sınırlandırmakta, verim ve kalite kayıplarına yol açmaktadır. Artan sıcaklıkların da etkisiyle yüzeyden buharlaşan su miktarının artması ve yanlış tarımsal uygulamalar, dünyada tuzluluktan etkilenen alanların artmasına neden olmakta ve önemli bir tehdit unsuru hâline gelmektedir.

Toprakta tuz konsantrasyonunun artmasına tuzlu sulama rejimleri [5], su kıtlığı [6] ve küresel ısınmaya bağlı olarak deniz seviyesinin yükselmesi neden olmaktadır [7]. Toprak tuzluluğuna neden olan bir diğer potansiyel kaynak da kompost gübresidir; çünkü kompostlama işlemlerinin hammaddeleri büyük miktarlarda NaCl içeren gıda atıkları ve kentsel organik atıklardır [8]. Tuzluluk sadece mahsul verimliliğini engellemekle kalmaz, aynı zamanda dünya çapında tarımsal ekosistemlerin sürdürülebilirliğini de tehdit eder. Yüksek tuzluluğun (100-200 mM) neden olduğu ozmotik stres, toprak çözeltisinin çözünen madde potansiyelindeki azalmadan kaynaklanır. Çözünen madde potansiyelinin azalması da hidrolik iletkenliğin azalmasına ve ardından bitkiler tarafından su ve çözünen madde alımının azalmasına yol açar [9]. Bu da kuraklık benzeri koşulların yaygınlaşmasına ve çeşitli tarımsal sistemlerde kuraklık ve tuzluluğun eş zamanlı olarak ortaya çıkmasına neden olur [10]. Tuzluluk stresi ayrıca kök plazma zarındaki iyon taşıyıcılarına (örneğin K+-seçici iyon kanalları) doğrudan müdahale ederek [11] ve kök büyümesini engelleyerek [12,13,14] besin eksikliklerini de beraberinde getirir.

Tuzluluğun küresel gıda üretimi üzerindeki artan şiddeti nedeniyle, artan zorlu toprak koşullarıyla başa çıkmak için çok sayıda strateji önerilmiştir. Bitki ıslahı [15], bitki genetik mühendisliği [16] ve genetik dönüşüm [17] ile birlikte, tarımsal uygulamalar tuzluluk stresine karşı bitki toleransının geliştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunmuştur. Kalsiyum ilavesi (5 mM $CaCl_2$), tuzla muamele edilmiş çilek bitkilerinin sürgün ve köklerindeki azalmayı iyileştirmiştir [18]. Silisyumun çok önemli fizyo-mekanik özelliği, özellikle fotosentetik aktiviteyi iyileştirme, temel besin alımını artırma ve abiyotik stresin olumsuz etkisini azaltmadaki hafifletici rolü çoğu bitkide yaygın olarak fark edilmiştir [19]. Hasanvand ve Nejad [20] çalışmasında, sardunya (*Pelargonium graveolens*) bitkilerinde yüksek EC seviyelerinin

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

neden olduğu pigment içeriği ve uçucu yağ verimindeki azalma, haftalık K_2SiO_3 uygulaması ile etkili bir şekilde iyileştirilmiştir.

Yeşil yaprak uçucuları, stresli koşullar altında bitkiler tarafından yayılan önemli bir uçucu organik bileşik grubudur [21] ve bitkilerin savunma ile ilgili genleri aktive etmesini sağlar [22]. Bir GLV olan Z-3-heksen-1-il asetat (Z-3-HAC), daha iyi bir tuz stresi toleransını teşvik etmek için tohum hazırlamada kullanılmıştır [21]. Yüksek bitkilerde metabolik bir ara ürün olan 5-aminolevulinik asit (ALA), klorofil, hem ve siroheme gibi tetrapirollerin ortak bir öncüsüdür ve bu küçük sinyal molekülü, tuz stresi hasarına karşı koymak için çeşitli fizyolojik süreçlere de katılır [23]. Akram ve Ashraf [24] çalışmasında, tuzluluk altında ALA'nın dışsal uygulanması ara ürünlerin ve klorofil içeriğinin artmasını sağlamış ve fotosentetik aparatların hasarlarını onarmıştır. Her yerde bulunan çok işlevli bir sinyal molekülü olan melatonin, strese karşı çeşitli fizyokimyasal tepkilerde uyarıcı olarak işlev görür [25]. Ekzojen melatonin uygulaması, buğday fidelerinde poliamin içeriğini artırarak tuz stresini hafifletmiştir [26]. Ayrıca, melatonin ile muamele edilen pirinç bitkilerinde tuz toleransı, K+ taşıyıcı genlerin yukarı regülasyonu ve hidroksil radikallerinin temizlenmesi yoluyla geliştirilmiştir [27].

Yapılan araştırmalarda pek çok bilim insanı, cinsler, türler ve hatta çeşitler bakımından kök sistem mimarisi açısından önemli varyasyonların oluştuğunu rapor etmişlerdir [28,29,30]. Genetik kaynaklı varyasyon dışında çeşitli uygulamaların da bitkilerde kök mimarisi ve fide gelişimi üzerinde önemli düzeyde etkili oldukları ortaya konulmaktadır. Modern tarımda özellikle bitki gelişim düzenleyicilerinin giderek daha fazla kullanıldığı ve kısa sürede önemli çözümler sunduğu görülmektedir. Bitki gelişim düzenleyiciler, bitkilerin büyümesini, çiçeklenmesini, meyve vermesini ve diğer gelişim süreçlerini yönlendiren kimyasal bileşiklerdir. Bitkilerin bu süreçleri etkileyen birçok doğal ve sentetik gelişim düzenleyici bulunmaktadır [31]. Bitki gelişim düzenleyicileri; oksinler, giberellinler, sitokininler, absisik asit ve etilen olmak üzere beş ana başlık altında toplanmaktadır. Sadece bitki gelişimi açısından değil, çeşitli biyotik ve abiyotik stres faktörlerine karşı tepki ve çözüm oluşturulması açısından da bitkisel hormonların önemli etkileri gözlemlenmiştir [32]. Bu araştırmanın amacı, farklı bitkisel hormonlar ile priming uygulamalarının mercimek çeşitlerinde kök mimarisi ve fide gelişimi üzerindeki etkilerini ve tuzluluk stresine bağlı değişimler üzerindeki rolünü ortaya koymaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırma Yerinin Özellikleri

Araştırma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait tarla bitkileri laboratuvarında konteyner kaplardan oluşan bir düzenekte yürütülmüştür.

2.2. Deneysel Materyal

Araştırmada Tigris kırmızı mercimek çeşidi kullanılmıştır. Bu çeşit, 2013 yılında GAP Uluslararası Tarımsal Araştırma ve Eğitim Merkezi (GAPUTAEM) tarafından tescil edilmiştir. Araştırmada hormonal priming uygulamaları için salisilik asit (SA), gibberellik asit (GA) ve indol asetik asit (IAA) kullanılmıştır. Yetiştirme ortamında yapay tuzluluk stresi oluşturmak amacıyla sodyum klorür ($NaCl_2$) uygulanmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2.3. Deneysel Planlama, Dizayn ve Hazırlıklar

Araştırma laboratuvar ortamında ve kontrollü şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Deneyde fide ve kök özelliklerinin incelenmesi amacıyla silindirik kaplar içerisine yerleştirilen filtre kâğıtları üzerine tohum ekimlerinin yapıldığı rulo yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemde, ıslatılan her bir filtre kâğıdı üzerine tohumlar yerleştirilmiş, tekrar filtre kâğıdı ile kapatılmış ve üst üste dizilen filtre kâğıtları rulo haline getirilerek solüsyon eklenecek silindirik kap içerisine yerleştirilmiştir.

Deneyde 3 tuzluluk seviyesi (T0: kontrol, T1: 100 mM, T2: 200 mM) ve 4 priming uygulaması (kontrol: hidro-priming, SA: 0.3 mM, GA: 500 mg/L, IAA: 500 mg/L) kullanılmış; çalışma tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 4 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.

Ekim öncesinde mercimek tohumları, yüzey sterilizasyonu için %70 etil alkolde 1 dakika ve ardından %5 sodyum hipokloritte 5 dakika bekletilmiş, sonrasında distile su ile iyice durulanmıştır. Sterilizasyon işlemini takiben tohumlar hazırlanan hormonal çözeltilere daldırılmış ve 6 saat bekletildikten sonra saf su ile yıkanmıştır. Kontrol grubundaki tohumlar ise saf su içerisinde 6 saat bekletilmiş ve ardından kurutulmuştur.

Uygulamaları yapılan tohumlar, her bir filtre kâğıdı üzerine eşit aralıklarla 5'er adet yerleştirilmiş; kenarlarda bulunan tohumlar kenar etkisi nedeniyle değerlendirmeye alınmamıştır. Her bir tekerrür 3 farklı filtre kâğıdının toplamından (9 bitki) oluşturulmuştur. Silindirik kaplar, tohumların çimlenmesine kadar geçen 2–3 günlük süre boyunca oda sıcaklığında ve karanlık ortamda bekletilmiş; daha sonra yapay ışık kaynağı altına alınmış ve su seviyesi azaldıkça ilave yapılmıştır. Çalışma, kapların aydınlık ortama alınmasından itibaren 20. günde tamamlanmıştır.

Araştırma sonunda silindirik kaplardan çıkarılan rulolar dikkatli bir şekilde açılmıştır. Kök sistem mimarisi özelliklerinin belirlenmesi ve kök açılarının bozulmaması amacıyla, bitkiler düz bir zemine yerleştirilmiş ve el tarayıcısı yardımıyla 600 dpi çözünürlükte taranarak kaydedilmiştir. Taranan görüntüler üzerinde kazık kök uzunluğu, lateral kök sayısı ve lateral kök toplam uzunluğu ImageJ programı ile belirlenmiştir [29].

Tarama sonrası bitkiler, kök–sürgün birleşim noktasından kesilmiş; sürgün ve kök yaş ağırlıkları hızlı bir şekilde ölçülmüştür. Ayrıca sürgün uzunluğu metre kullanılarak belirlenmiştir. Sürgün ve kök örnekleri, 68 °C sıcaklıktaki etüvde tamamen kuruyana kadar bekletilmiş ve daha sonra sürgün ile kök kuru ağırlıkları tespit edilmiştir.

2.4. İstatistik Analiz

Çalışma sonucunda elde edilen veriler, JMP (5.0.1) paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalara ait farklılıklar, LSD çoklu karşılaştırma testi ile gruplandırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışmada farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan ve çeşitli hormonlar ile tohuma priming uygulaması gerçekleştirilen mercimek tohumlarında fide ve kök gelişiminin yanında lateral kök oluşumu üzerine etkiler araştırılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, tuz stresi (T), priming uygulamaları (P) ve T×P interaksiyonu bitki boyu üzerine istatistiki açıdan

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

önemli ($p<0.01$) farklılıklar ortaya koymuştur. Artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak bitki boyunun azaldığı tespit edilmiştir. En düşük ve en yüksek bitki boyu sırasıyla 13.4 ve 18.2 cm olarak kaydedilmiş olup 200 mM NaCl uygulanarak oluşturulan tuz stresine bağlı olarak bitki boyu %26.4 oranında azalmıştır. Priming uygulamalarına bakıldığında ise en yüksek bitki boyu (18.6 cm) hidro-priming uygulanan kontrol grubunda ve GA-priming uygulanan tohumlarda (18.0 cm) tespit edilirken en düşük değer (11.8 cm) IAA-priming uygulanan fidelerde belirlenmiştir. T×P interaksiyonuna göre en düşük bitki boyu (6.1 cm) 200 mM NaCl konsantrasyonu altında yetiştirilen ve IAA-priming uygulanan bitkilerde elde edilirken en yüksek bitki boyu (20.8 cm) hidro-priming uygulanan ve strese maruz bırakılmayan fidelerde gözlemlenmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. Farklı tuz stresi ve priming uygulamalarının mercimekte bitki boyu üzerine etkisi

	Kontrol	SA	GA	IAA	Ort.
Kontrol	20,8A	17,8A-C	17,2A-C	17,3A-C	18,2A
T1	20,7A	17,9A-C	18,2AB	12,1D	17,2A
T2	14,6B-C	13,9CD	18,7AB	6,1E	13,4B
Ort.	18,6A	16,5B	18,0AB	11,8C	

F değeri ve önem seviyesi: Tuz: 32,4**; Uygulama: 36,1**; TxU: 9,33**

(**: $p<0.01$)

Çizelge 2'de farklı tuz stresi düzeyleri ve priming uygulamalarının mercimekte kök uzunluğu üzerine etkileri sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, priming uygulamaları (P) ve T×P interaksiyonunun kök uzunluğu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir ($p<0.01$). Farklı tuz konsantrasyonlarına bağlı olarak kök uzunluğunun 8.9-11.1 cm aralığında değiştiği görülmüştür. Priming uygulamaları bakımından en yüksek ortalama kök uzunluğu GA uygulamasında (13,9 cm), bunu SA (12,1 cm) ve kontrol (11,6 cm) uygulamaları izlemiş; en düşük ortalama değer ise IAA uygulamasında (3,4 cm) kaydedilmiştir. T×P interaksiyonu değerlendirildiğinde, en yüksek kök uzunluğu T1 koşullarında GA uygulaması ile elde edilirken (22,6 cm), en düşük değer T2 koşullarında IAA uygulamasında belirlenmiştir (4,9 cm). Bu sonuçlar, kök uzunluğunun tuz stresi ve priming uygulamalarına bağlı olarak anlamlı düzeyde değişkenlik gösterdiğini ortaya koymaktadır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Farklı tuz stresi ve priming uygulamalarının mercimekte kök uzunluğu üzerine etkisi

	Kontrol	SA	GA	IAA	Ort.
Kontrol	13,8B-D	17,9AB	12,6B-E	0,1280G	11,1
T1	6,7D-G	8,6C-F	22,6A	5,1FG	10,8
T2	14,3BC	9,9C-F	6,5E-G	4,9FG	8,9
Ort.	11,6A	12,1A	13,9A	3,4B	

F değeri ve önem seviyesi: Tuz: 2,56öd; Uygulama: 30,10**; TxU: 17,45**

(**: $p<0.01$, öd: Önemli değil)

Çizelge 3'te farklı tuz stresi düzeyleri ve priming uygulamalarının mercimekte sürgün yaş ağırlığı üzerine etkileri sunulmuştur. Bulgular, tuz stresi (T), priming uygulamaları (P) ve T×P interaksiyonunun sürgün yaş ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermektedir ($p<0.01$). Tuz stresi ana etkisi bakımından değerlendirildiğinde, genel ortalama sürgün yaş ağırlığı kontrol koşullarında 0,1260 g iken, T2 düzeyinde 0,0862 g'a düşmüş ve kontrol koşullarına kıyasla yaklaşık %32 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Priming uygulamaları ana etkisi incelendiğinde ise en yüksek ortalama sürgün yaş ağırlığı kontrol uygulamasında 0,1291 g olarak belirlenirken, en düşük değer IAA uygulamasında 0,0748 g

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

olarak kaydedilmiş; buna göre priming uygulamaları arasında sürgün yaş ağırlığında yaklaşık %42 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. T×P interaksiyonu değerlendirildiğinde, en yüksek sürgün yaş ağırlığı T1 koşullarında kontrol ve SA uygulamalarında, en düşük değer ise T2 koşullarında IAA uygulamasında gözlenmiştir. Genel olarak, sürgün yaş ağırlığının hem tuz stresi düzeyine hem de priming uygulamalarına bağlı olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği ortaya konulmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. Farklı tuz stresi ve priming uygulamalarının mercimekte sürgün yaş ağırlığı üzerine etkisi

	Kontrol	SA	GA	IAA	Ort.
Kontrol	0,1371AB	0,1284A-C	0,1275A-C	0,1111B-D	0,1260A
T1	0,1661A	0,1661A	0,1255A-C	0,0651DE	0,1308A
T2	0,0841C-E	0,0821C-E	0,1304A-C	0,0481E	0,0862B
Ort.	0,1291A	0,1257A	0,1278A	0,0748B	

F değeri ve önem seviyesi: Tuz: 22,77**; Uygulama: 19,81**; TxU: 6,90**

(**: $p<0.01$)

Çizelge 4'te farklı tuz stresi düzeyleri ve priming uygulamalarının mercimekte kök yaş ağırlığı üzerine etkileri sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, tuz stresi (T), priming uygulamaları (P) ve T×P interaksiyonunun kök yaş ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermektedir ($p<0.01$). Tuz stresi ana etkisi bakımından değerlendirildiğinde, genel ortalama kök yaş ağırlığı kontrol koşullarında 0,1724 g iken, T2 düzeyinde 0,0715 g'a düşmüş ve kontrol koşullarına kıyasla yaklaşık %59 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Priming uygulamaları ana etkisi incelendiğinde, en yüksek ortalama kök yaş ağırlığı kontrol uygulamasında 0,1625 g olarak belirlenirken, bunu SA (0,1268 g) ve GA (0,1237 g) uygulamaları izlemiş; en düşük ortalama değer ise IAA uygulamasında 0,0906 g olarak kaydedilmiştir. Buna göre, priming uygulamaları arasında kök yaş ağırlığında en yüksek ve en düşük ortalama değerler karşılaştırıldığında yaklaşık %44 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. T×P interaksiyonu değerlendirildiğinde, en yüksek kök yaş ağırlığı tuz uygulanmayan kontrol koşullarında kontrol uygulamasında, en düşük değer ise T2 koşullarında IAA uygulamasında belirlenmiştir. Genel olarak, kök yaş ağırlığının hem tuz stresi düzeyine hem de priming uygulamalarına bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği ortaya konulmuştur (Çizelge 4).

Çizelge 4. Farklı tuz stresi ve priming uygulamalarının mercimekte kök yaş ağırlığı üzerine etkisi

	Kontrol	SA	GA	IAA	Ort.
Kontrol	0,2446A	0,1523BC	0,1511BC	0,1418BC	0,1724A
T1	0,1801B	0,1711B	0,1178B-D	0,0664D	0,1338B
T2	0,06306C	0,0572D	0,1022CD	0,0636D	0715C
Ort.	0,1625A	0,1268B	0,1237B	0,0906C	

F değeri ve önem seviyesi: Tuz: 22,77**; Uygulama: 19,81**; TxU: 6,90**

(**: $p<0.01$)

Çizelge 5'te farklı tuz stresi düzeyleri ve priming uygulamalarının mercimekte sürgün kuru ağırlığı üzerine etkileri sunulmuştur. Elde edilen bulgular, tuz stresi (T), priming uygulamaları (P) ve T×P interaksiyonunun sürgün kuru ağırlığı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermektedir ($p<0.01$). Tuz stresi ana etkisi değerlendirildiğinde, genel ortalama sürgün kuru ağırlığının kontrol koşullarında 0,0203 g olduğu, T1 düzeyinde 0,0248 g'a yükseldiği, ancak T2 düzeyinde 0,0159 g'a düştüğü görülmüştür. Kontrol koşulları ile yüksek tuz stresi (T2) karşılaştırıldığında, sürgün kuru ağırlığında yaklaşık %22 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Priming

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

uygulamaları ana etkisi bakımından incelendiğinde, en yüksek ortalama sürgün kuru ağırlığı GA uygulamasında 0,0231 g olarak belirlenmiş; bunu SA (0,0211 g) ve kontrol (0,0268 g) uygulamaları izlemiştir. En düşük ortalama değer ise IAA uygulamasında 0,0103 g olarak kaydedilmiştir. Buna göre, priming uygulamaları arasında en yüksek ve en düşük ortalama değerler karşılaştırıldığında, sürgün kuru ağırlığında yaklaşık %62 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. T×P interaksiyonu değerlendirildiğinde, en yüksek sürgün kuru ağırlığı T1 koşullarında GA uygulamasında, en düşük değer ise T2 koşullarında IAA uygulamasında belirlenmiştir. Genel olarak, sürgün kuru ağırlığının hem tuz stresi düzeyine hem de priming uygulamalarına bağlı olarak istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar gösterdiği ortaya konulmuştur (Çizelge 5).

Çizelge 5. Farklı tuz stresi ve priming uygulamalarının mercimekte sürgün kuru ağırlığı üzerine etkisi

	Kontrol	SA	GA	IAA	Ort.
Kontrol	0,0325AB	0,0010DE	0,0209A-E	0,0182B-E	0,0203A
T1	0,0321A-C	0,0366A	0,0245A-D	0,009E	0,0248AB
T2	0,0159C-E	0,0170B-E	0,02394A-D	0,0069E	0,0159B
Ort.	0,0268A	0,0211A	0,0231A	0,0103B	

F değeri ve önem seviyesi: Tuz: 6,81**; Uygulama: 13,03**; TxU: 7,38**

(**: $p<0.01$)

Çizelge 6'da farklı tuz stresi düzeyleri ve priming uygulamalarının mercimekte kök kuru ağırlığı üzerine etkileri sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, tuz stresi (T) ve priming uygulamalarının (P) ana etkileri kök kuru ağırlığı açısından istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış (öd), buna karşılık T×P interaksiyonunun istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir ($p<0.01$). Genel ortalamalar incelendiğinde, tuz düzeyleri ve priming uygulamaları arasında ana etkiler bakımından belirgin bir farklılık oluşmadığı görülmüştür. T×P interaksiyonu dikkate alındığında ise kök kuru ağırlığının uygulama kombinasyonlarına bağlı olarak önemli ölçüde değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bu kapsamda, en yüksek kök kuru ağırlığı T2 koşullarında IAA uygulamasında 0,0260 g olarak kaydedilirken, en düşük değer yine T2 koşullarında GA uygulamasında 0,0007 g olarak tespit edilmiştir. Bu bulgular, kök kuru ağırlığının tek başına tuz stresi ya da priming uygulamalarından ziyade, bu iki faktörün birlikte etkisi altında anlamlı farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır (Çizelge 6).

Çizelge 6. Farklı tuz stresi ve priming uygulamalarının mercimekte kök kuru ağırlığı üzerine etkisi

	Kontrol	SA	GA	IAA	Ort.
Kontrol	0,02197AB	0,0077BC	0,0132A-C	0,0122A-C	0,0138
T1	0,0162A-C	0,0155A-C	0,0133A-C	0,0036C	0,0122
T2	0,0087A-C	0,0077BC	0,0007BC	0,0260A	0,0124
Ort.	0,0156	0,0103	0,011	0,014	

F değeri ve önem seviyesi: Tuz: 0,2123öd; Uygulama: 1,2953öd; TxU: 4,9490**

(**: $p<0.01$, öd: Önemli değil)

Çizelge 7'de farklı tuz stresi düzeyleri ve priming uygulamalarının mercimekte lateral kök sayısı üzerine etkileri sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar, tuz stresi (T), priming uygulamaları (P) ve T×P interaksiyonunun lateral kök sayısı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkiler oluşturduğunu göstermektedir ($p<0.01$). Tuz stresi ana etkisi değerlendirildiğinde, genel ortalama lateral kök sayısının kontrol koşullarında 4,6 adet olduğu, T1 düzeyinde 5,1 adet ile en yüksek değere ulaştığı, ancak T2 düzeyinde 3,9 adede düştüğü görülmüştür. Kontrol koşulları ile yüksek tuz stresi (T2) karşılaştırıldığında, lateral kök sayısında yaklaşık %15 oranında bir azalma meydana gelmiştir. Priming uygulamaları ana etkisi bakımından incelendiğinde, en yüksek ortalama lateral kök sayısı GA uygulamasında 6,6 adet olarak belirlenirken, bunu kontrol (5,2 adet) ve SA (4,2 adet) uygulamaları izlemiştir. En düşük ortalama değer ise IAA uygulamasında 2,2 adet olarak kaydedilmiştir. Buna göre, priming

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

uygulamaları arasında en yüksek ve en düşük ortalama değerler karşılaştırıldığında lateral kök sayısında yaklaşık %67 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. T×P interaksiyonu değerlendirildiğinde, en yüksek lateral kök sayısı T1 koşullarında GA uygulamasında (8,0 adet), en düşük değer ise T1 ve T2 koşullarında IAA uygulamasında (1,5 adet) belirlenmiştir. Genel olarak, lateral kök sayısının hem tuz stresi düzeyine hem de priming uygulamalarına bağlı olarak istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar gösterdiği ortaya konulmuştur (Çizelge 7).

Çizelge 7. Farklı tuz stresi ve priming uygulamalarının mercimekte lateral kök sayısı üzerine etkisi

	Kontrol	SA	GA	IAA	Ort.
Kontrol	4,5C-E	2,8EF	7,7AB	3,5D-F	4,6AB
T1	6,5A-C	4,3C-E	8,0A	1,5F	5,1A
T2	4,5C-E	5,5B-D	4,0DE	1,5F	3,9B
Ort.	5,2B	4,2B	6,6A	2,2C	
F değeri ve önem seviyesi: Tuz: 5,25**; Uygulama: 42,47**; TxU: 10,97**					

(**: p<0.01)

Çizelge 8'de farklı tuz stresi düzeyleri ve priming uygulamalarının mercimekte lateral köklerin toplam uzunluğu üzerine etkileri sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, tuz stresi (T) ana etkisinin lateral köklerin toplam uzunluğu üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadığı (öd), buna karşılık priming uygulamalarının (P) %1 önem düzeyinde ve T×P interaksiyonunun %5 önem düzeyinde anlamlı etkiler oluşturduğu belirlenmiştir. Tuz stresi ana etkisi bakımından genel ortalamalar incelendiğinde, kontrol, T1 ve T2 uygulamaları arasında lateral köklerin toplam uzunluğu açısından belirgin bir farklılık oluşmadığı görülmüştür. Priming uygulamalarının ana etkisi değerlendirildiğinde, en yüksek ortalama lateral kök uzunluğu kontrol uygulamasında 20,8 cm olarak kaydedilirken, en düşük ortalama değer IAA uygulamasında 5,3 cm olarak belirlenmiştir. Buna göre, priming uygulamaları arasında lateral köklerin toplam uzunluğunda yaklaşık %75 oranında bir azalma meydana geldiği görülmektedir. T×P interaksiyonu dikkate alındığında, lateral köklerin toplam uzunluğunun uygulama kombinasyonlarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Bu kapsamda, en yüksek değer T2 koşullarında SA uygulamasında (24,1 cm), en düşük değer ise T1 koşullarında IAA uygulamasında (2,8 cm) elde edilmiştir. Genel olarak, lateral köklerin toplam uzunluğunun priming uygulamaları ve tuz × priming etkileşimine bağlı olarak istatistiksel açıdan anlamlı farklılıklar gösterdiği ortaya konulmuştur (Çizelge 8).

Çizelge 8. Farklı tuz stresi ve priming uygulamalarının mercimekte lateral köklerin toplam uzunluğu üzerine etkisi

	Kontrol	SA	GA	IAA	Ort.
Kontrol	25,7A	14,3A-C	17,7AB	7,8BC	16,4
T1	17,7AB	14,7A-C	17,5AB	2,8C	13,2
T2	19,2AB	24,1A	13,9A-C	5,3C	15,6
Ort.	20,8A	17,7A	16,4A	5,3B	
F değeri ve önem seviyesi: Tuz: 1,849öd; Uygulama: 22,54**; TxU: 2,64*					

(*: p<0.05, **: p<0.01, öd: Önemli değil)

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Tuzluluk stresi, bitkilerde yalnızca ozmotik baskı oluşturan bir çevresel faktör değil, aynı zamanda iyon toksisitesi, besin elementi dengesizliği ve oksidatif hasarı birlikte tetikleyen

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

karmaşık bir stres unsurudur. Özellikle Na^+ ve Cl^- iyonlarının hücrelerde birikmesi, K^+ alımını baskılayarak enzimatik süreçlerin bozulmasına ve fotosentetik kapasitenin azalmasına neden olmaktadır [33]. Baklagiller genel olarak tuzluluğa hassas türler arasında yer almakta, erken fide döneminde bu hassasiyet daha belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Mercimekte olduğu gibi kök gelişiminin baskılanması, ilerleyen dönemlerde su ve besin maddesi kullanım etkinliğini de sınırlamaktadır. Munns ve Tester [34], tuzluluğun bitkilerde iki aşamalı etki gösterdiğini; ilk aşamada ozmotik stres, ikinci aşamada ise iyon toksisitesinin büyümeyi kısıtladığını bildirmiştir. Benzer şekilde Tavakkoli ve ark. [35], mercimek ve nohutta tuzluluk koşullarında sürgün/kök dengesinin bozulduğunu ve biyokütle üretiminin ciddi biçimde azaldığını belirtmiştir. Bu durum, çalışmada gözlenen gelişim gerilemelerinin fizyolojik temellerini desteklemektedir.

Hormonal priming uygulamaları, bitkinin stres başlamadan önce savunma sistemlerini aktive etmesi açısından son yıllarda dikkat çeken yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Özellikle gibberellik asit, salisilik asit ve hidropriming uygulamalarının çimlenme enzimlerini aktive ederek daha güçlü başlangıç gelişimi sağladığı bilinmektedir. Salisilik asit, antioksidan enzim sistemlerini uyararak membran stabilitesini korumakta ve reaktif oksijen türlerinin zararını azaltmaktadır [36]. Gibberellik asit ise hücre uzaması, α-amilaz aktivasyonu ve rezerv maddelerin mobilizasyonu üzerinden erken fide gelişimini teşvik etmektedir [37]. Hanif ve ark. [38], farklı tarla bitkilerinde SA uygulamasının tuzluluk altında büyüme gerilemesini azalttığını bildirmiştir. Benzer şekilde Farooq ve ark. [39], priming uygulamalarının stres altındaki tohumlarda daha hızlı ve homojen çıkış sağladığını vurgulamıştır. Buna karşılık bazı hormonların yüksek dozları ya da uygun olmayan uygulama süreleri inhibitör etki gösterebilmekte, özellikle oksin temelli uygulamalarda kök/sürgün dengesini olumsuz etkileyebilmektedir. Dolayısıyla hormonal priming başarısı, hormon tipi kadar doz ve uygulama süresine de bağlıdır.

Tuzluluk × priming interaksiyonlarının önemli bulunması, hormonal uygulamaların yalnızca genel büyümeyi değil, stres koşullarındaki tolerans mekanizmalarını da modüle ettiğini göstermektedir. Nitekim stres düzeyi arttıkça bazı uygulamaların etkisi zayıflarken, bazı uygulamalar koruyucu rol üstlenebilmektedir. Bu durum, priming uygulamalarının çevresel koşullara bağlı olarak farklı fizyolojik yolları aktive ettiğini düşündürmektedir. Shahbaz ve Ashraf [40], hormon temelli ön uygulamaların tuzluluk altında iyon homeostazını düzenleyerek Na^+/K^+ oranını iyileştirdiğini bildirmiştir. Sá ve ark. [41] ise stres altında ön uygulamaların kök mimarisi, antioksidan kapasite ve ozmolit birikimi üzerinde belirgin etkiler oluşturduğunu rapor etmiştir. Çalışmada interaksiyon etkilerinin özellikle kök karakterlerinde belirginleşmesi, mercimekte stres toleransının büyük ölçüde kök sistemi üzerinden şekillendiğini göstermektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak araştırmalarda farklı mercimek genotiplerinde hormon dozu × stres seviyesi kombinasyonlarının moleküler ve fizyolojik düzeyde incelenmesi, üretim sistemleri açısından daha güçlü öneriler geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2209-a programı tarafından 1919B012404137 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[1] Sonnante, G., Hammer, K. and Pignone, D., From the Cradle of Agriculture a Handful of Lentils: History of Domestication, Rendiconti Lincei, 20, 1, 21-37, 2009.

[2] StatPub, World Lentil Production Statistics 2022-2024, http://www.statpub.com (Erişim tarihi: 17.01.2026).

[3] Food and Agriculture Organization (FAO), FAOSTAT Statistical Database, http://www.fao.org/faostat/ (Erişim tarihi: 15.02.2026).

[4] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Bitkisel Üretim İstatistikleri, http://www.tuik.gov.tr (Erişim tarihi: 7.02.2026).

[5] Prashanthi, B., Billa, S.K., Subbaiah, V.P. and Babu, R.M., Impact of saline water on growth, yield, quality, nutrient uptake in various crops: A review, International Journal of Chemical Studies, 8, 2, 2344-2347, 2020.

[6] Kramer, I., Peleg, N. and Mau, Y., Climate change shifts risk of soil salinity and land degradation in water-scarce regions. Agricultural Water Management, 307, 109223, 2025.

[7] Eswar, D., Karuppusamy, R. and Chellamuthu, S., Drivers of soil salinity and their correlation with climate change. Current Opinion in Environmental Sustainability, 50, 310-318, 2021.

[8] Lakhdar, A., Hafsi, C., Rabhi, M., Debez, A., Montemurro, F., Abdelly, C. and Ouerghi, Z., Application of municipal solid waste compost reduces the negative effects of saline water in *Hordeum maritimum* L., Bioresource Technology, 99, 15, 7160-7167, 2008.

[9] Rasool, S., Hameed, A., Azooz, M.M., Siddiqi, T.O. and Ahmad, P., Salt Stress: Causes, Types and Responses of Plants, Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress, Springer, 1-24, 2013.

[10] Yadav, C., Bahuguna, R. N., Dhankher, O. P., Singla-Pareek, S. L. and Pareek, A., Physiological and molecular signatures reveal differential response of rice genotypes to drought and drought combination with heat and salinity stress. Physiology and Molecular Biology of Plants, 28, 4, 899-910, 2022.

[11] Maathuis, F.J.M. ve Amtmann, A., K+ Nutrition and Na+ Toxicity: The Basis of Cellular K+/Na+ Ratios, Annals of Botany, 84, 2, 123-133, 1999.

[12] Bernstein, N. ve Meiri, A., Root Growth under Salinity Stress, In Plant Roots, CRC Press, 1222-1250, 2002.

[13] Niste, M., Vidican, R., Rotar, I., Stoian, V., Pop, R. and Miclea, R., Plant Nutrition Affected by Soil Salinity and Response of Rhizobium Regarding the Nutrients Accumulation. ProEnvironment Promediu, 7, 18, 2014.

[14] Nikolić, N., Ghirardelli, A., Schiavon, M. and Masin, R., Effects of the salinity-temperature interaction on seed germination and early seedling development: a comparative study of crop and weed species. BMC Plant Biology, 23, 1, 446, 2023.

[15] Fita, A., Rodríguez-Burruezo, A., Boscaiu, M., Prohens, J. ve Vicente, O., Breeding and Domesticating Crops Adapted to Drought and Salinity: a new paradigm for increasing food production, Frontiers in Plant Science, 6, 978, 2015.

[16] Wang, W., Vinocur, B. ve Altman, A., Plant Responses to Drought, Salinity and Extreme Temperatures: Towards Genetic Engineering for Stress Tolerance, Planta, 218, 1, 1-14, 2003.

[17] Ali, A., Altaf, M.T., Nadeem, M.A., Karaköy, T., Shah, A.N., Azeem, H. ans Chung, Y.S., Recent advancement in OMICS approaches to enhance abiotic stress tolerance in legumes, Frontiers in Plant Science, 13, 952759, 2022.

[18] Kaya, C., Ak, B.E. and Higgs, D., Calcium Alleviates Salt Stress in Strawberry Plants, Journal of Plant Nutrition, 26, 3, 543-560, 2003.

[19] Tuna, A.L., Kaya, C., Higgs, D., Murillo-Amador, B., Aydemir, S. and Girgin, A.R., Silicon improves salinity tolerance in wheat plants. Environmental and Experimental Botany, 62, 1, 10-16, 2008.

[20] Hasanvand, F. and Nejad, A.R., Effect of potassium silicate on growth, physiological and biochemical characteristics of *Pelargonium graveolens* under salinity stress, Iranian Journal of Horticultural Science, 48, 4, 743-752, 2016.

[21] Tian, S., Guo, R., Zou, X., Zhang, X., Yu, X., Zhan, Y. and Si, T., Priming with the green leaf volatile (Z)-3-hexeny-1-yl acetate enhances salinity stress tolerance in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seedlings, Frontiers in Plant Science, 10, 785, 2019.

[22] Hu, L., Integration of multiple volatile cues into plant defense responses. New Phytologist, 233, 2, 618-623, 2022.

[23] Rhaman, M.S., Imran, S., Karim, M.M., Chakrobortty, J., Mahamud, M.A., Sarker, P. and Hasanuzzaman, M., 5-aminolevulinic acid-mediated plant adaptive responses to abiotic stress, Plant Cell Reports, 40, 8, 1451-1469, 2021.

[24] Akram, N.A. and Ashraf, M., Regulation in plant stress tolerance by a potential plant growth regulator, 5-aminolevulinic acid, Journal of plant growth regulation, 32, 3, 663-679, 2013.

[25] Wang, J., Yan, D., Liu, R., Wang, T., Lian, Y., Lu, Z. and Li, R., The physiological and molecular mechanisms of exogenous melatonin promote the seed germination of maize (*Zea mays* L.) under salt stress, Plants, 13, 15, 2142, 2024.

[26] Ke, Q., Ye, J., Wang, B., Ren, J., Yin, L., Deng, X. and Wang, S., Melatonin mitigates salt stress in wheat seedlings by modulating polyamine metabolism, Frontiers in plant science, 9, 914, 2018.

[27] Liu, J., Shabala, S., Zhang, J., Ma, G., Chen, D., Shabala, L. and Zhao, Q., Melatonin improves rice salinity stress tolerance by NADPH oxidase-dependent control of the plasma membrane K+ transporters and K+ homeostasis, Plant, cell & environment, 43, 11, 2591-2605, 2020.

[28] Pacheco-Villalobos, D. ve Hardtke, C.S., Natural Genetic Variation of Root System Architecture in Plants, Plant Molecular Biology, 367, 1595, 1552-1558, 2012.

[29] Ceritoglu, M., Ceritoglu, F., Erman, M. and Bektas, H. Root system variation of pulse crops at early vegetative stage, Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 48, 4, 2182-2197,

[30] Ye, H., Roorkiwal, M., Valliyodan, B., Zhou, L., Chen, P., Varshney, R. K. and Nguyen, H.T., Genetic diversity of root system architecture in response to drought stress in grain legumes, Journal of Experimental Botany, 69, 13, 3267-3277, 2018.

[31] Bari, R. ve Jones, J.D.G., Role of Plant Hormones in Plant Defence Responses, Plant Molecular Biology, 69, 4, 473-488, 2009.

[32] Aloo, B.N., Dessureault-Rompré, J., Tripathi, V., Nyongesa, B.O. and Were, B.A., Signaling and crosstalk of rhizobacterial and plant hormones that mediate abiotic stress tolerance in plants, Frontiers in Microbiology, 14, 1171104, 2023.

[33] Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K. and Bohnert, H.J., Plant Cellular and Molecular Responses to High Salinity, Annual review of plant biology, 51, 1, 463-499, 2000.

[34] Munns, R. and Tester, M., Mechanisms of Salinity Tolerance, Annual Review of Plant Biology, 59, 651-681, 2008.

[35] Tavakkoli, E., Rengasamy, P. and McDonald, G.K., High Concentrations of Na+ and Cl− Ions in Soil Solution Have Simultaneous Detrimental Effects on Growth of Faba Bean under Salinity Stress, Journal of Experimental Botany, 61, 15, 4449-4459, 2010.

[36] Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M. and Ahmad, A., Effect of Exogenous Salicylic Acid under Changing Environment: A Review, Environmental and Experimental Botany, 68, 1, 14-25, 2010.

[37] Khan, N.A., Nazar, R., Iqbal, N. and Anjum, N.A., Phytohormones and Abiotic Stress Tolerance in Plants, Springer, Berlin, 2012.

[38] Hanif, S., Mahmood, A., Javed, T., Bibi, S., Zia, M. A., Asghar, S. And Ali, B., Exogenous application of salicylic acid ameliorates salinity stress in barley (*Hordeum vulgare* L.). BMC Plant Biology, 24, 1, 270, 2024.

[39] Farooq, M., Basra, S.M.A., Rehman, H. and Saleem, B.A., Seed priming enhances the performance of late sown wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving chilling tolerance, Journal of Agronomy and Crop Science, 194, 1, 55-60, 2006.

[40] Shahbaz, M. and Ashraf, M., Improving Salinity Tolerance in Cereals, Critical Reviews in Plant Sciences, 32, 4, 237-249, 2013.

[41] Sá, F.V.D.S., Brito, M.E., Silva, L.D.A., Moreira, R.C., Paiva, E.P.D. and Souto, L.S., Exogenous application of phytohormones mitigates the effect of salt stress on Carica papaya plants, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 24, 170-175, 2020.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

PROLİN VE GLİSİN BETAİN İLE PRIMING UYGULAMALARININ BORÜLCEDE KURŞUN TOKSİSİTESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi, Mustafa CERİTOĞLU [1*], İrem Sultan ÖZTÖRÜN [2]
[*1] Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarla Bitkileri Bölümü, Siirt, Türkiye,
ceritoglu@siirt.edu.tr - 0000-0002-4138-4579
[2] Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü, Siirt, Türkiye,
irem08476@gmail.com - 0009-0008-4786-9201

ÖZET
Bu çalışma, prolin ve glisin betain ile priming uygulamalarının börülcede (*Vigna unguiculata*) kurşun (Pb) toksisitesi üzerine etkilerini incelemek amacıyla yürütülmüştür. Çalışma Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümündeki iklim odasında 2025 yılında gerçekleştirilmiştir, Araştırmada 3 Pb dozu (0, 2 ve 4 mM) ile beş uygulama (kontrol, 50 ve 100 mM glisin betain, 10 ve 20 mM prolin) tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Pb dozunun bitki boyu üzerine etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğunu, buna karşın uygulamaların önemli etkiler oluşturduğunu göstermiştir. En yüksek bitki boyu 100 mM glisin betain uygulamasında 28.08 cm olarak belirlenmiş ve bu değer kontrol grubuna (24.89 cm) göre yaklaşık %12.7 oranında artış göstermiştir. Kök uzunluğu 50 mM glisin betain uygulamasında 16.68 cm ile en yüksek değere ulaşmış ve kontrol grubuna (16.13 cm) göre %3.4 artış sağlamıştır. Sürgün yaş ağırlığı %4.3 oranında artarak 18.14 g'dan 18.92 g'a yükselmiş ve bu artış 50 mM glisin betain uygulamasında belirlenmiştir. Kök yaş ağırlığı 50 mM glisin betain ile %57.9 oranında artarak 2.52 g'dan 3.98 g'a yükselmiştir. Farklı Pb konsantrasyonları ve priming uygulamaları erken dönemde toplam klorofil içeriği üzerine istatistiki açıdan önemli bir farklılık oluşturmamıştır. Sonuç olarak, börülcede kurşun stresine karşı 50 mM glisin ile priming uygulaması faydalı sonuçlar ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Börülce, kurşun toksisitesi, glisin betain, prolin, priming

ABSTRACT
This study investigated effects of priming applications with proline and glycine betaine on lead (Pb) toxicity in cowpea (*Vigna unguiculata*). The experiment was carried out in 2025 in the climate chamber of Field Crops Department, Faculty of Agriculture, Siirt University. The study was arranged in a completely randomized factorial design with three Pb doses (0, 2, and 4 mM) and five treatments (control, 50 and 100 mM glycine betaine, 10 and 20 mM proline). The results indicated that the effect of Pb dose on plant height was statistically non-significant, whereas treatments produced significant effects. The highest plant height was recorded in the 100 mM glycine betaine treatment with 28.08 cm, representing an increase of approximately 12.7% compared with the control group (24.89 cm). Root length reached its maximum value of 16.68 cm under 50 mM glycine betaine, corresponding to a 3.4% increase relative to the control (16.13 cm). Shoot fresh weight increased by 4.3%, rising from 18.14 g to 18.92 g, and this increase was observed under the 50 mM glycine betaine treatment. Root fresh weight increased by 57.9% with 50 mM glycine betaine, rising from 2.52 g to 3.98 g. Different Pb concentrations and priming applications did not cause a statistically significant difference in total chlorophyll content during early growth stage. In conclusion, priming with 50 mM glycine betaine produced beneficial results against lead stress in cowpea.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: Lentil, salinity stress, hormonal priming, root architecture, gibberellic acid

1. GİRİŞ

Hızla gelişen endüstrileşme, artan dünya nüfusu, kırsal alanlardan kent merkezlerine göçün plansız ve kontrolsüz olarak gerçekleşmesi, yoğun bir şekilde kullanılan sentetik gübre ve pestisit kullanımı, kırsal alanların kentleşme eğilimi göstermeye başlaması ekilebilir tarım alanlarının azalmasına ve çevre kirliliğinin artmasına yol açmaktadır [1]. Endüstri devrimi ile birlikte sanayileşme olgusunun dünya çapında gelişmesi, yeşil devrim ile başlayan tarımda kimyasal gübre ve pestisit kullanımı ve belediye atıklarının (arıtma çamuru gibi) zararlı etkileri ve egzoz gazları toprak ve hava kirlenmesine neden olan faktörlerin başında gelmektedir [2,3]. Zhao ve ark. [4]'nın yürüttüğü bir çalışmanın sonuçlarına göre, Avrupa kıtasında çok sayıda farklı lokaliteden alınan toprak örneklerinin metal toksisitesinden etkilendiği, Çin'deki tarımsal toprakların %19'unun ise zararlı metal kirleticileri bünyesinde bulundurduğu tespit edilmiştir. Ağır metal ile kontamine olmuş ve canlı sağlığının yanında tarımsal üretimi de olumsuz yönde etkileyen topraklar sadece dünyanın diğer coğrafyalarında değil ülkemizde de tehditkâr boyutlara ulaşmaktadır. Farklı şehirlerde toprak ve bitki dokuları üzerinde yapılan araştırmalar özellikle yoğun fosil yakıt kullanımı, gelişmiş endüstrileşme, kimyasal gübre ve pestisit kullanımına bağlı olarak kontaminasyonun arttığını göstermektedir [5-9]. Yaylalı-Abanuz [5], gerçekleştirdiği çalışmada Gebze topraklarındaki kontaminasyonu etkileyen ağır metalleri tespit etmiş ve çalışma sonucuna göre en yüksek toksisiteye sebep olan elementin %53.44 ile Cd ve takiben %17.54 ile Pb olduğunu belirlemiştir.

Şekerlerin yanı sıra prolin, glisin betain veya poliaminler gibi uyumlu moleküller, stres sırasında bitkilerde üretilen ozmoprotektanlar olarak kabul edilir. Bunlar nötr yüklü, düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir ve stres sırasında hücre zarlarının ve proteinlerin stabilizasyonu ve korunması için önemli roller oynarlar [10,11]. Uyumlu bileşikler genel olarak amino asitler (prolin, arginin, fenilalanin, melanin, glisin vb.), şekerler (sukroz, glukoz, trehaloz) ve poliaminler olarak sınıflandırılabilir. Bu ozmoprotektanların da sinyal mekanizmalarında yer aldığı düşünülmektedir ve nihayetinde lignin, suberin, fitoaleksinler ve diğer yapısal savunma ile ilgili bileşiklerin üretiminde yer alan tolerans veya direnç mekanizmaları ile ilişkilidirler. Osmolitler, genel olarak, sıvı homeostazının korunmasında önemli roller oynayan bir hücre içindeki çözünebilir bileşikler olarak kabul edilir [12]. Ekin bitkilerinde en çok çalışılan ozmoprotektanlardan biri, iyon homeostazı ve redoks dengesinin düzenlenmesinde rol oynayan prolindir [13]. Prolin ve indirgeyici veya indirgeyici olmayan şekerler, stres koşullarında glisin betainin aksine hücrelerde bol miktarda bulunur [14]. Örneğin, şekerler soğuk stresi sırasında birikir ve Arabidopsis, domates, biber, petunya vb. dahil olmak üzere birçok bitkinin yapraklarında sıklıkla gözlenir [15]. Glikoz veya fruktoz gibi şekerler, enerji pahasına stres altındaki bitki hücrelerinde ozmotik dengeyi düzenlemek için apoplasttan sitozole taşınabilir [12]. Genel olarak, hassas bitki genotipleri stres altında toleranslı genotiplere kıyasla düşük konsantrasyonlarda daha az ozmoprotektan biriktirir. Bu açıdan bakıldığında, stresle ilgili tepkilerin olumsuz etkilerini önlemek veya azaltmak için birikim yapmayan veya düşük birikimli bitkilere ozmoprotektanlar uygulamak makul olabilir [16]. Ozmotik düzenlemenin yanı sıra, ozmoprotektanların serbest radikalleri temizleme [17], ozmotik stresle ilgili genleri

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

tetikleme ve proteinlerin ve hücre zarlarının stabilizasyonu gibi başka rolleri de vardır [18]. Ayrıca yaprak turgorunu sürdürür ve klorofilin biyolojik olarak parçalanmasını engeller.

Glisin betain birikimi çoğunlukla su stresine veya kuraklığa bir yanıt olarak ortaya çıkar ve bu birikim ozmotik düzenlemeyi ayarlayarak ve fotosentetik verimliliği sürdürerek tilakoid membranı korumak için esas olarak kloroplast içinde gerçekleşir. Glisin betain, stres koşulları altında bitkilerde diğer ozmoprotektanlarla birlikte yaygın olarak birikir. Düşük moleküler ağırlıklı bir organik metabolit olarak, abiyotik stres faktörlerine karşı önemli bir role sahip olabilir [19]. Birçok kuaterner amonyum bileşiği arasında glisin betain genellikle tuzluluk ve su stresi koşulları altında karakterize edilir. Glisin betain, tilakoid membranların korunması için kloroplastta sentezlenir; bu nedenle fotosentetik verimliliğin korunmasına yardımcı olur [20]. Kolin ve glisin gibi iki substrat kullanılarak iki farklı yolla sentezlenir [21]. Uyumlu bir çözünen olarak suda kolayca çözünür ve yüksek konsantrasyonlarda herhangi bir toksisite göstermez [22]. Bitkilerdeki ana rolü, proteinlerin stabilizasyonu, ozmotik ayarlama ve ROS'un detoksifikasyonu yoluyla bitki hücrelerinin korunmasıdır [19]. Birçok araştırmacı, düşük konsantrasyonlardaki GB'nin, enerji kaynağı olarak kullanılmak üzere nitrojen ve karbon bakımından zengin olan nükleik asitler, proteinler ve lipitler dahil olmak üzere makromolekülleri koruyabildiğini öne sürmüştür [23]. Glisin betaindeki artışlar, lipid peroksidasyonu ve iyon homeostaz yolunun düzenlenmesinden sonra hücre zarı hasarının azaltılmasının yanı sıra CAT ve SOD aktivitelerinin artması yoluyla stres toleransı ile de ilişkilendirilebilir [24]. Glisin betainin eksojen uygulaması da çeşitli stresler altındaki mahsul bitkilerine yaygın olarak uygulanmıştır. Park ve ark. [25] yapraktan uygulandığında bitkilerin glisin betaini kolayca aldığını belirtmiştir. Glisin betain, ROS'un temizlenmesi ile doğrudan ilişkili olmasa da, antioksidan enzimlerin artışına katkıda bulunur ve muhtemelen indirgeyici bir ajan olarak hareket ederek ROS üretimini azaltır. Lavanya ve Amruthesh [26], GB uygulamasının Sclerospora graminicola'nın neden olduğu tüylü küf patojen enfeksiyonu sırasında inci darısının (*Pennisetum glaucum* L.) konak savunma tepkilerini aktive ettiğini bildirmiştir. 6 saat boyunca 30 mg ml^{-1} konsantrasyonda GB uygulaması tohum çimlenmesini ve fide canlılığını önemli ölçüde artırmış, sporangial sporülasyonu, zoospor salınımını ve hareketliliği engellemiştir. Yazarlar, glisin betain ile tohum uygulamasının hastalık insidansını azaltmak için yaprak uygulamasından daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada farklı konsantrasyonlarda glisin betain ve prolinin börülce tohumlarına ön uygulamasının (priming) kurşun toksisitesi ve bitki gelişimi üzerine etkileri incelenecektir. Glisin betain ve pirolin uygulamalarının farklı bitki gruplarında ve stres faktörlerinde etkili sonuçlar ortaya koyduğu bilinmektedir. Resheed ve ark. [27] prolin ve glisin betain uygulamalarının buğday genotiplerinde kadmiyum stresini azalttığını bildirmişlerdir. Hossain ve ark. [28] prolin ve glisin betain uygulamalarının bitkilerde kadmiyum stresini ozmotik stresi kontrol altına alarak azalttığını kaydetmişlerdir. Hossain ve ark. [29] maş fasulyesinde kadmiyum stresinin dışarıdan glisin betain ve prolin uygulamaları ile iyileştirildiğini rapor etmişlerdir. Bu çalışmanın amacı börülce bitkisinde kurşun toksisitesi üzerine prolin ve glisin betain ile priming uygulamalarının etkisinin incelenmesidir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırma Yerinin Özellikleri

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Araştırma, Siirt Üniversitesi Ziraat Fakültesi'ne ait tarla bitkileri iklim odasında yürütülmüştür.

2.2. Deneysel Materyal

Araştırmada Karagöz-86 börülce çeşidi kullanılmış ve tohumlar üretici firmadan temin edilmiştir. Tohuma priming uygulamalarında prolin ($C_5H_9NO_2$) ve glisin betain ($C_5H_{11}NO_2$) kullanılmıştır. Yapay kurşun toksisitesinin oluşturulmasında kurşun nitrat ($Pb(NO_3)_2$) materyalinden yararlanılmıştır.

2.3. Deneysel Planlama, Dizayn ve Hazırlıklar

Çalışma, yapay olarak ışıklandırılan ve kontrollü koşullara sahip iklim odasında gerçekleştirilmiştir. İklim odasında sıcaklık 16–24 °C arasında tutulmuş, ışıklı:karanlık periyot 16:8 olarak ayarlanmıştır. Yapay ışıklandırma altında ortamdaki ışık yoğunluğu 500 µmol m^{-2} s^{-1} olarak ölçülmüştür. Çalışmada 2 litre hacimli saksılar kullanılmış ve saksılar hacimce 3:1 oranında torf–perlit karışımı ile doldurulmuştur.
Araştırmada 5 uygulama (K: Kontrol, G1: 50 mM glisin betain, G2: 100 mM glisin betain, P1: 10 mM prolin, P2: 20 mM prolin) ve 3 kurşun kontaminasyon seviyesi (Pb0: kurşun yok, Pb1: 2 mM, Pb2: 4 mM) kullanılmıştır. Kontrol tohumlarına hidro-priming uygulanmıştır. Glisin betain ve prolin ile priming uygulamaları 12 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. Priming süresi ve solüsyon konsantrasyonları önceki çalışmalara dayanılarak belirlenmiştir [30,31]. Deneme, tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür.
Ekimden önce börülce tohumları %70 etil alkolde 1 dakika ve ardından %10 sodyum hipokloritte 5 dakika bekletilerek yüzey sterilizasyonu yapılmış, daha sonra tohumlar distile su ile iyice durulanmıştır. Sterilizasyon sonrasında yüzey neminin uzaklaştırılması amacıyla steril filtre kâğıtları ile tohumlar kurulanmıştır. Saksılar musluk suyu veya hazırlanan Pb çözeltileri ile %80 tarla kapasitesine göre nemlendirilmiştir. Ertesi gün ekimler 3–4 cm derinliğe yapılmıştır. Her saksıya 8 adet tohum ekilmiş, çıkış tamamlandıktan sonra her saksıda 4 bitki kalacak şekilde seyreltme işlemi uygulanmıştır. Saksılar haftalık olarak eşit miktarda çözelti ile sulanmaya devam edilmiştir. Çalışma, seyreltme işleminden itibaren 30 gün sonra sonlandırılmıştır.
Çalışmanın son gününde bitkilerde SPAD cihazı ile yapraktaki toplam klorofil içeriği belirlenmiştir. Ölçümler, bitkilerin en üstteki 3 yaprağından alınan değerlerin ortalamasıyla hesaplanmıştır. Ardından bitkiler dikkatli şekilde saksılardan çıkarılmış, topraktan arındırılarak yıkanmıştır. Kök boğazından kesilen bitkiler yüzey suyunun uzaklaştırılmasının ardından hızla tartılarak kök yaş ağırlığı ve sürgün yaş ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra bitki boyu ve kök uzunluğu metre yardımıyla ölçülmüştür. Kök ve sürgün örnekleri, 68 °C sıcaklıktaki etüvde ağırlık değişimi durana kadar kurutulmuş ve ardından kök kuru ağırlıkları ile sürgün kuru ağırlıkları kaydedilmiştir.

2.4. İstatistik Analiz

Çalışma sonucunda elde edilen veriler, JMP (5.0.1) paket programı kullanılarak varyans analizine tabi tutulmuştur. Ortalamalara ait farklılıklar, LSD çoklu karşılaştırma testi ile gruplandırılmıştır.

3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Farklı Pb konsantrasyonları altında yetiştirilen börülce bitkisinde prolin ve glisin betain uygulamalarının bitki boyu üzerine etkileri Tablo 1'de sunulmuştur. Pb dozunun bitki boyu

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Buna karşılık, uygulamaların etkisi $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Pb×U interaksiyonu ise istatistiksel olarak önemsizdir. Bu durum, uygulamaların bitki boyu üzerindeki etkisinin Pb düzeylerinden bağımsız olarak ortaya çıktığını göstermektedir. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, en yüksek bitki boyu 28.08 cm ile 100 mM glisin betain uygulamasında elde edilmiştir. Bu değer, kontrol uygulamasına (24.89 cm) kıyasla yaklaşık %12.7 oranında artış sağlamıştır. Buna karşılık en düşük bitki boyu 20.74 cm ile 20 mM prolin uygulamasında belirlenmiş olup, bu değer kontrol grubuna göre yaklaşık %16.7 daha düşüktür. Genel olarak sonuçlar, 100 mM glisin betain uygulamasının bitki boyunu artırıcı etki gösterdiğini, 20 mM ve üzeri prolin konsantrasyonlarının ise büyümeyi baskılayabildiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 1. Farklı Pb dozları altında prolin ve glisin betain uygulamalarının bitki boyu üzerine etkisi

	PB0	PB1	PB2	Uygulama Ort.
Kontrol	22.93	27.43	24.3	24.89ab
Prolin1	25.27	23.4	21.23	25.50 ab
Prolin2	24.73	21.23	21.53	20.74 b
Betain1	23.23	28.73	25.3	25.76 ab
Betain2	19.47	30.73	28.77	28.08 a
Pb Ort.	23.13	26.31	25.55	

F değeri/Önem seviyesi: Pb: 2.927 öd, U: 4.453 **, Pb×U: 0.786 öd

(Betain1: 50 mM glisin betain, Betain2: 100 mM glisin betain, Prolin1: 10 mM prolin, Prolin2: 20 mM prolin, Pb0: Kurşun yok, Pb1: 2 mM $Pb(NO_3)_2$, Pb2: 4 mM $Pb(NO_3)_2$)

Farklı Pb konsantrasyonları altında yetiştirilen börülce bitkisinde prolin ve glisin betain uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkileri Tablo 2'de verilmiştir. Pb ve Pb×U interaksiyonunun kök uzunluğu üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Uygulamaların ana etkisi ise $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Bu sonuç, uygulamaların kök gelişimi üzerindeki etkisinin Pb dozlarından bağımsız olarak ortaya çıktığını göstermektedir. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, en yüksek kök uzunluğu 16.68 cm ile 50 mM glisin betain uygulamasında elde edilmiştir. Bu değer, kontrol uygulamasına (16.13 cm) göre yaklaşık %3.4 oranında artış sağlamıştır. En düşük kök uzunluğu ise 10.97 cm ile 20 mM prolin uygulamasında belirlenmiş olup, bu değer kontrol grubuna göre yaklaşık %32.0 daha düşüktür. Genel olarak sonuçlar, özellikle 50 mM glisin betain uygulamasının kök gelişimini desteklediğini, yüksek doz prolin uygulamasının ise kök büyümesini baskılayabildiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 2. Farklı Pb dozları altında prolin ve glisin betain uygulamalarının kök uzunluğu üzerine etkisi

	PB0	PB1	PB2	Uygulama Ort.
Kontrol	16.83	17.40	14.16	16.13 A
Prolin1	9.83	12.16	11.56	11.19 B
Prolin2	12.66	9.86	10.40	10.97 B
Betain1	17.80	16.70	15.53	16.68 A
Betain2	18.63	14.86	12.80	15.43 A
Pb Ort.	15.15	14.20	12.89	

F değeri/Önem seviyesi: Pb: 2.376öd, U: 8.521**, Pb×U: 0.946öd

(Betain1: 50 mM glisin betain, Betain2: 100 mM glisin betain, Prolin1: 10 mM prolin, Prolin2: 20 mM prolin, Pb0: Kurşun yok, Pb1: 2 mM $Pb(NO_3)_2$, Pb2: 4 mM $Pb(NO_3)_2$)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Farklı Pb dozları altında yetiştirilen börülce bitkisinde prolin ve glisin betain uygulamalarının sürgün yaş ağırlığı üzerine etkileri Tablo 3'te sunulmuştur. Pb ve Pb×U interaksiyonu sürgün yaş ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Uygulamaların ana etkisi ise $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, en yüksek sürgün yaş ağırlığı 18.92 g ile 50 mM glisin betain uygulamasında belirlenmiştir. Bu değer, kontrol uygulamasına (18.14 g) göre yaklaşık %4.3 oranında artış sağlamıştır. 100 mM glisin betain uygulaması da 18.30 g ile kontrol grubuna oldukça yakın değer göstermiştir. En düşük sürgün yaş ağırlığı ise 14.46 g ile 20 mM prolin uygulamasında belirlenmiş olup, bu değer kontrol grubuna göre yaklaşık %20.3 oranında azalış göstermiştir. Genel olarak sonuçlar, özellikle 50 mM glisin betain uygulamasının sürgün gelişimini desteklediğini, yüksek doz prolin uygulamasının ise biyokütle artışını sınırlandırdığını ortaya koymaktadır.

Tablo 3. Farklı Pb dozları altında prolin ve glisin betain uygulamalarının sürgün yaş ağırlığı üzerine etkisi

	PB0	PB1	PB2	Uygulama Ort.
Kontrol	16.06	18.51	19.86	18.14 AB
Prolin1	14.23	15.74	13.47	14.48 B
Prolin2	15.47	13	15.45	14.64 B
Betain1	20.44	16.57	16.94	18.92 A
Betain2	20.2	17.75	19.76	18.30 AB
Pb Ort.	17.28	16.31	17.1	

F değeri/Önem seviyesi: Pb: 0.496öd, U: 5.241**, Pb×U: 1.324öd

(Betain1: 50 mM glisin betain, Betain2: 100 mM glisin betain, Prolin1: 10 mM prolin, Prolin2: 20 mM prolin, Pb0: Kurşun yok, Pb1: 2 mM $Pb(NO_3)_2$, Pb2: 4 mM $Pb(NO_3)_2$)

Farklı Pb dozları altında yetiştirilen börülce bitkisinde prolin ve glisin betain uygulamalarının kök yaş ağırlığı üzerine etkileri Tablo 4'te verilmiştir. Pb dozu ve Pb×U interaksiyonunun kök yaş ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Buna karşılık uygulamaların ana etkisi $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur (**).Uygulama ortalamaları incelendiğinde, en yüksek kök yaş ağırlığı 3.98 g ile 50 mM glisin betain uygulamasında belirlenmiştir. Bu değer, kontrol uygulamasına (2.52 g) göre yaklaşık %57.9 oranında artış sağlamıştır. 100 mM glisin betain uygulaması da 3.78 g ile kontrol grubuna göre yaklaşık %50.0 artış göstermiştir. En düşük kök yaş ağırlığı ise 2.24 g ile 20 mM prolin uygulamasında belirlenmiş olup, bu değer kontrol grubuna göre yaklaşık %11.1 oranında azalış göstermiştir. Genel olarak sonuçlar, özellikle glisin betain uygulamalarının kök biyokütlesini belirgin şekilde artırdığını; yüksek doz prolin uygulamasının ise kök gelişimini sınırlayabildiğini ortaya koymaktadır.

Tablo 4. Farklı Pb dozları altında prolin ve glisin betain uygulamalarının kök yaş ağırlığı üzerine etkisi

	PB0	PB1	PB2	Uygulama Ort.
Kontrol	3.13	1.96	2.47	2.52 BC
Prolin1	2.55	2.63	2.80	2.66BC
Prolin2	3.00	1.81	1.90	2.24C
Betain1	4.21	3.39	4.33	3.98 A
Betain2	4.06	4.24	3.00	3.78 AB
Pb Ort.	2.39	2.81	2.90	

F değeri/Önem seviyesi: Pb: 1.746öd, U: 6.604**, Pb×U: 0.913öd

(Betain1: 50 mM glisin betain, Betain2: 100 mM glisin betain, Prolin1: 10 mM prolin, Prolin2: 20 mM prolin, Pb0: Kurşun yok, Pb1: 2 mM $Pb(NO_3)_2$, Pb2: 4 mM $Pb(NO_3)_2$)

Farklı Pb dozları altında yetiştirilen börülce bitkisinde prolin ve glisin betain uygulamalarının sürgün kuru ağırlığı üzerine etkileri Tablo 5'te sunulmuştur. Varyans analizi sonuçlarına göre, Pb dozunun, uygulamaların ve Pb×U interaksiyonunun sürgün kuru ağırlığı üzerine etkisi istatistiksel olarak önemsiz bulunmuştur. Bu sonuç, sürgün

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

kuru madde birikiminin hem Pb düzeylerinden hem de osmoprotektan uygulamalarından anlamlı düzeyde etkilenmediğini göstermektedir. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, en yüksek sürgün kuru ağırlığı 2.9767 g ile 20 mM prolin uygulamasında elde edilmiştir. En düşük değer ise 1.7278 g ile 10 mM prolin uygulamasında belirlenmiş olup, bu değer kontrol grubuna göre yaklaşık %35.1 oranında azalış göstermiştir.

Tablo 5. Farklı Pb dozları altında prolin ve glisin betain uygulamalarının sürgün kuru ağırlığı üzerine etkisi

	PB0	PB1	PB2	Uygulama Ort.
Kontrol	2.4483	2.8113	2.7230	2.6609
Prolin1	1.8213	1.8093	1.5527	1.7278
Prolin2	1.7063	2.8283	4.3953	2.9767
Betain1	1.8960	2.0013	2.7500	2.2158
Betain2	3.8960	1.4227	2.9650	2.7612
Pb Ort.	2.3536	2.1746	2.8782	

F değeri/Önem seviyesi: Pb: 0.881öd, U: 0.985öd, Pb×U: 0.989öd

(Betain1: 50 mM glisin betain, Betain2: 100 mM glisin betain, Prolin1: 10 mM prolin, Prolin2: 20 mM prolin, Pb0: Kurşun yok, Pb1: 2 mM $Pb(NO_3)_2$, Pb2: 4 mM $Pb(NO_3)_2$)

Farklı Pb dozları altında yetiştirilen börülce bitkisinde prolin ve glisin betain uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkileri Tablo 6'da verilmiştir. Pb dozunun kök kuru ağırlığı üzerine etkisi $p < 0.05$ düzeyinde, uygulamaların etkisi ise $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Buna karşın, Pb×U interaksiyonu istatistiksel olarak önemsizdir. Bu sonuç, kök kuru madde birikiminin Pb düzeylerinden ve yapraktan osmoprotektan uygulamalardan etkilendiğini, ancak birbirine bağlı anlamlı bir değişim göstermediğini ortaya koymaktadır. Pb konsantrasyonlarına bağlı olarak en düşük kök kuru ağırlığı kontrol (0.3083 g) ve PB2 (0.4219 g) uygulamalarından elde edilmiş ve aynı istatistiksel grup içerisinde yer almıştır. Pb1 grubu ise daha yüksek kök kuru ağırlığı (0.6839 g) ortaya koymuştur. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, en yüksek kök kuru ağırlığı 0.7326 g ile 10 mM prolin uygulamasında belirlenmiştir. Bu değer, kontrol grubuna (0.2980 g) göre yaklaşık %146 oranında artış sağlamıştır. En düşük değer ise 0.2980 g ile kontrol bitkilerinde elde edilmiştir.

Tablo 6. Farklı Pb dozları altında prolin ve glisin betain uygulamalarının kök kuru ağırlığı üzerine etkisi

	PB0	PB1	PB2	Uygulama Ort.
Kontrol	0.3150	0.3220	0.2570	0.2980 B
Prolin1	0.4743	0.2613	0.3707	0.3688 B
Prolin2	0.9270	0.4000	0.1693	0.4988 AB
Betain1	0.5067	0.4133	0.4560	0.4587 AB
Betain2	1.1967	0.7127	0.2883	0.7326 A
Pb Ort.	0.6839 A	0.4219 B	0.3083 B	

F değeri/Önem seviyesi: Pb: 8.447**, U: 3.745*, Pb×U: 2.123öd

(Betain1: 50 mM glisin betain, Betain2: 100 mM glisin betain, Prolin1: 10 mM prolin, Prolin2: 20 mM prolin, Pb0: Kurşun yok, Pb1: 2 mM $Pb(NO_3)_2$, Pb2: 4 mM $Pb(NO_3)_2$)

Farklı Pb dozları altında yetiştirilen börülce bitkisinde prolin ve glisin betain uygulamalarının toplam klorofil (SPAD) değeri üzerine etkileri Tablo 7'de verilmiştir. Pb dozunun ve yaoraktan uygulamaların toplam klorofil içeriği üzerine etkisi $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunurken Pb×U interaksiyonunun etkisi $p<0.05$ düzeyinde tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, hem Pb düzeylerinin hem de uygulamaların klorofil içeriğini etkilediğini ve uygulamaların Pb dozlarına bağlı olarak farklı tepkiler verdiğini göstermektedir. Pb doz ortalamaları değerlendirildiğinde, en yüksek SPAD değeri Pb_0 düzeyinde (%48.3), en düşük değer ise Pb_2 düzeyinde (%39.8) belirlenmiştir. Uygulama ortalamaları incelendiğinde, en yüksek toplam klorofil değeri %48.7 ile 100 mM glisin betain uygulamasında belirlenmiştir. Bu değer, kontrol grubuna (%45.3) göre

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

yaklaşık %7.5 oranında artış sağlamıştır. En düşük değer ise %40.4 ile 20 mM prolin uygulamasında elde edilmiş olup, kontrol grubuna göre yaklaşık %10.8 oranında azalış göstermiştir. Pb×U interaksiyonuna göre ise, en düşük değer (%35.2) 4 mM Pb konsantrasyonu altında yetiştirilen ve 20 mM prolin uygulanan bitkilerde gözlemlenirken en yüksek SPAD değeri (%53.8) 2 mM Pb konsantrasyonu altında yetiştirilen ve 10 mM prolin uygulanan bitkilerde tespit edilmiştir.

Tablo 7. Farklı Pb dozları altında prolin ve glisin betain uygulamalarının toplam klorofil (SPAD) üzerine etkisi

	PB0	PB1	PB2	Uygulama Ort.
Kontrol	48.6 ab	48.2 ab	39.1 b	45.3 AB
Prolin1	47.2 ab	36.2 b	40.1 ab	41.2 B
Prolin2	49.3 ab	36.6 b	35.2 b	40.4 B
Betain1	47.6 ab	53.8 a	40.9 ab	44.6 AB
Betain2	48.8 ab	45.3 ab	43.6 ab	48.7 A
Pb Ort.	48.3 A	44.0 AB	39.8 B	

F değeri/Önem seviyesi: Pb: 11.902**, U: 4.491**, Pb×U: 2.192*

(Betain1: 50 mM glisin betain, Betain2: 100 mM glisin betain, Prolin1: 10 mM prolin, Prolin2: 20 mM prolin, Pb0: Kurşun yok, Pb1: 2 mM $Pb(NO_3)_2$, Pb2: 4 mM $Pb(NO_3)_2$)

4. GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

Kurşun (Pb), bitkilerde büyüme ve gelişmeyi sınırlandıran, özellikle kök sistemi üzerinden toksik etkiler gösteren önemli bir ağır metaldir. Pb stresinin hücre bölünmesini baskıladığı, kök uzamasını sınırlandırdığı, su ve besin elementi alımını azalttığı, ayrıca reaktif oksijen türlerinin (ROS) birikimine neden olarak membran bütünlüğünü bozduğu bildirilmektedir [9,13]. Özellikle baklagillerde Pb birikiminin köklerde daha yoğun olduğu ve sürgün organlarına taşınımının nispeten sınırlı kaldığı ifade edilmektedir. Bu çalışmada Pb dozlarının bitki boyu, kök uzunluğu, sürgün yaş ağırlığı ve kök yaş ağırlığı üzerine istatistiksel olarak önemli etki oluşturmaması, börülcenin erken fide döneminde Pb stresine karşı belirli bir tolerans kapasitesine sahip olabileceğini düşündürmektedir. Bununla birlikte toplam klorofil (SPAD) değerinin Pb artışıyla azalması, fotosentetik aparatın Pb toksisitesinden etkilendiğini göstermektedir. Benzer şekilde Zhao ve ark. [4], ağır metal kirliliğinin bitkilerde öncelikle fizyolojik süreçleri baskıladığını, morfolojik etkilerin ise daha ileri stres düzeylerinde belirginleştiğini bildirmiştir. Bu nedenle mevcut çalışmada morfolojik parametrelerde sınırlı, klorofil düzeyinde ise daha net etkilerin gözlenmesi literatürle uyumludur.

Prolin ve glisin betain ile yapılan priming uygulamaları, bitkilerde stres toleransını artıran yaygın yaklaşımlar arasında yer almaktadır. Prolin; ozmotik düzenleme, serbest radikal temizleme ve protein stabilizasyonunda rol oynarken [17], glisin betain özellikle kloroplast zarlarının korunması, enzim aktivitesinin sürdürülmesi ve fotosentezin devamlılığı açısından önem taşımaktadır [19,20]. Bu çalışmada özellikle 50 mM glisin betain uygulamasının bitki boyu, kök uzunluğu, sürgün yaş ağırlığı ve kök yaş ağırlığında en iyi sonuçları vermesi, glisin betainin börülcede Pb stresine karşı daha etkili bir koruma mekanizması oluşturduğunu göstermektedir. Rasheed ve ark. [27], buğdayda glisin betain ve prolin uygulamalarının kadmiyum stresini hafiflettiğini; Hossain ve ark. [28] ise bu bileşiklerin antioksidan sistemi güçlendirerek ağır metal stresini azalttığını bildirmiştir. Buna karşın mevcut çalışmada yüksek doz prolin uygulamalarının bazı özelliklerde gerilemeye yol açması, prolinin optimum doz aralığında yararlı, yüksek konsantrasyonlarda ise metabolik yük oluşturabileceğini

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

düşündürmektedir. Bu durum, osmoprotektanların etkisinin tür, gelişme dönemi ve doz düzeyine bağlı olduğunu bildiren önceki çalışmalarla paralellik göstermektedir [11,31].

Pb × uygulama interaksiyonlarının çoğu parametrede önemsiz bulunması, priming uygulamalarının etkisinin farklı Pb dozlarında genel olarak benzer düzeyde gerçekleştiğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle glisin betain veya prolin uygulamaları yalnızca yüksek Pb koşullarında değil, Pb bulunmayan veya düşük Pb seviyelerinde de büyümeyi etkileyen fizyolojik düzenleyiciler olarak davranmıştır. Bununla birlikte toplam klorofil içeriğinde interaksiyonun önemli bulunması dikkat çekicidir. Özellikle 2 mM Pb düzeyinde bazı uygulamalarda daha yüksek SPAD değerleri elde edilmesi, orta düzey stres koşullarında priming uygulamalarının savunma mekanizmalarını uyararak fotosentetik pigmentleri koruduğunu düşündürmektedir. Benzer şekilde Ambreen ve ark. [31], priming uygulamalarının stres altında fotosistem II etkinliğini artırabildiğini bildirmiştir. Sonuç olarak interaksiyon bulguları, morfolojik parametrelerde sınırlı olmakla birlikte fizyolojik parametrelerde daha belirgin olup, priming uygulamalarının özellikle fotosentez sisteminin korunmasında stratejik önem taşıdığını ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, börülcede kurşun stresine karşı tohum priming uygulamalarının etkili bir strateji olabileceği belirlenmiştir. Pb dozlarının birçok büyüme parametresi üzerindeki etkisi sınırlı kalmasına karşın, toplam klorofil içeriğinde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Buna karşılık özellikle 50 mM glisin betain uygulaması bitki boyu, kök uzunluğu, sürgün yaş ağırlığı ve kök yaş ağırlığında en yüksek veya en yüksek değerlere yakın sonuçlar vererek ön plana çıkmıştır. Yüksek doz prolin uygulamalarında ise bazı özelliklerde gerilemeler gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, glisin betain ile priming uygulamasının börülcede kurşun toksisitesinin olumsuz etkilerini hafifletmede daha başarılı olduğunu ve sürdürülebilir üretim açısından pratik bir yaklaşım sunabileceğini göstermektedir.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) 2209-a programı tarafından 1919B012404157 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

[1] Mucevher, O., Research on deposition of chrome and effects of its in plant growth in the various species of dominant plants grown by natural way in the sanitary landfill in Konya, Dissertation, Selcuk University, 2010.

[2] Oden, M.K., Özer, İ. and Horasan, B.Y., Investigation of usage samples of treatment sludges in agricultural areas, Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 7, 5, 743-749, 2019.

[3] Jiang, F., Ren, B., Hursthouse, A. and Deng, R., Evaluating health risk indicators for PTE exposure in the food chain: Evidence from a thallium mine area, Environmental Science and Pollution Research, 27, 23686-23694, 2020.

[4] Zhao, F.J., Ma, Y., Zhu, Y.G., Tang, Z. and McGrath, S.P., Soil contamination in China: Current status and mitigation strategies, Environmental Science and Technology, 49, 750-759, 2015.

[5] Yaylalı-Abanuz, G., Heavy metal contamination of surface soil around Gebze industrial area, Turkey, Microchemical Journal, 99, 1, 82-92, 2011.

[6] Sungur, A., Soylak, M. and Özcan, H., Chemical fractionation, mobility and environmental impacts of heavy metals in greenhouse soils from Çanakkale, Turkey, Environmental Earth Sciences, 75, 334, 2016.

[7] Ardıç, M., Olgun, M., Sezer, O., Başçiftçi, Z.B., Ayter, N.G., Çiçek, A. and Koyuncu, O., The effects of some heavy metal pollutants on faculty of agriculture of ESOGU planting wheat fields in Eskişehir-Turkey, Research Journal of Biological Sciences, 10, 1, 21-25, 2017.

[8] Çığ, F., Sönmez, F. and Erman, M., Van merkez ve ilçelerinde buğday yetiştiriciliği yapılan alanların ağır metal içeriklerinin belirlenmesi, ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 4, 1, 113-124, 2020.

[9] Ozturk, A. and Arici, O.K., Carcinogenic-potential ecological risk assessment of soils and wheat in the eastern region of Konya (Turkey), Environmental Science and Pollution Research, 28, 15471-15484, 2021.

[10] Khan, M.S., Ahmad, D. and Khan, M.A., Utilization of genes encoding osmoprotectants in transgenic plants for enhanced abiotic stress tolerance, Electronic Journal of Biotechnology, 18, 4, 257-266, 2015.

[11] Hasanuzzaman, M., Anee, T.I., Bhuiyan, T.F. et al., Emerging role of osmolytes in enhancing abiotic stress tolerance in rice, Advances in Rice Research for Abiotic Stress Tolerance, Woodhead Publishing, 2019.

[12] Khan, T.A., Fariduddin, Q. and Yusuf, M., Low-temperature stress: Is phytohormones application a remedy?, Environmental Science and Pollution Research, 24, 27, 21574-21590, 2017.

[13] Zandalinas, S.I., Mittler, R., Balfagón, D. et al., Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures, Physiologia Plantarum, 162, 1, 2-12, 2018.

[14] Ben Ahmed, C., Ben Rouina, B., Sensoy, S. et al., Exogenous proline effects on photosynthetic performance and antioxidant defense system of young olive tree, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58, 7, 4216-4222, 2010.

[15] Nagele, T., Kandel, B.A., Frana, S. et al., A systems biology approach for the analysis of carbohydrate dynamics during acclimation to low temperature in Arabidopsis thaliana, The FEBS Journal, 278, 3, 506-518, 2011.

[16] Yang, X. and Lu, C., Photosynthesis is improved by exogenous glycinebetaine in salt-stressed maize plants, Physiologia Plantarum, 124, 3, 343-352, 2005.

[17] Puthur, J.T., Antioxidants and cellular antioxidation mechanism in plants, South Indian Journal of Biological Sciences, 2, 1, 14-17, 2016.

[18] Theocharis, A., Bordiec, S., Fernandez, O. et al., Burkholderia phytofirmans PsJN primes Vitis vinifera L. and confers a better tolerance to low nonfreezing temperatures, Molecular Plant-Microbe Interactions, 25, 2, 241-249, 2012.

[19] Roychoudhury, A. and Banerjee, A., Endogenous glycine betaine accumulation mediates abiotic stress tolerance in plants, Tropical Plant Research, 3, 105-111, 2016.

[20] Gupta, N. and Thind, S.K., Improving photosynthetic performance of bread wheat under field drought stress by foliar applied glycine betaine, Journal of Agricultural Science and Technology, 17, 75-86, 2018.

[21] Rasool, S., Hameed, A., Azooz, M.M., Siddiqi, T.O. and Ahmad, P., Salt stress: Causes, types and responses of plants, Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress, Springer, 1-24, 2013.

[22] Giri, J., Glycinebetaine and abiotic stress tolerance in plants, Plant Signaling and Behavior, 6, 11, 1746-1751, 2011.

[23] Umezawa, T., Fujita, M., Fujita, Y. et al., Engineering drought tolerance in plants: Discovering and tailoring genes to unlock the future, Current Opinion in Biotechnology, 17, 2, 113-122, 2006.

[24] Alasvandyari, F., Mahdavi, B. and Hosseini, S.M., Glycine betaine affects the antioxidant system and ion accumulation and reduces salinity-induced damage in safflower seedlings, Archives of Biological Sciences, 69, 1, 139-147, 2017.

[25] Park, E.J., Jeknic, Z., Sakamoto, A. et al., Genetic engineering of cold-tolerant tomato via glycinebetaine biosynthesis, Cryobiology and Cryotechnology, 49, 2, 77-85, 2003.

[26] Lavanya, S.N. and Amruthesh, K.N., Glycine betaine mediated disease resistance against Sclerospora graminicola in pearl millet, Journal of Applied Biology and Biotechnology, 5, 3, 45-51, 2017.

[27] Rasheed, R., Ashraf, M.A., Hussain, I., Haider, M.Z., Kanwal, U. and Iqbal, M., Exogenous proline and glycinebetaine mitigate cadmium stress in two genetically different spring wheat (Triticum aestivum L.) cultivars, Brazilian Journal of Botany, 37, 399-406, 2014.

[28] Hossain, M.A., Burritt, D.J. and Fujita, M., Proline and glycine betaine modulate cadmium-induced oxidative stress tolerance in plants: Possible biochemical and molecular mechanisms, Plant-Environment Interaction: Responses and Approaches to Mitigate Stress, 97-123, 2016.

[29] Hossain, M.A. et al., Exogenous glycine betaine and proline improve cadmium stress tolerance in mung bean, 2010.

[30] Ahmed, N., Zhang, Y., Yu, H., Gabar, A., Zhou, Y., Li, Z. and Zhang, M., Seed priming with glycine betaine improve seed germination characteristics and antioxidant capacity of wheat (Triticum aestivum L.) seedlings under water-stress conditions, Applied Ecology and Environmental Research, 17, 4, 8333-8350, 2019.

[31] Ambreen, S., Athar, H.u.R., Khan, A. et al., Seed priming with proline improved photosystem II efficiency and growth of wheat (Triticum aestivum L.), BMC Plant Biology, 21, 502, 2021.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

THE AMELIORATIVE EFFECT OF PYCNOGENOL ON ACROLEIN-INDUCED MITOCHONDRIAL MEMBRANE POTENTIAL CHANGES IN HUMAN PANCREATIC CELLS[1]

Seval KONTAŞ YEDİER[1*], Zülal ATLI ŞEKEROĞLU[2], Vedat ŞEKEROĞLU[3], Birsen AYDIN[4], Ceren BÖRÇEK KASURKA[5]

[1*]Ordu University, Faculty of Science and Letters, sevalkontas07@gmail.com - https://orcid.org/0000-0003-3532-573X
[2]Ordu University, Faculty of Science and Letters, zulalatli@hotmail.com - https://orcid.org/0000-0002-3552-3819
[3]Ordu University, Faculty of Science and Letters, sekerogluv@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-8547-6571
[4]Amasya University, Faculty of Science, birsen.aydin@amasya.edu.tr - https://orcid.org/0000-0002-5541-9365
[5]Ordu University, Faculty of Science and Letters, cerenborcek@yahoo.com - https://orcid.org/0000-0002-5772-9463

ABSTRACT

Acrolein (AC), which poses a serious threat to human and environmental health, is a potential environmental pollutant. In recent years, studies on human diseases that can be caused by AC have increased rapidly in the literature. As a natural phenolic compound, Pycnogenol (PYC) exhibits protective and therapeutic potential against certain types of cancer. There is insufficient information in the literature regarding the potential effects of AC and PYC on pancreatic cells (hTERT-HPNE) and their interactions. Our purpose is to investigate the effect of AC on mitochondrial membrane potential and the potential protective effect of PYC on human pancreatic cells. hTERT-HPNE cells were seeded 1×10^5 cells/well into 24-well plates. They were treated with AC (25, 50, and 100 µM) and PYC (100 µg/ml) for 72 hours. After treatment, the cells were treated with JC-1 dye (5 µg/ml) at 37 °C for 30 minutes and imaged using a fluorescence microscope. We calculated the ratio of red to green fluorescence with Image-J software. Our results have shown that AC decreased mitochondrial membrane potential in human pancreatic cells. When AC and PYC were administered together, improvements in these parameters were observed compared to AC therapy alone. Therefore, our results indicate that PYC may have a protective effect against AC-induced damage. It may play a significant role in the pathogenesis of increasing mitochondrial diseases. It may also be particularly important in terms of offering preventive solutions for mitochondrial diseases. In addition, this research will provide data for future studies and contribute to the development of new projects.

Key Words: Pancreatic cells, acrolein, pycnogenol, mitochondrial membrane potential

[1] This study was financially supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK, Project No. 124Z440) and Scientific Research Projects Coordination Unit of Ordu University (ODU-BAP, Project No. A-2342).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

FLUPYRADIFURONE-INDUCED CYTOTOXICITY, OXIDATIVE STRESS, IN HUMAN LUNG CELLS[1]

Yıldız Can BAL [1*], Vedat ŞEKEROĞLU [2], Zülal ATLI ŞEKEROĞLU [3],

Seval KONTAŞ YEDİER [4], Ceren BÖRÇEK KASURKA [5]

[1]Ordu University, Faculty of Science and Letters, yildizcan5353@gmail.com - https://orcid.org/0009-0006-2816-4869
[2]Ordu University, Faculty of Science and Letters, sekerogluv@gmail.com - https://orcid.org/0000-0002-8547-6571
[3]Ordu University, Faculty of Science and Letters, zulalatli@hotmail.com - https://orcid.org/0000-0002-3552-3819
[4]Ordu University, Faculty of Science and Letters, sevalkontas07@gmail.com - https://orcid.org/0000-0003-3532-573X
[5]Ordu University, Faculty of Science and Letters, cerenborcek@yahoo.com - https://orcid.org/0000-0002-5772-9463

ABSTRACT

Pesticides are widely used in agriculture to control harmful insects and weeds. However, the release of pesticides into the environment poses a threat to human health. In recent years, many pest species have developed increasing resistance to neonicotinoids; this has led to the use of Flupyradifurone (FLUP) to control pests in agricultural and horticultural products, including neonicotinoid-resistant populations. However, its toxicological effects on human lung cells are unknown. In our study, we investigated the levels of total antioxidant status (TAS) and total oxidant status (TOS) in human bronchial epithelial cells (BEAS-2B) and, using these measurement results, calculated the oxidative stress index (OSI), which is defined as the ratio of TOS to TAS and is accepted as an indicator of oxidative burden. We investigated its effects on these parameters. To determine TAS and TOS levels in BEAS-2B cells, 1×10^5 cells were seeded into 24-well plates at a density of 1×10^5 cells per well and treated with FLUP for 72 hours. Absorbance values were measured using a microplate reader. The antioxidant defense capacity in BEAS-2B cells was significantly reduced and oxidative stress levels increased following FLUP treatment. Furthermore, the OSI value increased as the FLUP concentration rose ($p < 0.05$). This study provides important information on the health risks associated with FLUP exposure. Comprehensive molecular studies are needed to establish safe exposure limits for this pesticide and to investigate its genotoxic effects.

Keywords: Flupyradifurone; Human bronchial epithelial cells; Oxidative stress; Antioxidant capacity; Oxidative stress index

[1] This study was financially supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK, Project No. 125Z007) and the Scientific Research Projects Coordination Unit of Ordu University (ODU-BAP, Project No. A-2343).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

A BASELINE STUDY ON CHARACTERIZATION OF SOME BIOECOLOGICAL PROPERTIES OF *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing 1849 (BACILLARIOPHYCEAE)

Assoc. Prof. Dr. Seher Dirican

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science, Department of Biology, Sivas, Turkey

E-mail: sdirican@cumhuriyet.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9130-5114

ABSTRACT

Pollutants that negatively affect the natural balance are among the risks that endanger the sustainability of the ecosystem. Aquatic ecosystems, in particular, are highly exposed to pollutants. Pollutants enter aquatic ecosystems through various routes, negatively impacting water quality. In this context, the natural cleaning capacity of aquatic ecosystems decreases, and changes occur in the physical, chemical, and biological properties of water quality. To protect and ensure the sustainability of water quality, in addition to evaluating physical and chemical parameters, biological monitoring of water quality should also be carried out. Recently, biological monitoring has been used as an effective and important tool in the assessment of water quality. Diatoms are frequently used in the assessment and monitoring of water quality. *Gomphonema parvulum*, a pennate diatom species, is a cosmopolitan freshwater diatom used as an indicator in the biological monitoring of water quality. This study focuses on the characterization of some bioecological properties of *Gomphonema parvulum*.

Keywords: Bioecology, Bioindicator, Diatom, *Gomphonema parvulum*, Water Quality.

1. INTRODUCTION

Water pollution has recently become one of the most significant environmental problems. Pollutants that cause water pollution and disrupt the natural balance include organic matter, metals, petroleum derivatives, artificial agricultural fertilizers, detergents, radioactivity, pesticides, inorganic salts, artificial organic chemicals, and waste heat. Diatoms are the primary producers in aquatic ecosystems, thus forming the basic food source for other aquatic organisms. Furthermore, diatoms are an important group of organisms used to determine pollution levels in ecosystems, in addition to providing oxygen to aquatic systems. Diatoms belong to the siliceous algae group and their use in monitoring water quality offers many advantages. Diatom samples are found everywhere, from upstream to downstream, and from clean aquatic environments to aquatic systems polluted by industrial and domestic waste. Diatoms are also easier to sample; they are found on all substrate types and can be sampled from all specific surfaces using the same technique. The diatom community structure is directly related to the physical and chemical state of the water. Due to these characteristics, diatoms have been widely used in recent years for calculating and comparing the water quality of aquatic systems (Tokatlı et al. 2011). Therefore, diatoms are organisms with important bioecological characteristics.

Diatoms are highly biodiverse photosynthetic organisms that can live in almost all aquatic environments and play important roles in aquatic ecosystems by fixing significant amounts of carbon dioxide from the atmosphere. *Gomphonema parvulum* is a freshwater diatom

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

species used as a bioindicator for evaluating and monitoring water quality (Cahoon et al. 2024). This study focuses on the characterization of some bioecological properties of *Gomphonema parvulum*.

2. SOME BIOECOLOGICAL PROPERTIES OF *Gomphonema parvulum*

Diatoms are small, single-celled or colony-dwelling algae that exhibit an extraordinary richness in shape. They have a very different structure from other algae. Their most important characteristics are the high silica content in their cells and the fact that their cell walls are box-shaped with lids closing on top of each other. The structure and shape of the diatom cell wall are very important in classification. The main component of the cell wall is pethin, with silica contributing up to 95 percent. The cell walls of diatoms are called shells or frustules. The lids of diatoms have ornaments such as various rows of dots, protrusions, and holes. These microscopic ornaments are not randomly arranged but are quite elaborately designed. These ornaments, which come in a wide variety of shapes, are characteristic of species and genera. Types in which these ornaments are arranged symmetrically or asymmetrically on both sides with respect to an axial line are called pennate diatoms. Many pennate diatoms are capable of free movement. All motile genera have raphees. The movement of diatoms is in the form of a series of jerks (Altuner, 1998). *Gomphonema parvulum* pennat is one of the diatoms (Figure 1).

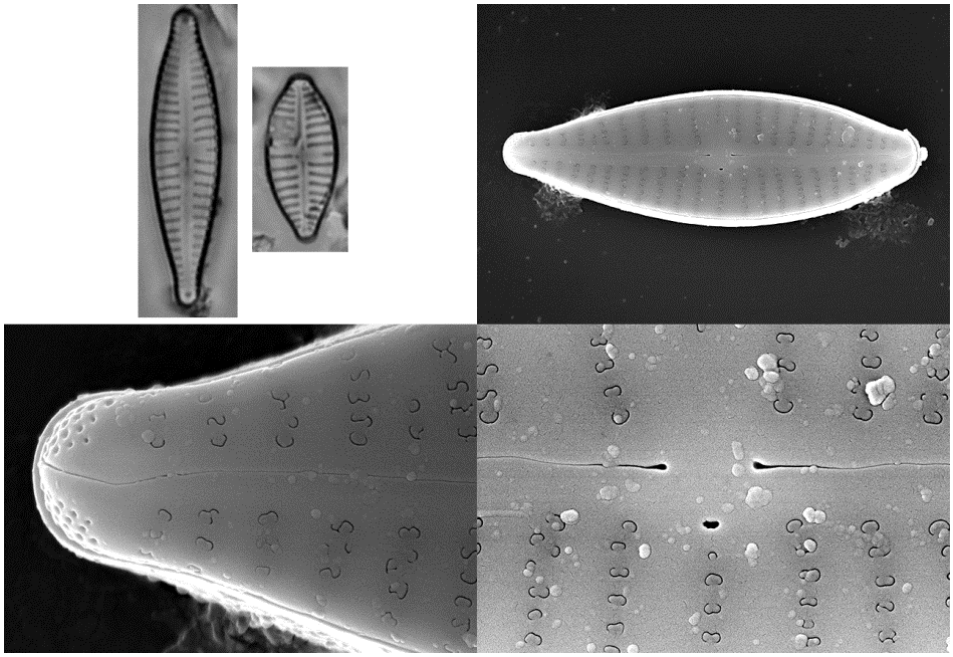


Figure 1. *Gomphonema parvulun* (Kützing) Kützing (Dirican et al. 2019).

The taxonomic classification of *Gomphonema parvulum*, a freshwater species, is adapted by Algaebase (2026); Empire (Eukaryota), Kingdom (Chromista), Phylum (Bacillariophyta), Class (Bacillariophyceae), Subclass (Bacillariophycidae), Order (Cymbellales), Family (Gomphonemataceae), Genus (Gomphonema) and Species (*Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing 1849).

The genus Gomphonema is distinguished from other naviculoid diatoms by the transversal asymmetry of its frustules. The valves are flat and lance-shaped, but one pole is wider than the other. Gomphonema cells are generally epiphytic, attached to aquatic plants by a gelatinous stalk. Although individuals are sometimes found drifting freely in the water, these

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

are most likely individuals that have accidentally broken off from their stalks. Gomphonema is a genus with more freshwater species than marine species (Timur, 1992).
Gomphonema parvulum is the dominant species in freshwater. It was named Sphenella parvula before being identified as a separate species by Kützing in 1849. The most distinctive character of *Gomphonema parvulum* is its attached growth pattern. The valves of *Gomphonema parvulum* are elongated, tapering towards the ends, and slightly rounded. The valves of this species are 12-30 µm long and 4-7 µm wide. Furthermore, the central area is asymmetrical, and one of the lines on the other side is shorter (Vilo, 2022).

Gomphonema parvulum, a dominant diatom species, is cosmopolitan and is commonly found in both streams and stagnant waters in all seasons under high silicon conditions (Çelik, 2016).

In *Gomphonema parvulum*, the shell is 7.5-33.0 µm long and 5-8 µm wide, with 9-16 striae per 10 µm. *Gomphonema parvulum* is cosmopolitan, thycoplankton, polysaprobic, eutrophic, and neutral in character. The general distribution of *Gomphonema parvulum* in Turkish streams is in Eastern Anatolia (Euphrates, Aras, Çoruh river basins), the Mediterranean (Antalya, Asi river basins), the Black Sea (Eastern Black Sea, Yeşilırmak, Kızılırmak river basins), the Aegean (Gediz, Küçük Menderes river basins) and Central Anatolia (Sakarya, Konya closed, Kızılırmak river basins) (Dirican et al. 2019).

Diatoms are frequently used in detecting changes in water quality in stagnant and flowing rivers due to their specific sensitivity to different bioecological conditions such as pH, salinity, and nutrients (Ivorra et al. 2002). Mumcu et al. (2009) identified Gomphonema among the genera with the most taxa belonging to the Pennales group. They also noted that the Gomphonema genus includes alkaline species.

Many studies report that *Gomphonema parvulum* is tolerant to organic pollution (Kıvrak et al. 2012).

Erdem (2013) reported that *Gomphonema parvulum* is eusaprobic and xenosaprobic based on individual ecology and abundance scores.

Gomphonema parvulum is a dominant species in habitats with abundant nutrients and is considered an eutrophic biological indicator, frequently observed in eutrophic lakes and streams during warmer months (Lu et al. 2020).

Taş and Yılmaz (2015) reported that although *Gomphonema parvulum* is generally tolerant to pollution and sometimes abundant under alpha-mesosaprobic and polysaprobic conditions, it has also been recorded in oligosaprobic populations. In addition, they reported that this species is eutrophentic and is an indicator of medium quality water class.

3. CONCLUSION

Aquatic ecosystems, due to their dynamic nature and susceptibility to constantly changing physical, chemical, and biological factors, require holistic study and monitoring. The world contains a wide variety of bioecological environments, with aquatic ecosystems being among the most important. Contrary to earlier beliefs, it has become clear in recent years that aquatic ecosystems are not areas that need to be unnecessarily destroyed and converted into more productive land; their importance is steadily increasing. Furthermore, population growth, agriculture, industrialization, and urbanization, along with pollution and drought, have increased pressure on and the risk of biodiversity extinction. Global sustainability is becoming increasingly important. Diatoms are among the most important organisms within aquatic ecosystems, which possess rich ecological and biological diversity. Therefore, existing diatom species should be recorded, protected, and their biological and ecological characteristics determined. Bioindicators are used to assess changes occurring within a specific biological

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

community and environment. Diatomic indicators, because they combine biological, physical, and chemical factors, are used as important parameters for evaluating the quality of aquatic ecosystems. *Gomphonema parvulum* stands out as a cosmopolitan freshwater diatom used as an indicator in the biological monitoring of water quality.

RFERENCES

Algaebase, 2026. Algaebase for *Gomphonema parvulum* (Kützing) Kützing 1849. https://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=62192, Access Date: 31 February 2026.

Altuner, Z. 1998. Seedless Plants Systematics. First Volume, Özyurt Ofset and Tipo Printing, Ankara, pp. 186.

Cahoon, A.B., Johnson, K.M., Brown, S.M., Manoylov, K.M., Nienow, J.A. 2024. The Chloroplast Andmitochondrial Genomes of Two *Gomphonema parvulum* (Bacillariophyta) Environmental Isolates from South Carolina (United States) and Virginia (United States). Journal of Phycology, 60: 299-307.

Çelik, K. 2016. Seasonal Differences of Phytoplanktonic Organisms in Zeytinli Stream, Kazdağları, Balıkesir, Related to Certain Physicochemical Parameters. Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology, 18(2): 78-88.

Dirican, S., Solak, C.N, Dayıoğlu, H., Kaleli, M.A., Yılmaz, E., Özer, A. 2019. Investigation of Diatoms of Black Sea Region (Turkey) in terms of Taxonomic. Sivas Cumhuriyet University Scientific Research Projects Commission Unit Project Final Report, Project No: STKMYO-007, pp. 51.

Erdem, H.G. 2013. A Study on Diatoms of the Köyceğiz Lake. Muğla Sıtkı Koçman University, Institute of Science, Department of Biology, Master's Thesis, pp. 90.

Ivorra, N., Barranguet, C., Jonker, M., Kraak, M.H.S., Admiraal, W. 2022. Metal-induced Tolerance in the Freshwater Microbenthic Diatom *Gomphonema parvulum*. Environmental Pollution 116: 147-157.

Kıvrak, E., Uygun, A., Kalyoncu, H. 2012. Application of Diatom Indices to Assess Water Quality of the Akarçay Stream (Afyonkarahisar, Turkey). Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, 12: 27-38.

Lu, X., Liu, Y., Fan, Y. 2020. Diatom Taxonomic Composition as a Biological ndicator of the Ecological Health and Status of a River Basin under Agricultural Influence. Water, 12(2067): 1-14.

Mumcu, F., Barlas, M., Kalyoncu, H. 2009. The Epylithic Diatoms of Dipsiz-Çine (Muğla-Aydın) Streams. Süleyman Demirel University Science Journal, 4(1), 23-34.

Taş, B., Yılmaz, Ö. 2015. Epilithic Algal Diversity of Cimil Stream (Rize, Turkey). Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 3(10): 826-833.

Timur, G. 1992. Plankton Knowledge and Plankton Culture. Akdeniz University Publication No: 40, pp. 374.

Tokatlı, C., Köse, E., Uysal, K., Çiçek, A., Arslan, N. 2011. Determination of Macro and Micro Elements Concentrations in Epipelic Diatom Frustules in Porsuk Dam Lake. Journal of Agricultural Sciences Research 4(2): 1-6.

Vilo, I. 2022. Morphological Variation of the Diatom Species *Gomphonema parvulum* Kütz. under Nutrient and Shading Treatment. University of Helsinki, Faculty of Science, Master's Thesis in Geography, pp. 42.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

CHARACTERIZATION OF SOME BIOECOLOGICAL PROPERTIES OF SEA LETTUCE, *Ulva lactuca* L. 1758 (CHLOROPHYTA)

Assoc. Prof. Dr. Seher Dirican

Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Science, Department of Biology, Sivas, Turkey

E-mail: sdirican@cumhuriyet.edu.tr - ORCID ID: 0000-0001-9130-5114

ABSTRACT

Algae are photosynthetic organisms found in all aquatic ecosystems. Algae play an important role in maintaining ecological balance. These organisms are important due to their high biomass production capacity and the production of various biochemical compounds. Algae have a wide range of uses in biotechnological applications. Algae, also known as waterweed or aquatic vegetables, offer many important biological and ecological benefits. Among algae, *Ulva lactuca* stands out with its global distribution and richness in various nutritional, health, and phytochemical components. This study focused on the characterization of some bioecological properties of *Ulva lactuca*. *Ulva lactuca* is a green macroalgae species that has recently attracted attention due to its significant natural resource potential. It is an important algae species that is sustainable and environmentally friendly from a bioecological and economic perspective. *Ulva lactuca*, known as sea lettuce, is a green macroalgae species widely found in the world and in Turkey. It is considered one of the seaweeds with versatile uses in various fields such as food, agriculture, cosmetics, pharmacology, and medicine. The wide potential that *Ulva lactuca* offers in many areas indicates that this species needs to be better understood, known, and researched.

Keywords: Bioecology, Food, Health, Macroalgae, Sea Lettuce, *Ulva lactuca*, Water Quality.

1. INTRODUCTION

Algae, among the most important aquatic organisms, are primary producers in the aquatic environment and form a vital part of the food chain. Algae are utilized in fields such as food, agriculture, cosmetics, medicine, pharmaceuticals, and industry. Algae possess secondary metabolites with high biological activity, which play a significant role in the development of new pharmaceutical agents. Studies on algae have revealed the presence of antimicrobial, cytotoxic, antimitogenic, anticancer, and antitumor activities (Yıldırım, 2018). While the first information regarding the use of macroalgae by humans dates back many years, 23 percent of the 435 macroalgal species are used in treatment, 30 percent in nutrition, and 47 percent in the cosmetics industry. Macrobenthic algae cultivation is also carried out, especially in Far Eastern countries, primarily China. Species of the Ulvaceae family of green algae are used as food additives in animal production, and are also popular food items, especially in Far Eastern and Mediterranean countries. Therefore, Ulva species are known as Sea Lettuce worldwide and in Turkey. Algae are not sufficiently utilized in Turkey. The habit of utilizing aquatic organisms in Turkey is generally limited to fish. Macrobenthic algae offer significant potential both in closing protein and vitamin deficiencies and, primarily, due to their antioxidant and antitumor properties (Turna and Uzunköprü, 2015).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Macroalgae can be defined as primitive plant-like organisms lacking complex reproductive systems and possessing photosynthetic pigments. Performing many biologically and ecologically essential functions, macroalgae can also be valued as food, animal feed, and soil additives. Many macroalgae species are widely produced for the food and cosmetics industries. Their high growth rates, ability to assimilate substances like nitrogen and phosphorus, and their capacity to retain certain elements like heavy metals make them useful in wastewater treatment. Furthermore, macroalgae are a healthy solution for nitrogen and phosphorus-rich waters in seas and oceans due to their biodiversity. Algae have great economic potential due to their ease of reproduction, their ability to produce many important secondary metabolites, and their potential for use in many important areas through biorefinery approaches. Because they are rich in important biomolecules such as polysaccharides, pigments, carotenoids, and vitamins, algae can also be used in the health and food industries (Koçer, 2023). If there is no major change in the rate of world population growth, the world population is expected to reach 9.7 billion by 2050 and 11.2 billion by 2100. According to these figures, it is estimated that the current human population will increase by approximately 4 billion by 2100. Governments must consider the rate of population growth when determining national policies. This rapid population growth could further exacerbate social, economic, health, environmental, food, and resource scarcity problems (Özden, 2015). Recently, there has been a continuous increase in interest in the use of various macroalgae species to produce various products in industries such as food, cosmetics, and pharmaceuticals. This increase has resulted in a significant rise of 8.7 percent annually in macroalgae production worldwide. *Ulva lactuca* is a valuable green algae species containing significant carbohydrate concentrations of approximately 60 percent and a substantial amount of protein between 10 or 47 percent. However, it has a low lipid content, containing between 1 or 3 percent lipids. Due to shrinking agricultural lands and the scarcity of freshwater ecosystems, seas are becoming increasingly important production areas. Cultivation of *Ulva lactuca* using controlled and sustainable methods is promising compared to terrestrial plants. Therefore, *Ulva lactuca* offers a potential solution for the future (Putra et al. 2024).

Algae, also known as seaweed or aquatic vegetables, are important for aquatic ecosystems and offer many bio-ecological benefits. Algae play a significant role in the food chain due to their rapid biomass growth and ability to grow in diverse aquatic ecosystems. They provide shelter and breeding grounds for fish and other aquatic organisms, thus ensuring the continuation of biodiversity. Algae are indispensable organisms for biochemical and nutrient cycles. Recently, algae have been increasing in global importance due to their widespread use in many fields. Algal cultivation highlights the sustainable blue economy due to its environmental and social importance. *Ulva lactuca*, also known as sea lettuce, has a global distribution. *Ulva lactuca* offers reliable and versatile cultivation potential. In coastal water systems, the cultivation of *Ulva lactuca* makes a significant contribution to the nutrient supply (Sobuj et al. 2026).

Algae can live wherever they can photosynthesize on Earth. Although they can survive in snowy and completely ice-covered areas, in high-temperature boiling waters, and in very salty, high-pressure, and low-temperature environments, 70 percent of them are primarily found in water (Gürsoy, 2012). *Ulva lactuca*, also known as sea lettuce, is a species of flat, green macroalgae that is widespread throughout the world. It is considered one of the most useful seaweeds in applications in the fields of food, agriculture, pharmacology, and medicine. Like other macroalgae species, it also has a widespread distribution in Turkish seas (Ak, 2023). *Ulva lactuca* is a green macroalgae species that has recently attracted attention due to its significant natural resource potential. This study focused on the characterization of some bioecological properties of *Ulva lactuca*.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2. SOME BIOECOLOGICAL PROPERTIES OF *Ulva lactuca*

Sea lettuce (*Ulva lactuca* Linnaeus, 1753) is a macroalgae and belongs to the kingdom Plantea. The taxonomic description of sea lettuce is in the kingdom (Plantae), subkingdom (Viridaeplantae), division (Chlorophyta), subdivision (Chlorophytina), class (Ulvophyceae), order (Ulvales), family (Ulvaceae), genus (Ulva) and species (*Ulva lactuca* Linnaeus, 1753) were adapted by ITIS (2026).

Green algae, encompassing a wide range of flora in aquatic ecosystems, are found in both freshwater and marine environments. While a small number of green algae live in shallow marine areas, most are found in freshwater, on moist soils and wet rocks. In addition to epiphytic species living on higher plants, there are also species that form symbiosis with fungi and become part of lichens. The cell walls of green algae are composed of cellulose. While some species contain only one nucleus and one chromatophore, others contain multiple nuclei and chromatophores. Chromatophore shapes vary depending on the genus and species, including bell-shaped, star-shaped, reticulated, oval, and so on. The chromatophores of green algae contain chlorophyll-a, chlorophyll-b, and small amounts of carotene and xanthophyll. Many also contain pyrenoids. Their nutrient storage product is starch, and they are quite resistant to stressful conditions. Among algal groups, green algae in particular contain high amounts of protein, vitamins, and minerals. Ulva species are known to constitute approximately 25 percent of the total green algae in the world (Su, 2017).

Most members of the order Ulvales live in the seas. They have parenchymatic thalli consisting of one or two cell layers, which are hollow tubes or cylinders with expanded leaves. The cells forming the thallus have a single nucleus and cup-shaped chloroplasts. Some members are haploid. It is an algae that resembles lettuce in shape. It is eaten as a salad in Mediterranean countries and Asia (Altuner, 1998).

Green algae, represented by over 300 genera and approximately 10 thousand species, constitute a significant part of the aquatic flora. 90 percent of green algae are found in freshwater, while 10 percent are distributed in shallow areas of the sea. The Ulvaceae family comprises quite large algae, mostly marine, consisting of tubular or ribbon-like thalli. Their thalli are composed of one or two cell layers. This family has three genera. The genus Ulva develops in the sea. Attached to the substrate by a short, stalk-like appendage, the upper part of this alga is quite broad and its thickness consists of two cell layers. In *Ulva lactuca*, the thallus is oval, the edges are smooth, the pyrenoid is one (-two), and the membrane thickness at the apex is less than 50 micron. The smooth or rarely protruding edges of *Ulva lactuca*, and the cell shape in the cross-section of its central part, distinguish *Ulva lactuca* from *Ulva rigida*. When comparing Ulva and Enteromorpha species, which show morphological similarities, it is observed that in Ulva species, two rows of cells are almost fused together in cross-section, while in Enteromorpha species, gaps are found (Aktar, 2012). Thus, *Ulva lactuca* can be easily diagnosed.

Ulva lactuca, a macroalgal species belonging to the Chlorophyta division, was first described by Linnaeus in the Baltic Sea in 1753. It is capable of growing sessile or free-swimming. Also known as sea lettuce, this edible green algae species is found in approximately 117 countries worldwide. Important countries include Japan, China, Israel, Malaysia, Egypt, Kenya, Tunisia, Iran, India, Bangladesh, Saudi Arabia, Vietnam, Lebanon, Denmark, France, Germany, Greece, Iceland, Netherlands, Norway, Romania, Spain, Canada, Mexico, the USA, New Zealand, Australia, Chile, Argentina, Brazil, Peru, Turkey, and Uruguay. In Turkey, *Ulva lactuca* is distributed in the Black Sea, Aegean Sea, Mediterranean Sea, and Marmara Sea (Orhan, 2019). *Ulva lactuca* is a species of green macroalgae, commonly known as sea lettuce, with a wide distribution, particularly along the Mediterranean coast. This species is primarily found on rocky and stony shores. It is a type of seaweed that lives attached to stones, rocks, and similar surfaces. It has translucent, soft leaves that are irregularly shaped but have rounded,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

frilly edges, ranging from light yellowish to blackish-green. The leaves are attached to rocks with the help of retainers. Significant seasonal changes can be observed in its morphology. Young plants are dark green and soft to the touch. Older plants are light green and have a slippery surface (Ak, 2023). *Ulva lactuca* can vary in color from yellowish-green to dark green.

Sea lettuce, also known as *Ulva lactuca*, is a cosmopolitan species belonging to the genus Ulva, particularly found in shallow, rocky areas. It is a salinity-tolerant algae species that can be found in both salty and brackish waters (Uslu, 2014). *Ulva lactuca* attaches to the substrate horizontally or vertically using a short, stalk-like appendage. Ulva species are algae that can survive in a wide range of salinity and pH levels. They have high tolerance to pollution. They require light for their growth and therefore generally spread on the water surface. *Ulva lactuca* thrives better in nitrogen-rich environments with high levels of nitrate and phosphate. For this reason, *Ulva lactuca* is also referred to as a nitrophilic form (Yıldırım, 2018). *Ulva lactuca* is an edible green algae species from the Ulvaceae family. *Ulva lactuca* is a thin, flat green alga that grows in a disc shape. Its edges are slightly raised and often torn. Although usually much shorter, it can reach lengths of 18 centimeters or more and widths of up to 30 centimeters. The membrane structure is two cells thick, soft and translucent, and it grows sessile and attached to rocks or other algae with a small disc-shaped holder. Each cell contains a single nucleus and a single chloroplast with a pyrenoid (Su, 2024).

The appearance of the thalli of *Ulva lactuca* is palm-width, lobed, with smooth, even, and slightly wavy edges. The thalli have a slender structure and possess very short, thread-like attachments for fixing themselves to objects. Their texture is nylon-like, slippery, and shiny, with a dark green color or lighter shades of green. Sessile mussels often live on these thalli. As *Ulva lactuca* ages, its thalli expand and increase in number, resembling lettuce when observed from its initial to its final state. The thallus of *Ulva lactuca* contains cells arranged in two opposite rows. These vegetative cells contain crescent-shaped chromatophores. The chromatophores contain chloroplasts, the organelles responsible for photosynthesis and energy production. *Ulva lactuca* appears green due to these structures (Cirik and Cirik, 2011).

All cells of *Ulva lactuca* contain chloroplasts and chlorophyll a and b as photosynthetic pigments. This species is highly resistant to temperature and pH changes and can perform photosynthesis even in aquatic environments with a pH of 9.4. Reproduction exhibits isomorphic alternation of generations and isogametogamy. Reproduction is both sexual or and asexual. Life stages consist of diploid or sporophyte and haploid or gametophyte generations (Gürsoy, 2012). In *Ulva lactuca*, whose thallus consists of two rows of cells, asexual reproduction occurs via four-flagellated zoospores. Sexual reproduction is isogamy. Gametes are produced by separate individuals, i.e., heterothallic. Sexual and asexual reproduction follow each other; in other words, alternation of generations is observed. Vegetative cells have 2n chromosomes. Therefore, the zygote forms a new individual without undergoing meiosis. *Ulva lactuca* live diploid. They generally find their habitat in shallow depths near the sea surface, in coastal areas where they can see light (Orhan, 2019).

One of the biomass materials used in the green synthesis of metallic nanoparticles is *Ulva lactuca*. Although *Ulva lactuca* grows by adhering to solid surfaces like stone, it can easily detach from its attachment points and continue its growth in undulating environments without being attached. The thalli of this species are leaf-shaped, and the cells in this structure are single-nucleated, with cup-shaped chloroplasts. The structural composition of this macroalgae can change seasonally (Koçer, 2023). Rasyid (2017) reported that *Ulva lactuca* contains 13.6 percent crude protein, 58.1 percent carbohydrates, 0.19 percent fat, 16.9 percent moisture, 1.2 percent ash, and 28.4 percent dietary fiber by dry weight.

Ulva lactuca exhibits rapid and efficient growth in conditions that are contrary to the growth and spread conditions of other algae. Its thallus color is darker in environments rich in organic matter and with less sunlight. *Ulva lactuca* forms large communities in seas polluted

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

by domestic waste. Ulva species are ruderal plants of the seas and biological indicators of polluted waters. Waste removal is dependent on an oxygen-requiring process carried out by the algae. Furthermore, the use of organic and inorganic components of waste by algae to produce nutrients demonstrates how waste is removed from the environment. *Ulva lactuca* is a particularly good biological indicator of environmental pollution related to metal pollution (Gürsoy, 2012). Apaydın et al. (2010) analyzed various metal concentrations in *Ulva lactuca* samples. However, they reported that no toxic elements were found in *Ulva lactuca* samples. Mohammadpour et al. (2026) reported that Ulva lactuca has a high rate of europium removal. Yıldırım et al. (2009) investigated the effect of a ration containing two seaweeds (*Ulva lactuca*, *Enteremorpha linza*) on the growth performance, feed conversion ratio, and body composition of rainbow trout. At the end of the experiment, they reported that the crude protein, crude fat, and crude ash content in the fish meat was higher in all experimental groups compared to the initial experiment. Carvalro et al. (2025) reported that adding 5 percent *Ulva lactuca* to the *Oreochromis niloticus* feed was beneficial in increasing the antioxidant content against stress.

Ulva lactuca, with its 37.1 percent protein content, allows for its direct use in human and animal nutrition. The biochemical composition of Ulva species highlights its rich nutritional profile, including essential vitamins, minerals, and proteins. This species also possesses a rich biochemical composition, essential amino acids, minerals, vitamins, and antioxidant activity. This reveals the enormous potential of *Ulva lactuca* as a sustainable and environmentally friendly food source. In addition, *Ulva lactuca* has the potential to address nutritional deficiencies in various populations by becoming a valuable additive to both human and animal diets. However, it is important to approach this with careful consideration of food safety and quality concerns to minimize threats to human and animal health. By carefully evaluating these factors, Ulva can become a valuable component of sustainable food systems and contribute to improved nutrition and environmental sustainability. Ulva cultivation contributes to a more sustainable and environmentally friendly food production system by reducing reliance on terrestrial agriculture and potentially improving water quality (Khan et al. 2024).

Besides their use as food, algae are used in folk medicine for therapeutic purposes. In folk medicine, Ulva sp. is used to treat abdominal pain and fever, and due to its antiseptic effect, it is used to heal wounds. Ulva sp. is also used in folk medicine to increase body resistance, treat heavy metal poisoning, strengthen the immune system, regenerate skin, prevent vascular blockage, and lower blood cholesterol levels. Due to its rich fiber, mineral, protein, low fat, and digestible carbohydrate content, Ulva sp. is also used in a low-calorie diet for weight loss. Ulva species have free radical scavenging effects and strong antioxidant activities. *Ulva lactuca* contains seventeen essential fatty acids and soluble fiber, which are important in terms of nutritional value. Due to its phenolic compounds, *Ulva lactuca* also has antimicrobial, i.e., antifungal and antibacterial activity. The polysaccharide content of *Ulva lactuca* has antiviral effects against the human influenza virus in vitro. The extract of *Ulva lactuca* exhibits cytostatic and cytotoxic effects against cancerous colonic epithelial cells. The polysaccharides contained in *Ulva lactuca* are used in the production of economically important gelling agents (Gürsoy, 2012). Ulva species have the potential to become commercial products due to their taste, chemical composition, and quality. They are well-known sources of industrially important biopolymers. Their organic extracts exhibit antibacterial, antifungal, and antioxidant activity against cancer cell lines. *Ulva lactuca* contains bioactive compounds with antibacterial potential, such as alkaloids, flavonoids, tannins, steroids, saponins, and anthraquinones. Furthermore, sulfated polysaccharides, phenolics, terpenoids, lactones, sterols, and fatty acids present in its composition are responsible for its antioxidant activity. *Ulva lactuca* is widely used in medicine due to its biological activities such as anti-ulcer, anti-cancer, antibacterial, antiviral, antifungal, antiprotozoal, anti-inflammatory, antioxidant, anticoagulant,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

antiperoxidative, antihyperlipidemic, hepatoprotective, anti-hypercholesterolemia, and immunostimulatory effects (Öztürk and Hamzaçebi, 2019; Alotaibi et al. 2026).

Ulva lactuca exhibits a decrease in density as water temperature drops in winter and an increase as water temperature rises. Its density reaches its maximum particularly in summer. It is rich in vitamins A, B1, B2, B3, B9, B12, C, D, and E, as well as minerals. It contains an average of 21.6 percent crude protein in dry matter. In terms of percentages, its dry matter contains: 1.8 percent histidine, 6.1 percent isoleucine, 9.2 percent leucine, 1.8 percent methionine, 6.3 percent phenylalanine, 4.6 percent trionin, 7.7 percent valine, 6.3 percent lysine, 8.5 percent alanine, 5.1 percent arginine, 9.2 percent aspartic acid, 2.2 percent cystine, 7 percent glycine, 10 percent glutamic acid, 5.2 percent proline, and 4 percent serine. Recently, this type of alga is being dried and powdered, and the prepared product is particularly added to fast food products. In addition to being used as food, polysaccharides with antioxidant properties, called Ulvans, are obtained from it. *Ulva lactuca* contains 38 or 54 percent polysaccharides in dry matter. Furthermore, this species is used in skin creams due to its skin moisturizing and firming properties (Turna and Uzunköprü, 2015). *Ulva lactuca* has low cytotoxicity and excellent biocompatibility. Due to its bioactivity, it is an ideal algae species for pharmaceutical, nutraceutical, and functional food applications. In histological investigations of lung tissues, dose-dependent improvement was observed with the aqueous extract of *Ulva lactuca* (Alotaibi et al. 2026). For these reasons, *Ulva lactuca* offers a bioecologically nutritious and natural medicinal property.

3. CONCLUSION

Ulva lactuca is a species of algae of great bioecological and economic importance. Globally, the identification and monitoring of *Ulva lactuca* populations is crucial. Advanced biotechnological research on *Ulva lactuca* and its bioecology is enabling various advancements. Therefore, it is necessary to continue these advanced biotechnological studies on *Ulva lactuca* and its bioecology. *Ulva lactuca* is a promising biological resource that makes significant contributions to sustainable and bioeconomic development.

RFERENCES

Ak, E. 2023. Investigation of Antioxidant and Antibacterial Properties of Liposomal Formulation of *Ulva lactuca* Extract. Bursa Technical University, Graduate Education Institute, Biotechnology Department, Master's Thesis, pp. 80.

Aktar, S. 2012. Investigations about Morphology and Stability of Phenolic Compounds of *Ulva lactuca*. Ege University, Institute of Health Sciences, Department of Pharmacy, Master's Thesis, pp. 103.

Alotaibi, B.S., El-Masry, T.A., El-Bouseary, M.M., El-Sheekh, M.M., Saleh, A., Sultan, A.M., Alosaimi, M.E., El-Nagar, M.M.F. 2026. Antioxidant and Anti-Inflammatory Activities of *Ulva lactuca* Aqueous Extract: An in Vitro and in Vivo Study Supported with Phytochemical Profiling. Chemistry and Biodiversity, 23(1): 1-10.

Altuner, Z. 1998. Seedless Plants Systematics. First Volume, Özyurt Ofset and Tipo Printing, Ankara, pp. 186.

Apaydın, G., Aylıkcı, V., Cengiz, E., Saydam, M., Küp, N., Tıraşoğlu, E. 2010. Analysis of Metal Contents of Seaweed (*Ulva lactuca*) from İstanbul, Turkey by EDXRF. Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 10: 215-220.

Carvalho, A., Müller, L., Rosas, V., Tesser, M.B., Lima, J.L., Turan, G., Pias, M., Poersch, L.H. 2025. Evaluation of the Inclusion of the Seaweed *Ulva lactuca* Produced in an Integrated

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

System with Biofloc in the Diet of Juvenile Tilapia *Oreochromis niloticus*. Applied Sciences, 15(6410):1-16.

Cirik, Ş., Cirik, S., 2011, Aquatic Plants I, Biology, Ecology and Cultivation Techniques of Marine Plants. Ege University Faculty of Fisheries Publications No: 58, pp. 172.

Gürsoy, I.Ö. 2012. Effects of Different Extraction Methods of *Ulva lactuca* on Total Phenolic Compounds. Ege University, Institute of Health Sciences, Department of Pharmaceutical Botany, Master's Thesis, pp. 94.

ITIS, 2026. Integrated Taxonomic Information System for *Ulva lactuca* Linnaeus, 1753. https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=6562#null, Taxonomic Serial No: 6562, Access Date: 18. 03.2026.

Khan, N., Sudhakar, K., Mamat, R. 2024. Eco-friendly Nutrient from Ocean: Exploring Ulva seaweed Potential as a Sustainable Food Source. Journal of Agriculture and Food Research 17 (10123): 1-18.

Koçer, A.T. 2023. Production Optimization of Metallic Nanoparticles by Green Synthesis from Algae and Investigation of Antibacterial Activities of These Nanoparticles. Yıldız Technical University, Institute of Science, Department of Bioengineering, Ph.D. Thesis, pp. 136.

Mohammadpour, S., Viana, T., Freitas, R., Pereira, E., Henriques, B. 2026. Remediation Potential of *Ulva lactuca* for Europium: Removal Efficiency, Metal Partitioning and Stress Biomarkers. Journal of Xenobiot, 16(20): 1-17.

Orhan, Y. 2019. Investigation of Antimicrobial and Antioxidant Effects of Extracts Obtained from Sea Lettuce (*Ulva lactuca* Linnaeus, 1753). İstanbul University, Institute of Science, Fisheries and Aquaculture Processing Technology Department, Ph.D. Thesis, pp. 162.

Öztürk, F., Hamzaçebi, S. 2019. Antibacterial Activity of *Ulva lactuca* Extracts Prepared with Different Solvents. Acta Aquatica Turcica, 15(3): 272-279.

Özden, T. 2015. Ecology and Urbanization. Gaia Journal, 1-2.

Rasyid, A., 2017. Evaluation of Nutritional Composition of the Dried Seaweed *Ulva lactuca* from Pameungpeuk Waters, Indonesia, Tropical Life Sciences Research, 28(2): 119-125.

Putra, N.R., Fajriah, S., Qomariyah, L., Dewi, A.S., Rizkiyah, D.N., Irianto, I., Rusmin, D., Melati, M., Trisnawati, N.W., Darwati, I., Arya, N.N., 2024. Exploring the Potential of *Ulva Lactuca*: Emerging Extraction Methods, Bioactive Compounds, and Health Applications - A Perspective Review. South African Journal of Chemical Engineering, 47: 233-245.

Sobuj, M.K.A., Rahman, S., Bhadra, A. 2026. Evaluation of *Ulva lactuca* Seedling Production using Fragment Regeneration Method: A Lab to Sea Approach. Next Research, 5(101323): 1-8.

Su, A. 2017. The Effect of Sea Lettuce (*Ulva lactuca* L.) Liquid Organic Fertilizer and Zeolite Combinations on the Development of Cucumber Plant (*Cucumis sativus* L.). Giresun University, Institute of Science, Department of Biology, Master's Thesis, pp. 49.

Su, A. 2024. Effect of Vermicompost Enriched with Sea Lettuce (*Ulva lactuca*) on Vegetable (*Cucumis sativus*) Yield. Giresun University, Institute of Science, Biology Department, Doctoral Thesis, pp. 75.

Turna, İ.İ., Uzunköprü, Ç. 2015. The Seasonal Changes and Regional Evaluability of Sea Lettuce (*Ulva spp*. and *Enteromorpha spp*.) Distributed in İstanbul Bosphorus. Eğirdir Faculty of Fisheries Journal, 11(2): 1-7.

Uslu, F.M. 2014. Removal of Acridine Orange from Aqueous Solution by Adsorption using *Ulva lactuca*, *Lemna gibba*, and Kinetic Modelling. Çukurova University, Institute of Science, Department of Biotechnology, Master's Thesis, pp. 71.

Yıldırım, Ö., Ergün, S., Yaman, S., Türker, A. 2009. Effects of Two Seaweeds (*Ulva lactuca* and *Enteromorpha linza*) as a Feed Additive in Diets on Growth Performance, Feed

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Utilization, and Body Composition of Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi, 15 (3): 455-460.

Yıldırım, S. 2018. Investigation of Biological Activities of Actinomycetes Isolated from *Ulva lactuca* Compost. Giresun University, Institute of Science, Department of Biology, Master's Thesis, pp. 68.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ABNORMAL OTOLITH PARADOX: ASSESSING THE INFORMATIONAL INTEGRITY OF CRYSTALLOGRAPHIC DEVIATIONS

Assoc. Prof. Dr. SERDAR YEDİER

Department of Molecular Biology and Genetics, Faculty of Arts and Sciences, Ordu University, Ordu, Türkiye; serdar7er@gmail.com-https://orcid.org/0000-0003-0017-3502

ABSTRACT

Otoliths in fish are bony structures important for balance and auditory perception. These structures form as calcium carbonate accumulates throughout the fish's life and serve as records of its life cycle. Otoliths in fish can display all three main calcium carbonate polymorphs: calcite, aragonite, and vaterite. In fish, these otoliths are of three types: lapillus, sagitta, and asteriscus. Sagittal otoliths are species-specific and provide high discrimination power for species differentiation. Otoliths have long been frequently preferred in many fish studies, such as age determination, population, stock, and species differentiation, due to their low cost, effectiveness, and high discrimination power compared to other methods. However, in some unstable conditions in fish, abnormal otoliths can form due to the accumulation of different crystal forms. This abnormality causes the otolith to appear different both morphologically and structurally. Using such otoliths in studies such as age and species determination may detract from scientific accuracy. Abnormal otoliths due to morphological and structural discrepancies are discarded and considered as trash. However, these otoliths can provide us with some valuable information about the organism and its habitat, such as pollution, stress, and genetic predisposition. Furthermore, an increase in individuals with abnormal otoliths can affect the future of the population rather than being just an individual problem. In this respect, abnormal otoliths can be used as indicators of these conditions. Therefore, abnormal otoliths are just as much, if not more, hidden treasures of fish life, and are even the most special.

Keywords: fish otoliths, abnormality, environmental stress, indicators.

1. INTRODUCTION: THE DELICATE BALANCE OF BIOMINERALIZATION

Fish are critical organisms for the sustainability of aquatic ecosystems and human well-being (Turlybek et al., 2025). At the center of the food chain in marine and freshwater ecosystems, fish help maintain biodiversity by balancing energy flow (Kaiser et al., 2011). Globally, the fisheries and aquaculture sector, which constitutes a basic source of protein for humans, is a huge economic force providing employment to millions of people (Organisation for Economic Co-operation and Development, 2010). For Turkey, a country surrounded by seas on three sides and possessing rich inland water resources, fisheries represent both a cultural heritage and a growing economic value. Türkiye is one of Europe's leading producers, particularly with its wide ichthyofauna diversity in the Mediterranean, Aegean, Marmara, and Black Seas, and its rapidly developing aquaculture capacity (Can & Mazlum, 2025; Kaya et al., 2026). Furthermore, fish serve as a unique laboratory for the conservation of biological heritage

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

and scientific research in Türkiye's marine and freshwater ecosystems, especially endemic fish species. Sustainability of this heritage can only be ensured by recognizing, understanding, and monitoring it in the best possible way. At this point, identifying fish species and populations is of strategic importance for the conservation of biodiversity and the proper management of stocks. While traditional and modern methods used in this process provide important data on the fish life cycle, otolith analysis is one of the most comprehensive approaches among these methodologies (D'Iglio et al., 2022).

Otoliths are calcium carbonate crystals located in the canals of the inner ears of fish, primarily responsible for balance and hearing. In bony fish, otoliths are three pairs, named sagitta, lapillus, and asteriscus (Schwarzhans et al., 2017). In fish biology, otoliths are most used for age determination and growth rate assessment, thanks to the layers that are added to them daily and annually (Campana, 2001). In addition, due to the species-specific morphological characteristics of sagittal otoliths, they can be used in species identification studies, in predator-prey studies because they are not digested in the stomach, and in archaeological studies for the taxonomic identification of fish (Jobling & Breiby, 1986; Van Neer et al., 2002; Tuset et al., 2008). Furthermore, since the chemical structure of otoliths permanently records the elemental and isotopic composition of the water in which the fish is located, they are widely used in studies to determine the migration routes, habitat preferences, and stock structures of fish throughout their life cycles (Campana, 1999; Elsdon et al., 2008). Therefore, heavy metal accumulation or anomalies in the crystal structure of otoliths are also used in biomarker studies to understand the effects of environmental stress factors such as water pollution and climate change on fish populations (Geffen et al., 1998; Sweeting et al., 2004; Daros et al., 2022).

The formation of otoliths in fish is not a random precipitation process of calcium carbonate, but a controlled biomineralization event governed by an extracellular matrix. In aquatic environments, the growth of otoliths in fish occurs through ion exchange between the endolymph fluid in the ears and surrounding tissues (Allemand et al., 2007). The supersaturation of calcium and carbonate ions in the endolymph causes the precipitation of calcium carbonate crystals, leading to the formation of growth rings in the otoliths (Payan et al., 1999). However, the presence of ions alone is not sufficient for this process, as the presence of otoliths and other protein matrices is necessary to determine where and how the calcium crystals will adhere (Borelli et al., 2003). This process occurring in otoliths allows the otolith to acquire the species-specific characteristic morphology for the relevant fish species. However, fish are exposed to different influences in their living environment, which can directly or indirectly affect such events. For instance, the pH level of the endolymph fluid can directly affect the solubility of the relevant ions, triggering the clarity of micro-increases in otoliths or the formation of abnormal crystal structures (Campana, 1999; Morales-Nin, 2000). Calcium carbonate, the main structural element of otoliths, exhibits various structural polymorphisms in nature, such as aragonite, vaterite, and calcite. Aragonite, with its orthorhombic structure and high density, is the most common standard structure in fish. Vaterite, on the other hand, has a hexagonal structure, lower density, and is less thermodynamically stable. Calcite, with its trigonal structure, is the rarest crystalline form found in otoliths (Falini et al., 2005; Qafoku et al., 2022).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Normal sagittal otolith is like a species-specific fingerprint, with its shape, crystal structure, and microstructural components such as rostrum and antirostrum (Tuset et al., 2008; Yedier et al., 2023a). Furthermore, fundamental parameters of sagittal otoliths, such as otolith length, otolith width, otolith area, and otolith perimeter, and shape indices calculated from these parameters, such as form factor, ellipticity, length-to-width ratio, circularity, roundness, and rectangularity, are frequently preferred features in population dynamics analysis (Bostancı & Yedier, 2018). These features are what make otoliths unique. In literature, otoliths are also referred to as unique bony structures that provide information about the fish's life and habitat (Campana, 2005). However, when anomalies occur, especially in sagittal otoliths, irregular growth can completely distort the otolith's natural shape, transforming it into an amorphous structure and blurring the species-specific morphological and morphometric boundaries of the otoliths. In such cases, when species-specific morphometric characteristics like the sagitta are subject to anomalies, researchers tend to classify these samples as erroneous data and exclude them from analysis. Excluding anomalies to clean the dataset essentially means destroying the most tangible evidence of the stress the ecosystem is experiencing, creating a paradox by portraying a hidden treasure, a bony structure as unreliable.

2. ETIOLOGY OF ABNORMALITY: BIOCHEMICAL RECORDS OF STRESS

Whether fish are raised in their natural environment or in aquaculture, abnormal otolith formation is not merely a morphological deviation; it is a tangible result of thermodynamic and biochemical imbalance in the endolymph fluid of the fish's inner ear. Under normal conditions, calcium carbonate ($CaCO_3$) crystallizes in the sagittal otolith of the inner ear in an aragonite (orthorhombic) structure. However, under certain environmental stressors (temperature, pH, heavy metals, anthropogenic substances, etc.), it can transform into a more unstable and lower density vaterite polymorph (Bostancı & Yedier, 2025; Yedier, 2025). Since fish are ectothermic organisms, sudden changes in water temperature in their habitat directly affect their metabolic rate and ion transfer mechanisms. For instance, in such a thermal stress situation, it can disrupt the calcification process in otoliths by altering the folding structure of proteins like otolin-1 that make up the otolith matrix (Murayama et al., 2002; Murayama et al., 2005). This leads to shifts in the crystal growth axes and the formation of otoliths that are characterized as abnormal or amorphous. In addition, fish can form abnormal otoliths due to aquatic toxicity and anthropogenic pressures (Reimer et al., 2016). For instance, many heavy metals and endocrine disruptors that cause toxicity in the aquatic system can mimic calcium channels in the inner ear of fish, displacing their ions, or these toxic elements can block the channel, disrupting endolymph chemistry (Bridges & Zalups, 2005). This can affect the calcification process in the otolith, leading to the formation of amorphous structures. In aquaculture fish species, in addition to these, a process that can be described as acoustic trauma may also occur. In the literature, otolith anomalies in fish in aquaculture environments are considerably more common than in natural populations, and this excess has been mentioned in many studies (Reimer et al., 2016). During this process, noise and vibration in the environment, which vary according to the fish density in the breeding ponds/tanks, can trigger crystallization defects by creating mechanosensory pressure on the sagitta (Wysocki et al., 2007; Sholes et al., 2024). In addition to all this, it was reported that this abnormality in otoliths may have a background such as genetic predisposition (Sweeting et al., 2004; Austad et al., 2021; Yedier et al., 2024). However,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

many researchers suggest that instead of attributing it to a single cause, these factors may have a combined effect (Bostancı & Yedier, 2025; Yedier, 2025).

3. EFFECTS OF ABNORMAL OTOLITHS ON ANALYTICAL DATA INTEGRITY

Otolith studies in fish are widely used to determine age, understand migration routes, and analyze population dynamics (Campana, 1999; Campana, 2001; Bostancı & Yedier, 2018). However, the inability to identify abnormal otoliths or the failure to perform abnormal otolith detection procedures before starting studies can seriously jeopardize the accuracy of these research findings.

3.1. Errors in Age Determination and Growth Parameters

Age determination in fish species is primarily based on counting the annual rings, known as annuli, on the otolith (Campana, 2001). Abnormal otoliths, with their vateritic crystal structure, are less dense than normal otoliths, which have an aragonite crystal structure (Lewis et al., 2022). This density difference between the crystals makes it difficult to read the rings because different otoliths refract light differently during microscopic examination. Furthermore, growth rings in abnormal otoliths are often irregular or completely indistinct, meaning the rings are missing (Reimer et al., 2016). This situation leads to inaccurate age determination in fish age studies, resulting in some individuals being estimated to be much younger or older than their actual age. For instance, Sweeting et al. (2004) note that the transparent and fragile nature of vateritic otoliths makes it impossible to read age rings. This can lead to inaccurate calculations of age-length keys used in fisheries management, thus jeopardizing the sustainability of fish stocks.

3.2. Microchemical Analysis Deviations

Otoliths play a crucial role in determining the environment and migration routes of fish by trapping the chemical signature of the water in their habitat (Campana, 1999). However, abnormal otoliths are less suitable because their crystal lattice structures are larger than those of normal otoliths, making them thermodynamically less conducive to retaining ions like strontium (Sr) and barium (Ba) (Lewis et al., 2022; Murase et al., 2023). In this case, two fish in the same water, one with vateritic otoliths, will accumulate significantly less Sr/Ba than the one with aragonitic otoliths (Melancon et al., 2005; Lewis et al., 2022). In fisheries biology, the Sr/Ca ratio represents the salinity of seawater, while the Ba/Ca ratio generally represents freshwater inflows or nutrient orientation (Macdonald & Crook, 2010; Avigliano et al., 2021). This difference in retention in the abnormal otolith causes the organism to be perceived as being in different water bodies. Brown & Severin (2009) presented that the Sr/Ca ratio in vateritic tissue was 25% to 40% lower than in aragonite tissue. Even if the fish remains in the same salinity environment throughout its life, if a portion of its otolith transforms into vaterite, the analysis results may incorrectly indicate that the fish suddenly moved from saltwater to freshwater. For instance, if only a portion of the otolith (e.g., the juvenile stage) is vateritic, the researcher might observe the low strontium levels during that period and report that the fish spent its juvenile years in a low-salinity stream estuary (Melancon et al., 2005; Brown &

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Severin, 2009). These situations can lead to the misidentification of critical habitats that need to be protected for fish, causing errors in determining fish migration routes.

3.3. Population Parameter Evaluation Errors

Population studies commonly rely on the length-age relationship and the von Bertalanffy growth model as the most fundamental parameters (Haddon, 2011). Abnormal otoliths are often larger than they are or have indistinct rings. If researchers try to read these otoliths, they may mistakenly estimate the fish to be older or younger than it is. This can lead to an overestimation of the population's growth rate, resulting in inaccurate fishing quotas. These situations can lead to the misdetermination of fishing quotas. Furthermore, in population assessments, natural mortality is often derived from age. Individuals with abnormal otoliths (due to hearing and balance loss) are known to be more vulnerable to predators and have a lower chance of survival in the wild (Reimer et al., 2016). If you exclude fish with abnormal otoliths from your sample, you overestimate the overall survival rate of the population. This creates a dangerous optimism that masks the risk of overfishing. In some aquatic systems, multiple stocks may coexist (Cadrin et al., 2014; Kerr & Campana, 2014). Otolith shape analysis or microchemical signatures used to differentiate stocks can be distorted due to vateritic structure. Thus, two different stocks may appear as if they were a single stock, or vice versa, a portion of the same stock may be reflected in statistics as a different group due to abnormal otoliths. This can lead to incorrect stock management. The age data of fish in relevant aquatic populations is crucial for determining when they reach sexual maturity (Haddon, 2011). If errors are made at this point, the population's capacity for self-renewal will also be miscalculated. For instance, allowing the harvest of young fish that haven't yet reproduced, mistakenly believing them to be adults, can lead to population collapse.

3.4. Errors in Type and Stock Definition

Otolith morphology and shape are like fingerprints used to identify fish species and differentiate populations (Tuset et al., 2008; Bostancı et al., 2015). For this reason, otoliths are widely used to distinguish fish species and stocks (Campana & Casselman, 1993; Bostancı et al., 2015; Bostancı & Yedier 2018). Abnormal otoliths, when compared to normal otoliths, are often larger, more fragile, and asymmetrical, exhibiting different appearances (Sweeting et al., 2004; Reimer et al., 2016). Campana (2004) highlighted that otolith shape analyses yield non-standard results due to abnormal crystal development. These results can lead researchers to mistakenly identify fish belonging to the same population as separate subspecies or stocks due to morphological differences. Normal aragonite otoliths grow slowly, correlating with the fish's growth rate (Campana & Neilson, 1985). However, the vaterite crystal in abnormal otoliths has a much faster sedimentation rate than aragonite (Sweeting et al., 2004; Reimer et al., 2016). This rapid growth disrupts the natural structure of the otolith's edge morphology (contour). Rugosity and circularity indices, used in stock differentiation, can be artificially increased due to anomalies. Gagliano & McCormick (2004) reported that even small changes in otolith morphology provide information about an individual's history, but abnormal growth rates completely erase this morphometric signature. In this case, even if two different stocks have

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

similar growth patterns, a high rate of anomalies in one group can make that group appear as a statistically distinct phenotype.

In modern stock separation studies, otolith images are analyzed by converting them into wavelet or Fourier series using image processing and mathematical evaluations. Such analyses separate the otolith shape into low-frequency and high-frequency components. Abnormal formation creates irregular indentations and protrusions at the otolith edge. This can lead to extreme variation in wavelet points or Fourier coefficients. While Stransky & MacLellan (2005) emphasize the power of Fourier analysis in stock separation, they argue that crystallization defects create significant noise in high-frequency harmonics, masking the true biological difference between populations. In otolith-based studies, the separation of some sister species relies solely on the sulcus acusticus or rostrum structure on the otolith. In abnormal otoliths, this abnormal formation can fill the sulcus region of the otolith or completely alter the shape of the rostrum. Tuset et al. (2003) reported that the shape of the otolith is a species-level fingerprint, but morphological abnormalities blur this fingerprint. This can lead to inaccurate calculations of interspecies morphometric distances.

3.5. Biophysical Limitations

Otoliths have a higher density than the surrounding tissues. This density difference causes the otolith to vibrate when sound waves pass through, and the signals from this vibration are converted into neural signals by the cells (Popper & Lu, 2000). Vaterite crystals have a considerably lower density than aragonite (Tomás & Geffen, 2003). If the lower density vaterite replaces the heavier aragonite, the mass of the otolith changes, negatively affecting the fish's acoustic sensitivity and balance control (Reimer et al., 2016). Therefore, the hearing threshold is elevated in an individual with abnormal otoliths. This can lead to limitations in vital behaviors such as escaping predators, hunting, or finding mates, acting as a biophysical barrier (Schulz-Mirbach et al. 2019; Yedier et al., 2025). Vateritic structure in abnormal otoliths can significantly reduce a fish's ability to escape predators and navigate (Yedier, 2025; Yedier et al., 2025). This is not an individual problem but a hidden treasure that directly threatens the population's stock structure and reproductive success. Reimer et al. (2016) reported that vateritic levels reached 50%, particularly in farmed fish, and that these fish's hearing capacity decreased by up to 50%. This hearing loss prevents the fish from escaping predators and finding feeding areas when released into the wild, thus distorting ecological experiment results.

4. METHODOLOGICAL APPROACHES AND ANALYSIS TECHNIQUES

In otolith-based studies, identifying the presence of abnormal otoliths within the dataset is a crucial and critical step. Determining the crystallographic and morphological structure of abnormal otoliths requires a multidisciplinary analysis set beyond classical light microscopy. These techniques can be broadly categorized under three main headings.

4.1. Microscopic Analyses

Scanning Electron Microscopy (SEM) is a highly useful method for examining the surface topography of otoliths at the nanometer scale. The difference between the regular, acicular arrangement of normal aragonite crystals and the random, spherical aggregates of

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

vaterite can be clearly revealed with SEM (Yedier et al., 2025). In addition, this characterization can be done using morphometric characterization methods. For instance, morphometric and morphological characters used to identify otoliths can also utilize indices such as the circularity, symmetry, and surface roughness of the otolith to determine the degree and type of anomaly.

4.2. Spectroscopic Verification

Spectroscopic verification is another commonly used methodology. In this methodology, Raman spectroscopy allows for the determination of the polymorphs of crystals without damaging the otolith sample (Lewis et al., 2022; Yedier et al., 2023b; Jawad et al., 2025). In this analysis, aragonite and vaterite crystals have characteristic peak points. Based on these characteristic peaks, the crystal phase can be precisely determined. In Raman spectroscopy, the strongest peak for aragonite crystal is 1085 cm^{-1}, while the characteristic peaks are 153 cm^{-1} and 206 cm^{-1}; for vaterite crystal, the strongest peak is 1087 cm^{-1} or 1090 cm^{-1}; the distinguishing peaks are 300 cm^{-1} and 750 cm^{-1}; The strongest peak of the calcite crystal is at 1085 cm^{-1}, while the characteristic peaks are at 155 cm^{-1} and especially 281 cm^{-1} (Lewis et al., 2022; Yedier et al., 2023b; Jawad et al., 2025). Therefore, the peaks in the 300 cm^{-1} and 750 cm^{-1} regions are quite important in highlighting the presence of anomalous otoliths.

4.3. X-ray Diffraction (XRD) Analysis

In addition, anomalous otoliths can be distinguished by characterizing their crystal phases using XRD (X-ray diffraction). Although aragonite and vaterite have the same chemical formula ($CaCO_3$), their atomic arrangements differ (Gauldie, 1993). Aragonite crystals have an orthorhombic crystal system with lattice parameters of approximately a = 4.95 Å, b = 7.96 Å, and c = 5.74 Å (Hazen et al., 2013). Vaterite crystals, on the other hand, have a hexagonal crystal system with unit cell dimensions of approximately a = 4.13 Å and c = 8.49 Å (Kamhi, 1993). X-ray diffraction can be used to detect otoliths with anomalous structures by taking advantage of these differences in the lattice parameters of the crystals (Cook et al., 2018).

4.4. Digital Image Processing

Digital image processing and automated classification algorithms also play a critical role in minimizing human error and processing large datasets in otolith analysis. Analysis of vaterite formations in otoliths using digital image processing allows for the mathematical expression of morphological distortions and crystal structure changes. These Python-based approaches can detect vaterite texture, particularly based on the principle that translucent vaterite texture has different light transmittance and surface properties than normal opaque aragonite texture. For instance, the difference in density between normal aragonite and vaterite regions allows for segmentation on the surface. Python-based software can use functions like `cv2.adaptiveThreshold` to identify the edges of vaterite regions based on local illumination, isolating areas of vaterite that appear darker or more transparent than the aragonite texture (Bradski & Kaehler, 2008; Gonzalez & Woods, 2018). Similarly, these Python-based programs can identify the periphery of vaterite regions by detecting high-gradient areas (texture change boundaries), such as transitional boundaries formed by vaterite crystals, using functions like the canny algorithm (Maini & Aggarwal, 2009). In contrast, these programs can use feature extraction, texture analysis, and grayscale co-occurrence matrices to identify regional

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

differences in areas within images by exploiting texture irregularities and variations in crystal arrangement within the image (Datta et al., 2012). This method allows abnormal otoliths to be easily distinguished from normal otoliths by taking advantage of these differences.

5. INFORMATIONAL INTEGRITY OF CRYSTALLOGRAPHIC DEVIATIONS: RESOLVING THE PARADOX

Traditional ichthyology defines anomalous otoliths as noise that disrupts scientific accuracy, while the modern approach argues that this noise itself is a significant message.

5.1. Age Determination Paradox and Methodological Transformation

The unreadability of growth rings in anomalous otoliths due to the vaterite crystal structure can create a significant data loss in age determination studies, but this unreadability may represent a critical break in the fish's life cycle, such as a severe disease or migration disruption (Gauldie, 1996; Sweeting et al., 2004). Scientific accuracy can be achieved not by discarding this sample, but by analyzing the cause of this break.

5.2. Microchemical Traces and Biomarker Potential

Transition of crystals from aragonite to vaterite in the otolith involves not only a morphological difference but also a radical change in the retention rates of trace elements in the otoliths during this transition (Melancon et al., 2005). Microsections taken from abnormal regions can act as a sensitive biodetector, providing a chemical fingerprint that reveals the type of specific stressor the fish was exposed to at that time (Brown & Severin, 1999). In this context, abnormal otoliths function as a chronological toxicity log of water pollution, not only at that moment but throughout the fish's entire life cycle (Campana, 1999; Vignon & Morat, 2010). These structures are a unique data source for understanding bottlenecks that the population has encountered in the past and can become even more useful as biomarkers.

5.3. Genetic and Ecological Prediction

The presence of abnormal otoliths serves as a critical biological indicator of ecosystem resilience and stability. In healthy systems, negative feedback mechanisms maintain homeostasis (Begon et al., 2006); however, an increasing prevalence of vateritic otoliths signaling a breakdown in these controls. Such anomalies, shifting from aragonite to vaterite, reflect physiological stress stemming from thermal fluctuations, pollution, or anthropogenic pressures that exceeds an organism's tolerance threshold (Yedier et al., 2025). From a population perspective, these crystalline distortions are early warning signals of a declining carrying capacity and potential ecological collapse (Catton, 1980; Scheffer et al., 2009). Beyond individual developmental defects, high abnormality rates and fluctuating asymmetry between right and left otoliths indicate weakened developmental stability and a narrowing genetic pool (Graham et al., 2010). In conservation biology, monitoring abnormality scores provides a proactive tool for assessing the health of endemic or endangered species (McKenzie et al., 2016). Identifying genetically less tolerant individuals through these morphological markers allows for the detection of decreased population resilience long before mass mortality or genetic drift occurs. Consequently, the frequency of abnormal otoliths stands as the clearest biochemical evidence of an ecosystem’s diminishing ability to absorb environmental stressors.

In population assessments, managing different genetic stocks as if they were a single stock is a common mistake. For instance, the presence of 15% vaterit in fish in region A and

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2% in region B, i.e., differences in the frequency of abnormal otoliths, demonstrates that these two groups are under different environmental and genetic pressures. This data supports genetic analyses and helps to more accurately delineate stock boundaries. Abnormal otoliths can contribute not only to genetic defects but also to how genes interact with the environment, i.e., epigenetically. If the proportion of individuals with abnormal otoliths increases rapidly in a population, this indicates that the population has reached the end of its adaptive capacity in that ecosystem (Scheffer et al., 2009). These individuals generally have lower reproductive success because they cannot escape predators due to hearing and balance impairments (Yedier, 2025; Yedier et al., 2025). In addition, abnormal otoliths can prevent errors when measuring the impact of farm escapes on wild populations of farmed fish. The rate of abnormality in farmed fish is approximately 10 times higher than in wild fish (Reimer et al., 2016). Removing abnormal otoliths from the data means underestimating the rate of farm escapees entering wildlife, which leads to an underestimation of the ecological impact.

6. CONCLUSION AND FUTURE PERSPECTIVES

In the past, vateritic or deformed structures were considered non-standard in otolith research and excluded from datasets. Studies that excluded abnormal otoliths produced biased results by excluding the most vulnerable or stressed individuals in the population from the analysis. Abnormal otoliths are positioned not as biological errors, but as the most honest and enduring witnesses to aquatic life. This is because these structures in living organisms are not accidental; rather, they are a hidden treasure trove of information about the fish's metabolic and environmental history. Several perspectives can be offered on why abnormal otoliths might be a hidden treasure. Firstly, this anomaly is essentially an environmental record. If we can't use an otolith to determine the age of a fish, it's not a failure of the otolith itself. An abnormal otolith is evidence that the fish experienced metabolic stress, sudden temperature changes, or genetic pressure at some point in its life. For researchers, this is a direct biomarker in studies of environmental pollution or climate change. From a fish welfare perspective, examining these otoliths instead of discarding them as waste allows us to understand noise pollution, feeding errors, or water quality issues at the farm. In this context, abnormal otoliths are a health report for the farm. Anomalous otoliths can also contribute to the investigation of the mysteries of biomineralization. For molecular biologists seeking to understand how calcium carbonate crystallizes in biological organisms, anomalous otoliths provide a unique laboratory. Understanding how nature sometimes chooses the wrong crystalline form can serve as a model for materials science and medicine. From the perspective of auditory and behavioral ecology, if a fish's otolith is abnormal, its performance in nature changes. If we eliminate these fish, we would only be studying the perfect ones in the natural population. However, nature is not perfect, and studying individuals with abnormal otoliths is critical to understanding how natural selection works. Many studies on abnormal otoliths have reported that abnormal otoliths are observed not only in large individuals but also in small individuals, and that this anomaly is not directly related to weight or length (Reimer et al., 2017; Yedier, 2022; Jawad et al., 2025; Yedier et al., 2025). Furthermore, it was reported that this abnormality is not related to gender (Yedier & Bostancı, 2020; Yedier et al., 2024). Moreover, it has been stated that it is quite difficult to distinguish a fish with abnormal otoliths from one with normal otoliths based on morphological appearance. In addition, it was reported that this abnormality in otoliths can

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

occur only in the left or only in the right otoliths, or in both otoliths (Yedier, 2022; Yedier et al., 2024; Reis et al., 2025). When we consider all of this together, abnormal otoliths require a very comprehensive assessment and cannot be resolved by excluding them from the dataset. Although vaterite is noise (error) in scientific measurements, it is a signal in natural reality. In scientific studies, we should study the actual otolith rather than the perfect otolith. In this way, we can accurately bridge the gap between laboratory data and real field data. Future otolith studies should include anomalous otolith analyses to obtain preliminary information about the population. Adding a new dimension to their work in stock management, otolith quality parameters should be included in stock health assessments in fisheries management, alongside age and growth parameters. In such studies, researchers should not limit themselves to morphology but support it with other methods. For instance, identifying and determining the extent of susceptibility to anomalous formation in specific genotypes within the relevant species and populations. Microelement analysis can be used to map elemental variations in the vateritic portions of anomalous otoliths.

REFERENCES

Allemand, D., Mayer-Gostan, N., De Pontual, H., Boeuf, G., & Payan, P. (2007). Fish otolith calcification in relation to endolymph chemistry. In *Handbook of Biomineralization: Biological Aspects and Structure Formation* (pp. 291-308). Wiley-VCH.

Austad, B., Vøllestad, L. A., & Foldvik, A. (2021). Frequency of vateritic otoliths and potential consequences for marine survival in hatchery-reared Atlantic salmon. *Journal of Fish Biology*, *98*(5), 1401-1409.

Avigliano, E., Pisonero, J., Bouchez, J., Pouilly, M., Domanico, A., Sánchez, S., Clavijo, C., Scarabotti, P., Facetti, J. F., Caffetti, J. D., del Rosso, F. R., Vegh, S. L., & Volpedo, A. V. (2021). Otolith Sr/Ca ratio complements Sr isotopes to reveal fish migration in large basins with heterogeneous geochemical landscapes. *Environmental Biology of Fishes*, *104*(3), 277-292.

Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology: From individuals to ecosystems* (4th ed.). Blackwell Publishing.

Borelli, G., Guibbolini, M. E., Mayer-Gostan, N., Priouzeau, F., De Pontual, H., Allemand, D., Puverel, S., Tambutte, E., & Payan, P. (2003). Daily variations of endolymph composition: Relationship with the otolith calcification process in trout. *Journal of Experimental Biology*, *206*(15), 2685-2692.

Bostancı, D., Polat, N., Kurucu, G., Yedier, S., Kontaş, S., & Darçin, M. (2015). Using otolith shape and morphometry to identify four *Alburnus* species (*A. chalcoides, A. escherichii, A. mossulensis* and *A. tarichi*) in Turkish inland waters. *Journal of Applied Ichthyology*, *31*(6), 1013–1022.

Bostancı, D., & Yedier, S. (2018). Discrimination of invasive fish *Atherina boyeri* (Pisces: Atherinidae) populations by evaluating the performance of otolith morphometrics in several lentic habitats. *Fresenius Environmental Bulletin*, *27*(6), 4493-4501.

Bostancı, D., & Yedier, S. (2025). First evidence of otolith abnormalities in *Belone belone* from the Sea of Marmara: An integrative approach to morphological deformities with light and scanning electron microscopy. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, *54*(3), 227-242.

Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. O'Reilly Media.

Bridges, C. C., & Zalups, R. K. (2005). Molecular and ionic mimicry and the transport of toxic metals. *Toxicology and Applied Pharmacology*, *204*(3), 274–308.

Brown, R. J., & Severin, K. P. (1999). Elemental distribution within polymorphic inconnu (*Stenodus leucichthys*) otoliths is affected by crystal structure. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *56*(10), 1898–1903.

Brown, R. J., & Severin, K. P. (2009). Otolith chemistry analyses indicate that water Sr:Ca is the primary factor influencing otolith Sr:Ca for freshwater and diadromous fish but not for marine fish. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *66*(10), 1790-1808.

Cadrin, S. X., Kerr, L. A., & Mariani, S. (2014). *Stock identification methods: Applications in fishery science*. Academic Press.

Campana, S. E. (1999). Chemistry and composition of fish otoliths: Pathways, mechanisms and applications. *Marine Ecology Progress Series*, *188*, 263-297.

Campana, S. E. (2001). Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use of skeletal structures. *Journal of Fish Biology*, *59*(2), 197-242.

Campana, S. E. (2004). *Photographic atlas of fish otoliths of the Northwest Atlantic Ocean*. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences 133, NRC Research Press.

Campana, S. E. (2005). Otolith science entering the 21st century. *Marine and Freshwater Research*, *56*(5), 485–495.

Campana, S. E., & Casselman, J. M. (1993). Stock discrimination using otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *50*(5), 1062-1083.

Campana, S. E., & Neilson, J. D. (1985). Microstructure of fish otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *42*(5), 1014–1032.

Can, M. F., & Mazlum, Y. (2025). Global warming and sustainable aquaculture in Türkiye: The case of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture International*, *33*, 249.

Catton, W. R. (1980). *Overshoot: The ecological basis of revolutionary change*. University of Illinois Press.

Cook, P. K., Mocuta, C., Dufour, É., Languille, M. A., & Bertrand, L. (2018). Full-section otolith microtexture imaged by local-probe X-ray diffraction. *Journal of Applied Crystallography*, *51*(4), 1182–1196.

D'Iglio, C., Natale, S., Albano, M., Savoca, S., Famulari, S., Gervasi, C., Lanteri, G., Panarello, G., Spanò, N., & Capillo, G. (2022). Otolith analyses highlight morpho-functional differences of three species of mullet (Mugilidae) from transitional water. *Sustainability*, *14*(1), 398.

Daros, F. A., Condini, M. V., Altafin, J. P., Ferreira, F. O., & Hostim-Silva, M. (2022). Fish otolith microchemistry as a biomarker of the world's largest mining disaster. *Science of The Total Environment*, *807*, 151780.

Datta, A., Dutta, S., Pal, S. K., Sen, R., & Mukhopadhyay, S. (2012). Texture analysis of turned surface images using grey level co-occurrence technique. *Advanced Materials Research*, *365*, 38–43.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Elsdon, T. S., Wells, B. K., Campana, S. E., Gillanders, B. M., Jones, C. M., Limburg, K. E., Secor, D. H., Thorrold, S. R., & Walther, B. D. (2008). Otolith chemistry to describe movements and life-history parameters of fishes: Hypotheses, assumptions, limitations and inferences. *Oceanography and Marine Biology, 46*, 297-330.

Falini, G., Fermani, S., Vanzo, S., Miletic, M., & Zaffino, G. (2005). Influence on the formation of aragonite or vaterite by otolith macromolecules. *European Journal of Inorganic Chemistry*, *2005*(1), 162-167.

Gagliano, M., & McCormick, M. I. (2004). Feeding history influences otolith shape in tropical fish. *Marine Ecology Progress Series*, *278*, 291-296.

Gauldie, R. W. (1993). Polymorphic crystalline structure of fish otoliths. *Journal of Morphology*, *218*(1), 1–28.

Gauldie, R. W. (1996). Effects of temperature and vaterite replacement on the chemistry of metal ions in the otoliths of *Oncorhynchus tshawytscha*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *53*(9), 2015–2026.

Geffen, A. J., Pearce, N. J., & Perkins, W. T. (1998). Metal concentrations in fish otoliths in relation to body composition after laboratory exposure to mercury and lead. *Marine Ecology Progress Series*, *165*, 235-245.

Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). *Digital image processing* (4th ed.). Pearson.

Graham, J. H., Raz, S., Hel-Or, H., & Nevo, E. (2010). Fluctuating asymmetry: Methods, theory, and applications. *Symmetry*, *2*(2), 466-540.

Haddon, M. (2011). *Modelling and quantitative methods in fisheries* (2nd ed.). Chapman and Hall/CRC.

Hazen, R. M., Downs, R. T., Jones, A. P., & Kah, L. (2013). Carbon mineralogy and crystal chemistry. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, *75*(1), 7–46.

Jawad, L. A., Güçlü, S. S., Koca, H. U., & Cilbiz, M. (2025). Scanning electron microscopy comparison of an abnormal and normal otoliths of the *Anguilla anguilla* collected from the Bafa Lake in Western Anatolia. *Acta Zoologica*, *106*, 343–351.

Jobling, M., & Breiby, A. (1986). The use and abuse of fish otoliths in studies of feeding habits of marine piscivores. *Sarsia*, *71*(3-4), 265-274.

Kaiser, M. J., Attrill, M. J., Jennings, S., Thomas, D. N., Barnes, D. K., Brierley, A. S., ... & Rafaelli, D. G. (2011). *Marine ecology: Processes, systems, and impacts*. Oxford University Press.

Kamhi, S. R. (1963). On the structure of vaterite CaCO3. *Acta Crystallographica*, *16*(8), 770–772.

Kaya, C., Ekmekçi, F. G., Turan, D., Özuluğ, M., Küçük, F., Sarı, H. M., ... & Yoğurtçuoğlu, B. (2025). A critical checklist of Turkish freshwater fishes (2026). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *26*(5), TRJFAS29729.

Kerr, L. A., & Campana, S. E. (2014). Chemical composition of fish hard parts as a natural marker of fish stocks. In *Stock Identification Methods* (pp. 205–234). Academic Press.

Lewis, L. S., Huang, J. L., Willmes, M., Fichman, R. A., Hung, T. C., Ellison, L. T., ... & Hobbs, J. A. (2022). Visual, spectral, and microchemical quantification of crystalline anomalies in otoliths of wild and cultured delta smelt. *Scientific Reports*, *12*(1), 20751.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Macdonald, J. I., & Crook, D. A. (2010). Variability in Sr:Ca and Ba:Ca ratios in water and fish otoliths across an estuarine salinity gradient. *Marine Ecology Progress Series*, *413*, 147-161.

Maini, R., & Aggarwal, H. (2009). Study and comparison of various image edge detection techniques. *International Journal of Image Processing (IJIP)*, *3*(1), 1-11.

McKenzie, D. J., Axelsson, M., Chabot, D., Claireaux, G., Cooke, S. J., Corner, R. A., ... & Metcalfe, J. D. (2016). Conservation physiology of marine fishes: State of the art and prospects for policy. *Conservation Physiology*, *4*(1), cow046.

Melancon, S., Fryer, B. J., Ludsin, S. A., Gagnon, J. E., & Yang, Z. (2005). Effects of crystal structure on the uptake of metals by lake trout (*Salvelinus namaycush*) otoliths. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *62*(11), 2609–2619.

Morales-Nin, B. (2000). Review of the growth regulation processes of otolith daily increment formation. *Fisheries Research*, *46*(1-3), 53–67.

Murase, I., Kawamoto, T., Akizawa, N., & Irie, T. (2023). Rearing in strontium-enriched water induces vaterite otoliths in the Japanese rice fish, *Oryzias latipes*. *Royal Society Open Science*, *10*(6), 230410.

Murayama, E., Takagi, Y., Ohira, T., Davis, J. G., Greene, M. I., & Nagasawa, H. (2002). Fish otolith contains a unique structural protein, otolin-1. *European Journal of Biochemistry*, *269*(2), 688–696.

Murayama, E., Herbomel, P., Kawakami, A., Takeda, H., & Nagasawa, H. (2005). Otolith matrix proteins OMP-1 and Otolin-1 are necessary for normal otolith growth and their correct anchoring onto the sensory maculae. *Mechanisms of Development*, *122*(6), 791-803.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2010). *Globalisation in fisheries and aquaculture: Opportunities and challenges*. OECD Publishing.

Payan, P., Edeyer, A., de Pontual, H., Borelli, G., Boeuf, G., & Mayer-Gostan, N. (1999). Chemical composition of saccular endolymph and otolith in fish inner ear: Lack of spatial uniformity. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *277*(1), R123–R131.

Popper, A. N., & Lu, Z. (2000). Structure–function relationships in fish otolith organs. *Fisheries Research*, *46*(1-3), 15-25.

Qafoku, N. P., Lawter, A. R., Gillispie, E. C., McElroy, E. M., Smith, F. N., Sahajpal, R., ... & Freedman, V. L. (2022). Calcium carbonate minerals as scavengers of metals and radionuclides: Their role in natural attenuation and remediation. In D. L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy* (Vol. 176, pp. 115–152). Academic Press.

Reimer, T., Dempster, T., Wargelius, A., Fjelldal, P. G., Hansen, T., Glover, K. A., ... & Swearer, S. E. (2017). Rapid growth causes abnormal vaterite formation in farmed fish otoliths. *Journal of Experimental Biology*, *220*(16), 2965–2969.

Reimer, T., Dempster, T., Warren-Myers, F., Jensen, A. J., & Swearer, S. E. (2016). High prevalence of vaterite in sagittal otoliths causes hearing impairment in farmed fish. *Scientific Reports*, *6*(1), 25249.

Reis, I., Jawad, L., & Ateş, C. (2025). Description of aberrant otolith morphology of *Saurida lessepsianus* (Aulopiformes, Synodontidae) collected from the coast of Muğla province, Aegean Sea, Turkey. *Acta Zoologica*, *106*, 309–317.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Scheffer, M., Bascompte, J., Brock, W. A., Brovkin, V., Carpenter, S. R., Dakos, V., ... & Sugihara, G. (2009). Early-warning signals for critical transitions. *Nature*, *461*(7260), 53-59.

Schulz-Mirbach, T., Ladich, F., Plath, M., & Heß, M. (2019). Enigmatic ear stones: What we know about the functional role and evolution of fish otoliths. *Biological Reviews*, *94*(2), 457–482.

Schwarzhans, W., Schulz-Mirbach, T., Lombarte, A., & Tuset, V. M. (2017). The origination and rise of teleost otolith diversity during the Mesozoic. *Research & Knowledge*, *3*, 5–8.

Sholes, R. K., Coffin, A. B., & Popper, A. N. (2024). Effect of aquaculture sound on fish development, physiology, and behavior. In A. N. Popper et al. (Eds.), *The Effects of Noise on Aquatic Life* (pp. 931–941). Springer Nature.

Stransky, C., & MacLellan, S. E. (2005). Species separation and zoogeography of redfish and rockfish (genus *Sebastes*) by otolith shape analysis. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *62*(10), 2265–2276.

Sweeting, R. M., Beamish, R. J., & Neville, C. M. (2004). Crystalline otoliths in teleosts: Comparisons between hatchery and wild coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in the Strait of Georgia. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, *14*(3), 361–369.

Tomás, J., & Geffen, A. J. (2003). Morphometry and composition of aragonite and vaterite otoliths of deformed laboratory reared juvenile herring from two populations. *Journal of Fish Biology*, *63*(6), 1383-1401.

Turlybek, N., Nurbekova, Z., Mukhamejanova, A., Baimurzina, B., Kulatayeva, M., Aubakirova, K. M., & Alikulov, Z. (2025). Sustainable aquaculture systems and their impact on fish nutritional quality. *Fishes*, *10*(5), 206.

Tuset, V. M., Lombarte, A., & Assis, C. A. (2008). Otolith atlas for the western Mediterranean, north and central eastern Atlantic. *Scientia Marina*, *72*(S1), 7-198.

Tuset, V. M., Lozano, I. J., González, J. A., Pertusa, J. F., & García-Díaz, M. M. (2003). Shape indices to identify regional differences in otolith morphology of comber, *Serranus cabrilla* (L., 1758). *Journal of Applied Ichthyology*, *19*(2), 88-93.

Van Neer, W., Lernau, O., Friedman, R., Mumford, G., Poblome, J., & Waelkens, M. (2002). Fish remains from archaeological sites as indicators of former trade connections in the Eastern Mediterranean. *Paléorient*, *28*(1), 5-35.

Vignon, M., & Morat, F. (2010). Environmental and genetic determinant of otolith shape revealed by a non-indigenous tropical fish. *Marine Ecology Progress Series*, *411*, 231-241.

Wysocki, L. E., Davidson, J. W., Smith, M. E., Frankel, A. S., Ellison, W. T., Mazik, P. M., ... & Bebak, J. (2007). Effects of aquaculture production noise on hearing, growth, and disease resistance of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, *272*(1-4), 687-697.

Yedier, S., & Bostancı, D. (2020). Aberrant otoliths in four marine fishes from the Aegean Sea, Black Sea, and Sea of Marmara (Turkey). *Regional Studies in Marine Science*, *34*, 101011.

Yedier, S. (2022). First record of abnormal otoliths in the greater weever *Trachinus draco* (Trachinidae) in the Black Sea. *Journal of Ichthyology*, *62*(5), 760–769.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Yedier, S., Yalçınkaya, S. K., Türker, D., & Bostancı, D. (2023a). Ecomorphological patterns and shape indices of otoliths in the *Pagellus acarne* (Actinopterygii, Sparidae) from the Aegean and Marmara Seas. *Turkish Journal of Zoology*, *47*(4), 222-230.

Yedier, S., Bostancı, D., & Türker, D. (2023b). Morphological and morphometric features of the abnormal and normal saccular otoliths in flatfishes. *The Anatomical Record*, *306*(3), 672-687.

Yedier, S., Daban, İ. B., Şen, Y., & Bostancı, D. (2024). Presence of abnormal otoliths in hallucinogenic fish and their comparison with normal otoliths using light and scanning electron digital imaging. *Microscopy Research and Technique*, *87*(12), 3016-3025.

Yedier, S. (2025). Otolith abnormalities in garfish *Belone belone* (Belonidae): Expanding the scope of otolith deformities in marine fishes from the Aegean Sea. *Journal of Ichthyology*, *65*, 1039–1052.

Yedier, S., Bostancı, D., Türker, D., & Çayır, Z. (2025). Microscopic characterization of otolith abnormalities in garfish *Belone belone* (Actinopterygii: Belonidae) from the Black Sea using light and SEM microscopy. *Microscopy and Microanalysis*, *31*(6), ozaf108.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ZEN GARDENS AS THE SPATIAL REFLECTION OF ZEN PHILOSOPHY AND ART

Asst. Prof., Demet Ulku GULPINAR SEKBAN[1], Assoc. Prof. Makbulenur ONUR[2]

[1] 1Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture, demetsekban@ktu.edu.tr - ORCID: 0000-0002-9614-6009

[2] Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture, mnurbekar@ktu.edu.tr- , ORCID: 0000-0003-4511-1284

ABSTRACT

Zen philosophy is a system of thought shaped around the concepts of simplicity, balance, mindfulness, and inner peace. This system is important not only as an individual way of life but also as an aesthetic approach that influences the production of art and space. Zen gardens are considered one of the most distinctive spatial reflections of this philosophical and aesthetic understanding. The simple yet meaningful arrangement of stones, sand, water, moss, and plant materials transforms zen gardens from mere physical spaces into environments of intellectual and spiritual experience. This study aims to examine the relationship between Zen philosophy, art, and zen gardens within a cultural and aesthetic framework. The influence of Zen thought on artistic understanding is evaluated, and the reflections of this influence on the design principles and spatial organization of zen gardens are discussed. In addition, the symbolic expression of zen gardens, their simplicity-based compositional approach, and their perceptual effects on users are addressed. Within this context, zen gardens are evaluated through the interrelationship between Zen philosophy, art, aesthetics, and landscape design. The findings indicate that zen gardens are not only physical and visual arrangements but also spatial expressions of an artistic understanding that reflects tranquility, deep contemplation, and the relationship between human beings and nature. As a result, zen gardens stand out as important cultural landscapes that reflect the relationship between nature, space, and meaning in a simple yet powerful way.

Keywords: Zen philosophy, zen gardens, art, aesthetics, landscape design

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. Introduction

Zen is a Buddhist philosophy and way of life whose origins trace back to the Sanskrit concept of dhyāna, then to the Chinese Chán, and finally to the Japanese form Zen, placing meditation at the center as its founding practice (Izutsu, 1977). Nevertheless, defining Zen solely as a religious doctrine remains insufficient (Wicks & Maynard, 2014). This is because Zen emphasizes experiential understanding rather than theoretical explanation, wisdom acquired through lived experience rather than abstract knowledge, and a holistic, non-discriminatory awareness rather than dualistic oppositions. As emphasized in the Stanford Encyclopedia of Philosophy, Zen, more than an ideology, is a way of life that seeks to transform the relationship of the human being with the self, with others, and with nature within the "here and now." In this respect, Zen has left profound traces not only in the history of thought but also in the history of art. Particularly during the Muromachi period, Zen aesthetics became a determining force in many fields such as monochrome ink painting, calligraphy, the tea ceremony, Nō theatre, and dry landscape gardens (Hajime, 2004). It is stated that this period was one in which not only painting but all aesthetic practices developed around the spirit of Zen. In the literature, Zen art is defined around principles such as simplicity, humanity, sincerity, naturalness, and age-imperfection; furthermore, Zen is described as giving priority to intuitive and direct experience rather than ceremonial and verbal explanation. This framework demonstrates that the relationship between Zen and art is not merely formal, but ontological and experiential.

Zen gardens are among the most intense spatial expressions of this relationship (Van Tonder et al., 2002). This is because the Zen garden does not copy nature literally; rather, it reconstructs its essence, rhythm, emptiness, tranquility, and evocative power through abstraction (Yuen & Kwok, 2025). It has been noted that the Zen garden may be read as a three-dimensional counterpart of ink painting, creating a small-scale yet multilayered natural environment through rocks, gravel, and emptiness. For this reason, the Zen garden is not merely a physical composition; it is an intersection of thought, aesthetics, and spatial imagination. This study aims to examine the relationship between Zen philosophy, art, and Zen gardens within a cultural and aesthetic framework. The main questions of the study are as follows: What is Zen, and on which fundamental principles is Zen philosophy based? How has the relationship between Zen and art been established? What does the Zen garden mean, and what is its place within Japanese garden art? What are the landscape components and images that constitute the Zen garden? What are their symbolic meanings? What kind of experience do these gardens offer to the user, and how are they reflected in garden arts today? Answering these questions makes it possible to evaluate

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Zen gardens not merely as a historical garden type, but as a landscape thought that renders visible the relationship between space, meaning, and experience.

2.Method

This study was conducted within the framework of a qualitative research approach and is based on document analysis and interpretive content analysis methods. The main aim of the research is to reveal the relationship between Zen philosophy, Zen art, and Zen gardens in their conceptual, cultural, and aesthetic dimensions. In this respect, the study was designed not as a quantitative measurement or experimental testing process, but rather as a research design that evaluates theoretical knowledge accumulation and seeks to analyze layers of meaning. During the research process, the literature on the concept of Zen, the fundamental principles of Zen philosophy, Zen aesthetics, Japanese garden art, and the spatial configuration of Zen gardens was systematically examined. The sources reviewed were classified according to headings such as historical background, aesthetic theory, understanding of art, landscape components, symbolic meanings, and user experience. In this way, a theoretical framework related to the subject was established, and Zen gardens were evaluated not merely as physical arrangements, but as a mode of intellectual and aesthetic production. In the analysis of the data, a thematic analysis approach was adopted. Within this scope, the content was evaluated under the following main themes:

(i) the definition of Zen and its philosophical foundations,
(ii) the relationship between Zen and art,
(iii) the place of Zen gardens within Japanese gardens,
(iv) the spatial organization and design principles of Zen gardens,
(v) the landscape components and images constituting the garden,
(vi) the symbolic meanings of these images,
(vii) the perceptual and experiential effects on the user,
(viii) the reflections of the Zen garden understanding on contemporary garden arts.

The findings obtained in the study were not presented through a merely descriptive approach. On the contrary, they were interpreted in such a way as to reveal the relationships between concepts. In this context, Zen gardens were read through the mutual interaction between philosophy, art, aesthetics, and landscape design. Thus, the study aimed to explain Zen gardens not only as a historical garden type, but also as a multilayered cultural landscape reflecting the relationship between nature, space, simplicity, symbolism, and contemplation.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

3.Findings

The findings obtained within the scope of the research showed that the relationship between Zen philosophy, Zen art, and Zen gardens is not merely a formal or aesthetic interaction. In addition, they demonstrate that this relationship reveals a multilayered unity established on intellectual, perceptual, and spatial levels. As a result of the review, it is understood that Zen gardens, beyond being physical environmental arrangements, are unique landscape compositions that translate into spatial language the fundamental principles of Zen thought, such as simplicity, intuitiveness, naturalness, inward reflection, and the grasping of meaning through direct experience. The findings were evaluated under the following themes.

1. Zen Presents a Mode of Being and Understanding Based on Direct Experience Rather Than Rational Explanation

According to the results of the review, Zen is not only a branch of Buddhist thought, but also a regime of awareness that redefines the relationship of the human being with the self, nature, and life. At the core of Zen lies the idea that truth can be understood not through conceptual analysis, theoretical knowledge, or verbal explanation, but through direct experience, intuition, attention, and inner insight. In this respect, Zen stands out as a mode of thought that does not represent but enables experience; does not explain but makes one aware; does not multiply but reduces things to their essence (Gyoba et al., 1985). This situation also directly determines the relationship that Zen establishes with space. For Zen, space is not merely the physical environment in which one is located, but an experiential field through which a person can relate to their inner order. Therefore, evaluating Zen gardens as landscape spaces arranged for decorative purposes leads to a weakening of their Zen potential. Zen gardens should be read as spatial constructions that produce silence, attention, tranquility, and contemplation. The findings show that the simplicity seen in Zen gardens is not deprivation or deficiency, but a deliberate reduction that intensifies meaning.

2. The Relationship Between Zen and Art Is Established Through an Aesthetic Worldview

The findings reveal that the relationship between Zen and art is not based solely on formal similarities. Zen's understanding of art does not aim to reproduce the outward appearance of the object. Instead, it turns toward deeper qualities such as essence, impression, spirit, transience, and silence. This approach also changes the nature of the work of art. The work moves away from being merely a representational tool that conveys what is seen. Rather, it becomes a form of expression that suggests the essence of being. For this reason, features such

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

as simplicity, naturalness, sincerity, restraint, and asymmetry come to the fore in Zen aesthetics. The gaining of aesthetic value by imperfection and livedness is also among the important dimensions of this understanding. It is seen that the same principles find a clear correspondence in Zen gardens as well. The tendency to produce intense meaning with a small number of elements, the effective use of emptiness, the understanding of restrained composition, and the avoidance of symmetry determine the basic character of these gardens. Thus, the Zen garden does not remain limited to visual arrangement. It takes the form of an aesthetic thought established in space.

3. Zen Gardens Occupy a Place of High Abstraction Within Japanese Garden Art

The research results show that Japanese garden art does not consist of a single garden type. There are many types of gardens that have developed at different scales, for different purposes, and with different aesthetic principles. Zen gardens hold a special position within this diversity. They are particularly distinctive in terms of their level of abstraction, symbolic language, and intellectual intensity. The Zen garden is not a form that represents the whole of the Japanese garden. Nevertheless, it constitutes one of the most intense intellectual and aesthetic expressions within the Japanese garden tradition. In these gardens, nature is not copied directly. The essence of nature is selected, refined, and rearranged. As a result, the resulting space becomes effective not so much through visual resemblance as through its power of evocation. Concepts such as mountain, water, island, flow, silence, emptiness, and time are not directly narrated in the garden. Rather, they are suggested through stone, sand, gravel, moss, surface movements, and spatial arrangement. For this reason, Zen gardens are landscapes that must be read. The user is expected not only to look, but also to construct meaning.

4. The Spatial Organization of Zen Gardens Is Based on the Principles of Selection, Reduction, and Reconstruction

The findings obtained reveal that, in the spatial organization of Zen gardens, the diversity found in nature is not transferred directly and in its entirety. In the design process, not all elements of nature are carried into the space. Instead, certain elements are selected and arranged in such a way as to carry intense meaning. Thus, the garden moves away from being a direct imitation of the natural environment. Rather, it takes the form of a composition reflecting the essential relationships of nature. In this organization, emptiness occupies an important place. Empty surfaces, unfinished areas, or plain grounds should not be considered passive sections. These areas increase the effect of the other elements and direct perception. At the same time, they

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

enable the concentration of attention. In the Zen garden, order is not established through an abundance of elements. Order is achieved through proportion, balance of placement, and controlled simplicity. The guidance of the gaze within the spatial configuration is also a significant finding. It is not intended for the user to see everything at once. Instead, an experience is created based on certain focal points, points of pause, and perceptual transitions. Paths, bridges, thresholds, seating points, or viewing axes become tools that support this experience. Thus, circulation within the garden does not remain merely a physical movement. At the same time, it acquires the quality of an intellectual progression.

5. The Main Landscape Components of Zen Gardens Carry Intense Symbolic Meanings

The data examined within the scope of the research reveal that the landscape components used in Zen gardens, although limited in number, contain very powerful layers of meaning (Xing, 2024). Soil, stone, rock, sand, gravel, water, moss, and plant material are the principal elements of these gardens. However, these elements are not merely components that establish the physical environment. Each of them also carries an intellectual and symbolic field of meaning (Van Tonder, 2008). Stone and rock elements are among the constitutive elements of the garden. These elements evoke mountains, islands, continuity, durability, and the skeleton of nature. Even when used alone, they can create a strong emphasis. When placed in groups, however, they create a sense of balance, direction, and focus in the space. The size of the stones, their placement, and the distance they establish with one another directly affect the meaning structure of the garden. Sand and gravel surfaces stand out especially as the abstract counterpart of water. The lines and circular movements found on raked surfaces make visible the sense of stream, wave, sea, or flow. Thus, water, which is not materially present, is suggested through traces and surface arrangement. This clearly demonstrates the representational power of the Zen garden. The use of moss and limited plant material, on the other hand, gives the garden vitality, temporal depth, and naturalness. Moss in particular stands out as an element that strengthens the sense of livedness and quiet transformation. Plants are not used here to create a showy diversity. Rather, they are regarded as elements that support balance and establish a restrained and tranquil atmosphere.

6. The Images in Zen Gardens Generate Associations Rather Than Explicit Narration

The findings show that the images in Zen gardens are not singular and directly explanatory. These images generate associations more than explicit narratives. They activate the user's mental engagement. The groups of stones, linear sand patterns, islets, bridges, paths, lanterns,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

and boundary elements in the garden allude to different natural or intellectual states. For example, raked sand surfaces evoke water. However, they suggest not only the idea of water, but also flow, continuity, the passage of time, and mental tranquility. Similarly, groups of stones are not only read as mountains or islands. They can also be associated with abstract concepts such as solitude, resilience, togetherness, separation, or balance. The bridge symbolizes passage and transformation, the path symbolizes the search for direction, and the lantern symbolizes awareness and focus. The most important feature of these images is that they do not provide a fixed meaning. The user creates their own layers of meaning in accordance with the relationship they establish with the space. Thus, the Zen garden does not present a closed narrative. It creates an open-ended space for thought.

7. Zen Gardens Enhance Feelings of Tranquility, Introspection, and Contemplation in the User

Research results show that Zen gardens do not only create an aesthetically pleasing effect on the user (Weiss, 2010). These gardens produce an environmental experience that slows down perception and increases concentration (Goto et al., 2020). The user encounters fewer stimuli in a simplified space. This facilitates focusing on details and developing a deeper awareness. The atmosphere created by the Zen garden offers a suitable ground for contemplation and introspection. Elements such as silence, emptiness, measure, and rhythm support this experience. The user does not simply look at a landscape here. They also establish a connection between their own mental state and the space. Therefore, the Zen garden is associated with effects such as rest, purification, calming, and concentration. Another important finding is that meaning is not given to the user ready-made. The garden has a structure that requires interpretation. Therefore, the user does not remain in the position of a passive observer. They mentally complete what they see, fill in what is missing with associations, and establish a personal relationship with the space. This characteristic is one of the fundamental elements explaining the powerful perceptual and psychological impact of Zen gardens.

8. The Influence of Zen Gardens Continues Today More Through Design Principles Than Formal Imitation

Another result of the research is that the influence of Zen gardens on contemporary garden arts and landscape design continues strongly. However, this influence is not based on direct copying of form. It is felt more through fundamental design principles. Simplicity, use of space, orientation towards natural materials, selective planting, asymmetrical balance, and the effort

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

to create a serene atmosphere are the main reflections of this influence. Today, Zen-influenced approaches can be seen in small-scale courtyard arrangements, therapeutic gardens, institutional open spaces, and calming outdoor designs. In these applications, the aim is often not to repeat the historical form of the Japanese garden. The main aim is to produce spatial quality that will create a sense of peace, focus, and balance in the user. The Zen garden concept is also noteworthy in terms of sustainability in contemporary landscape design. Its ability to create effective compositions with a small number of elements, its material economy, and its measured approach to planting increase this interest. Thus, this Zen-inspired approach connects with contemporary design practices both aesthetically and environmentally.

Results

This study has revealed that Zen gardens are a spatial reflection of Zen philosophy and Zen art. The findings show that Zen is not only a system of thought, but also a way of life and perception based on simplicity, awareness, naturalness, and inner balance. This understanding has influenced both art and spatial design; Zen gardens have become one of the most prominent examples of this influence. The research revealed that Zen gardens are not spaces that directly imitate nature. In these gardens, nature is reinterpreted through selected and simplified elements. Components such as stone, sand, gravel, moss, water, and plant material are used not only as physical elements but also as elements carrying symbolic meanings. Concepts such as mountains, islands, water, flow, silence, and time are expressed indirectly and associatively in these spaces. The study also showed that Zen gardens have a special place in Japanese garden art. These gardens stand out especially for their power of abstraction, symbolic expression, and contemplative structure. Simplicity, use of space, asymmetrical balance, and moderation are decisive in their spatial organization. These characteristics reveal that Zen aesthetics are directly reflected in garden art. From a user experience perspective, Zen gardens are not merely spaces offering visual appeal; they are also environments that foster tranquility, mindfulness, introspection, and contemplation. In this respect, Zen gardens establish a deeper and more conscious relationship between humans and nature. Consequently, Zen gardens are cultural landscapes that make the relationship between nature, art, philosophy, and space visible in a simple yet powerful way. The influence of this approach continues today; principles such as simplicity, the use of natural materials, symbolic expression, and the creation of calming spaces remain prevalent in contemporary garden art and landscape design.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

References

Goto, S., Morota, Y., Liu, C., Sun, M., Shi, B. E., & Herrup, K. (2020). The mechanism of relaxation by viewing a Japanese garden: A pilot study. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, *13*(4), 31-43.

Gyoba, J., Seto, I., & Ichikawa, S. (1985). Problems on the rating of pattern goodness: An analysis by the semantic differential method and its correspondence to Imai's transformation structure theory. *Japanese Journal of Psychology*.

Hajime, I. (2004). Japanese aesthetic sense―Zen and Zen calligraphy, Zen painting, from Kamakura to Muromachi―. *dialogos*, (4), 1-16.

Izutsu, T. (1977). *Toward a philosophy of Zen Buddhism*.

Van Tonder, G. J. (2008). Distilling an image of nature from Japanese Zen gardens. *South African Journal of Art History*, *23*(3), 85-95.

Van Tonder, G. J., Lyons, M. J., & Ejima, Y. (2002). Visual structure of a Japanese Zen garden. *Nature*, *419*(6905), 359-360. https://doi.org/10.1038/419359a

Weiss, A. S. (2010). The Limits of Metaphor: Ideology and Representation in the Zen Garden. *Social Analysis*, *54*(2). https://doi.org/10.3167/sa.2010.540208

Wicks, R. J., & Maynard, E. A. (Ed.). (2014). *Clinician's Guide to Self-Renewal: Essential Advice from the Field* (1. bs.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781394259311

Xing, W. (2024). The Aesthetics of Temple Gardens: Research on the Application of Zen Philosophical Principles in the Design of Zen-inspired Landscapes. *Journal of Social Science Humanities and Literature*, *7*(2), 100-111. https://doi.org/10.53469/jsshl.2024.07(02).12

Yuen, I., & Kwok, T. (2025). Effect of Virtual Zen Garden on Quality of Life of Residents in Long-Term Care Home. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *22*(4), 510. https://doi.org/10.3390/ijerph22040510

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

TEA GARDENS AND TEA ART AS AN ELEMENT OF CULTURAL LANDSCAPE

Asst. Prof., Demet Ulku GULPINAR SEKBAN[1], Assoc. Prof. Makbulenur ONUR[2]

[1] 1Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture, demetsekban@ktu.edu.tr - ORCID: 0000-0002-9614-6009

[2] Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Department of Landscape Architecture, mnurbekar@ktu.edu.tr- , ORCID: 0000-0003-4511-1284

ABSTRACT

Tea is an important cultural element that influences social life, everyday practices, and spatial organization, beyond being merely a beverage. Tea gardens, in particular, constitute one of the remarkable components of the cultural landscape as spaces where individuals gather, socialize, relax, and engage in cultural interaction. In addition, tea art strengthens the meaning and identity of these spaces through the preparation, presentation, and aesthetic representation of tea. This study aims to examine tea gardens and tea art within the context of cultural landscape. The study evaluates the place of tea in relation to social memory, tradition, aesthetics, and space, and reveals that tea gardens are not only physical spaces but also social areas that carry and reproduce cultural identity. It also emphasizes that tea art plays an important role in making tea culture visible and in shaping the atmosphere of tea gardens. The research is based on a literature review and is conducted through the concepts of tea culture, cultural landscape, and spatial identity. The findings indicate that tea gardens are unique spaces that bring together tangible and intangible cultural heritage elements. As a result, tea gardens and tea art reflect the aesthetic, social, and symbolic dimensions of the cultural landscape. These elements also play an effective role in sustaining local identity, social belonging, and cultural continuity.

Keywords: Tea, Tea gardens, Tea art, Cultural landscape, Spatial identity

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

1. Introduction

Cultural landscape is the spatial manifestation of the reciprocal relationship established over time between humans and nature (Gulpinar Sekban, 2026). For this reason, the concept of cultural landscape offers a holistic conceptual framework that encompasses not only the physical environment but also social memory, rituals, modes of production, aesthetic preferences, and everyday life practices. In this respect, tea constitutes an especially powerful field of inquiry within cultural landscape studies. Beginning with the agricultural landscapes in which it is cultivated and extending to its preparation, presentation, sharing, and the spaces designed for it, tea generates a broad cultural system (Ercan Oğuztürk et al., 2023). Tea gardens are among the most visible spatial components of this system. However, it is insufficient to regard a tea garden merely as an outdoor space where tea is consumed. Tea gardens are also distinctive places where social relations are established, hospitality acquires meaning, ceremonial behaviors are produced, aesthetic experience is intensified, and cultural identity is reproduced. Indeed, recent tea garden studies emphasize that tea gardens are multidimensional landscapes that simultaneously serve public, academic, tourism, recreational, and economic functions (Huang et al., 2025). In addition, it is noted that one of the fundamental issues in tea garden planning is maintaining a balance between the depth of cultural expression and the conservation of the natural environment.

Japanese tea culture provides a particularly appropriate case for this discussion. In Japanese culture, tea is not merely a substance that is consumed. Rather, it is a way of life associated with etiquette, discipline, aesthetics, naturalness, simplicity, and inner purification (Beattie, 2016). All of these are inseparable components of this practice. Training in the tea ceremony does not involve only the preparation of tea; it is also presented as a form of cultural education that includes learning how to sit, walk, pass through a doorway, greet others, make presentations, and follow the rules of spatial behavior (Kuang et al., 2023). The aim of this study is to examine tea gardens and the art of tea within the context of cultural landscape. It seeks to answer, within an academic framework, the questions of what tea is, why tea culture is important, how this culture is reflected in the garden, what the purposes and components of tea gardens are, and how they are evaluated today.

2. Method

This study was prepared based on a qualitative research approach. The methodology of the research is grounded in document analysis and interpretive textual analysis. In the study, the concepts of tea, tea culture, tea art, tea garden, and cultural landscape were examined together

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

with their historical, cultural, and spatial dimensions, and were evaluated particularly through texts related to Japanese tea culture. The analytical process followed in the research was carried out along three main axes. The first axis concerns the cultural meaning of tea. Within this scope, tea was examined not merely as a beverage, but also in relation to everyday life, hospitality, sharing, etiquette, and tradition. The second axis addresses the aesthetic and ceremonial dimension of tea art. Here, the ways in which the preparation and presentation of tea are transformed into an artistic and intellectual practice were evaluated. The third axis concerns the place of the tea garden within the cultural landscape. In this section, tea gardens were discussed in the context of the relationship among nature, space, ritual, and the production of identity.

3. Findings

The literature review demonstrates that tea is considered not only as a beverage of biological origin, but also as a multilayered element that regulates social relations, generates aesthetic values, influences spatial organization, and carries cultural identity (Özdemir, 2024). In this context, the findings were evaluated along three main axes: the cultural meaning of tea, the aesthetic and ceremonial character of tea art, and the place of the tea garden within the cultural landscape. The data obtained reveal that, particularly in the Japanese case, tea culture constitutes a system that bridges everyday life and artistic expression; this system becomes spatially embodied through the tea garden, tea room, circulation scheme, planting arrangement, water elements, and ceremonial forms of behavior.

3.1. The Cultural Meaning of Tea

In the literature, tea has never been defined merely as an object of physical consumption (Ertürk, 2021). Beyond being a product that is consumed, tea appears as a cultural medium that facilitates social intimacy, establishes relations of hospitality, strengthens the culture of sharing, and shapes the rhythm of everyday life. The reviewed content indicates that welcoming others with a “tea first” understanding constitutes the starting point of greeting, conversation, and togetherness; therefore, tea creates a setting that initiates and sustains social relations (Polat & Kurtaslan, 2011). In this respect, tea functions as an intermediary element between everyday life practices and cultural values. The texts also show that the importance of tea derives not only from its social function but also from its capacity to produce mnemonic and traditional continuity (Kısakürek & Bayazıt, 2021). Tea is a mode of behavior transmitted from past to present, a field of etiquette, and a carrier of collective memory. For this reason, the preparation, serving, and consumption of tea can be understood not only as an individual preference, but

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

also as a practice through which society reproduces its own cultural codes. This finding reveals that tea culture has a dual-layered structure that is effective in both everyday life and ceremonial settings. At the same time, the cultural meaning of tea also carries aesthetic and moral content. In the examined texts, tea is associated with qualities such as moderation, simplicity, dignity, attentiveness, and refinement. This demonstrates that tea bears meanings far beyond those of a material product, becoming a cultural element that disciplines human behavior and shapes a particular attitude toward life. Therefore, tea culture should be read not merely as a beverage culture, but as a way of living and relating.

3.2. Tea Art: Aesthetic Concentration, Ceremony, and Discipline

The second major finding of the research is that tea art corresponds not to an ordinary act of preparation and serving, but to an aesthetic and ceremonial practice. The texts examined present tea art as an art form in which bodily movements, spatial awareness, silence, rhythm, and symbolic meaning are integrated beyond technical skill. Within this framework, the preparation of tea is a controlled and conscious process extending from the temperature of the water to the selection of the vessel, from the mode of presentation to posture. The aim here is not merely to produce a drinkable tea, but to create an experience that is meaningful and aesthetically valuable. It is particularly noteworthy that the texts describe tea ceremony training as teaching not only how to make tea, but also how to sit, stand up, walk, enter a space, greet, wait, and present. This shows that tea art possesses a disciplinary character as much as an aesthetic one. The tea ceremony is a form of cultural education that regulates behavior and renders everyday movements conscious. In other words, tea art is a practice concerned not only with objects, but also with the body, time, and space. In this context, simplicity emerges as a significant finding. The reviewed texts especially show that tea art is founded on an aesthetic understanding that is restrained, plain, and measured, far removed from ostentation. Here, beauty is sought not in excess, but in reduction, naturalness, and carefully constructed balance. The fundamental logic of tea art is not the excessive ornamentation of objects and space, but the making visible of essence. This approach is important for understanding the place of tea art within Japanese aesthetic thought, because in this artistic understanding, concepts such as emptiness, silence, scarcity, and transience are accepted as positive aesthetic values. Another important result of the study is that the mental and spiritual dimension of tea art is also strong. The tea ceremony produces an experience that distances the individual from the rush of everyday life, increases awareness, and concentrates attention on the present moment. For this reason, tea art is not regarded merely as a way of hosting guests; rather, it is also an intellectual practice that

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

transforms the relationship an individual establishes with the self, with others, and with the surrounding environment.

3.3. The Spatial Reflection of Tea Culture: The Garden as a Ceremonial Interface

The findings indicate that tea culture is directly reflected in space and becomes especially evident in the organization of the garden. The reflection of tea culture in the garden does not emerge merely as a form of functional open-space design; rather, it appears as a spatial construct that prepares for the ceremony, directs perception, and regulates behavior. Accordingly, the tea garden is the physical carrier of tea culture. Its function is not only to appear beautiful, but also to guide the user from the everyday world into the ceremonial world. The reviewed texts show that the relationship between the tea garden and the tea room is of crucial importance. The path leading to the tea room, the waiting area, the water element, the stone paving, and the arrangement of the natural environment are all structured as components of the ceremonial experience. The garden is not regarded as an external environment separate from the ceremony. Rather, it is designed as an active space that constitutes the initial phase of the ceremony. As the user walks through the garden, they do not merely move from one point to another. From the moment they enter the garden, they begin to prepare their mind for the tea ceremony. To this end, they slow down, gather their attention, and transition into a different sense of temporality. This preparatory process is regarded as a fundamental principle of tea garden design. This demonstrates that, in Japanese culture, tea gardens are conceived not as visual compositions, but as experiential processes. In particular, guided circulation, limited views, gradually unfolding scenery, designated pauses, and controlled transitions emerge as the principal devices regulating the user's perception. Thus, the tea garden does far more than present an aesthetic landscape. It deliberately reconstructs the human relationship with space in a controlled manner.

3.4. The Purposes of Tea Gardens: Rest, Preparation, Purification, and the Production of Cultural Identity

The research findings reveal that tea gardens serve multiple purposes. First, tea gardens are spaces that provide physical and mental restoration. However, this form of rest differs from ordinary recreational relaxation. The primary aim of tea gardens is to produce tranquility and attentiveness. Time spent in the garden enables the user to withdraw from the speed of everyday life and to enter a state of mind appropriate to the ceremony. Second, tea gardens function as spaces of purification and preparation. In particular, water elements, transition areas, and

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

waiting sections appear to play an important role in this process of preparation. The user does not enter the garden only physically, but also passes into another experiential plane. For this reason, the tea garden carries the character of a symbolic threshold between the outer world and the tea room. Third, tea gardens are spaces in which cultural identity becomes visible. In the reviewed texts, the tea garden is not defined merely as a natural composition; rather, studies and practices present it as a space where culture expresses itself and where patterns of behavior and aesthetic understanding become visible in space. Every element in the garden is an extension of a particular cultural idea. Therefore, tea gardens are distinctive cultural spaces that spatially reflect a society's view of nature, its understanding of simplicity, its sense of measure, and its ceremonial modes of behavior.

3.5. The Components of Tea Gardens: Nature, Threshold, Path, Water, Stone, and Plant Material

The findings demonstrate that the tea garden is not composed of random elements; on the contrary, it is constructed within a particular logic and symbolic order. In this context, the most fundamental components of the tea garden begin with natural elements. Soil, water, and plants stand out as the three principal components that also form the basis of Japanese garden aesthetics. In the tea garden, this triad represents not only the natural environment, but also meanings such as life, continuity, simplicity, and balance. Water holds a special importance among the findings. The water element generates meanings of both physical freshness and symbolic purification. The presence of water in the garden forms an interface that prepares the user for the ceremonial experience. Stone, in turn, represents permanence, guidance, and controlled movement. The stone path determines the speed of the user's movement; therefore, circulation in the garden functions not only as a practical feature, but also as an element that produces rhythm. Plant material is likewise one of the fundamental components of tea gardens. However, the use of plants here is not intended merely for decoration. Rather, seasonality, simplicity, natural appearance, and emotional effect are prioritized. The plant composition aims to create a controlled naturalness rather than excessive density. In this way, although the garden is carefully arranged, it acquires a character that conceals its artificiality. In addition to these elements, bridges, stone lanterns, waiting points, small openings, viewing points, and thresholds providing passage to the tea room also emerge as complementary components of the garden. All of these elements are not merely physical parts of the tea garden. They are also devices that govern the spatial experience and deepen cultural meaning.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

3.6. The Cultural Landscape Character of the Tea Garden

One of the strongest findings of the study is the clearly identifiable cultural landscape character of tea gardens. This is because the tea garden is a type of space in which nature and human intervention are harmoniously integrated, carrying both physical and symbolic layers (Mazumder et al., 2021). Here, natural materials, plants, water, and topography are arranged by human agency according to a particular order; however, this order operates not through a logic of domination over nature, but through one that seeks to establish harmony with it. This transforms the tea garden from a merely artificial design object into a landscape that carries cultural meaning. The cultural landscape character of the tea garden becomes even more visible in the coexistence of tangible and intangible elements. At the tangible level, there are the path, water, stone, plants, bridge, tea room, and garden composition. At the intangible level, there are ceremony, etiquette, hospitality, waiting, attentiveness, simplicity, aesthetic intuition, and cultural memory. When these two layers come together, the tea garden becomes not merely a landscape that is seen, but one that is experienced and interpreted. Furthermore, the findings show that the tea garden is an intermediary form that dissolves the boundary between nature and culture. Every intervention in the garden is made by human hands; yet the ultimate aim is to strengthen the sense of naturalness and to create an atmosphere in harmony with nature. For this reason, the tea garden may be regarded as one of the most refined examples of the concept of cultural landscape.

3.7. Re-evaluating Tea Gardens in the Contemporary Context

Although the reviewed texts present a historical and traditional framework, this framework also yields important implications for contemporary landscape discussions. Today, tea gardens may be evaluated not only as elements of historical heritage, but also as contemporary landscape models that carry identity, ensure cultural continuity, and generate sensory experience. Especially when considered in the context of rapid urbanization, standardized open-space design, and placeless recreational environments, tea gardens provide an important example for the production of meaningful, slowed-down, and symbolically rich spaces. The findings suggest that tea gardens are valuable for contemporary landscape architecture in three main respects. First, they offer a design approach that considers not only the visual dimension of space, but also its behavioral and emotional dimensions. Second, tea gardens make local culture visible and produce cultural continuity. Third, they contribute to contemporary sustainable landscape thinking by establishing a balanced, measured, and ethical relationship between nature and human intervention. For this reason, tea gardens should be understood not as closed cultural

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

forms belonging solely to the past, but as structures that can be reinterpreted in contemporary cultural landscape debates and that remain relevant in the production of spatial identity and cultural meaning.

4. Conclusion and Recommendations

This study has demonstrated that tea gardens and tea art are holistic structures within the cultural landscape that carry not only aesthetic, but also social, cultural, and symbolic meanings. The findings show that tea is not merely a beverage, but a powerful cultural element associated with hospitality, sharing, etiquette, ritual, and collective memory. In this context, tea art transforms the preparation and serving of tea from an everyday act into a cultural practice characterized by measure, simplicity, attentiveness, and aesthetic concentration. The study also determined that tea culture is directly reflected in the garden. Tea gardens are not merely spaces for rest; rather, they are distinctive places that prepare the individual for a ceremonial atmosphere, establish a link between nature and culture, and produce identity. Components such as the path, stone, water, plants, waiting area, and tea room constitute both the physical and symbolic structure of these spaces. For this reason, tea gardens can be regarded as distinctive cultural landscapes that embody both tangible and intangible cultural heritage. In light of these findings, it is recommended that tea gardens in landscape studies be approached not only through their formal characteristics, but also together with the cultural meanings, ritual order, and dimensions of collective memory they carry. In future studies, it would be beneficial to further develop the subject through methods such as comparative cases, on-site observation, and user experience. In addition, rather than directly copying tea gardens in contemporary landscape design, it would be more appropriate to draw upon their fundamental principles, such as simplicity, a sense of threshold, seasonality, the use of natural materials, and the production of sensory experience. Such an approach would contribute both to the preservation of cultural continuity and to the design of meaningful and identity-rich landscapes.

References

Beattie, J. (2016). Gardens at the frontier: New methodological perspectives on garden history and designed landscapes: Introduction to Special Issue. *Studies in the History of Gardens & Designed Landscapes*, *36*(1), 1-4. https://doi.org/10.1080/14601176.2015.1076665

Ercan Oğuztürk, G., SiPahi, M., Çorbaci, Ö. L., & Oğuztürk, T. (2023). Çay Bitkisinin Kentsel Yeşil Alanlarda Kullanımı: Rize İli Ziraat Botanik Parkı Çay Bahçesi Uygulaması. *Recep*

Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, *4*(2), 208-218. https://doi.org/10.53501/rteufemud.1334189

Ertürk, M. (2021). Çay Üzerine. *TURİZM E-BÜLTENİ*, 28.

Gulpinar Sekban, D. U. (2026). Visitor Perception of Urban Fixtures in Historic Gardens and Implications for Cultural Heritage Tourism. *International Journal of Tourism Research*, *28*(2), e70295. https://doi.org/10.1002/jtr.70295

Huang, L., Zheng, L., Zhang, L., Chen, J., Chen, Y., Fang, J., Zheng, R., & Liu, H. (2025). Landscape Design and Sustainable Tourism at the Wuyistar Chinese Tea Garden, a World Heritage Site in Fujian, China. *Buildings*, *15*(7), 1112. https://doi.org/10.3390/buildings15071112

Kısakürek, Ş., & Bayazıt, E. (2021). Kolektif bellek kentsel bellek ve mekânsal bileşenlerin kent kimliğindeki yeri: Kahramanmaraş Kenti örneği. *JENAS Journal of Environmental and Natural Studies*, *2*(3), 133-153.

Kuang, H., Luo, M., & Fang, X. (2023). History, Philosophy, and Rituals of Tea Ceremony: Integration of Tradition and Modernity. *Journal of Tea Science Research*. https://doi.org/10.5376/jtsr.2023.13.0004

Mazumder, S. A., Saha, K., & Haque, M. (2021). An Interpretive Analysis on the Heritage Values and Morphology of Tea Cultural Landscape: A Case Study on Khakiachara Tea Estate, Sreemangal, Bangladesh. *A+ Arch Design International Journal of Architecture and Design*, *7*(2), 125-137.

Özdemir, İ. S. (2024). Buda'nın kalbi: Zen estetiğinde doğanın anlamı ve çay töreni. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*. https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1522383

Polat, A. T., & Kurtaslan, B. Ö. (2011). The Japanese Garden Art Periods and Symbolism in Japanese Gardens. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, *25*(3), 110-123.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

TURİZM ROTASI TASARIMINA YÖNELİK ARAŞTIRMALAR: BİBLİYOMETRİK PERSPEKTİF

Prof. Dr. Tuğba KİPER[1], Sinenur TIRPAN[2]
[1] Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, tkiper@nku.edu.tr- 0000-0003-3396-5661
[2]Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1258133101@nku.edu.tr – 0009-0006-3483-7249

ÖZET
Turizm rotası tasarımı; turist deneyiminin optimize edilmesi ile doğal ve kültürel kaynakların mekânsal olarak kurgulanmasını destekleyerek, turizm planlama ve yönetimi süreçlerinde stratejik karar alma mekanizmalarına bilimsel bir temel sunmaktadır. Bu bağlamda bildiride, turizm rota tasarımı konusunda uluslararası alanda hazırlanmış akademik yayınların bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmesi amaçlanmıştır. Temel hedef, turizm rotası tasarımı literatürünün gelişimini belirli göstergeler doğrultusunda somut verilerle ortaya koymaktır. Web of Science (WoS) veri tabanı özelinde taranan 725 adet çalışmanın sistematik analizine dayanan veriler; başlık, özet, anahtar kelimeler çerçevesinde; yıllık yayın hacmi, coğrafi ülke dağılımı, kurumsal katkı, etkili yazar, bilimsel disiplinler, yayın organları ve yayıncı kurumların katkısı ve indeks kategorisi gibi bilgilere dayandırılarak analiz edilmiştir. Bununla birlikte, VOSviewer ile meta veriler üzerinde ortak yazarlık, kurum ve ülke iş birliği ile anahtar kelime eş-oluşum analizleri yapılmıştır. Bulgular, turizm rota tasarımı literatürünün son yıllarda belirgin bir gelişim gösterdiğini ve disiplinler arası bir yapı çerçevesinde; teknoloji, sürdürülebilirlik ve deneyim odaklı olarak geliştiğini ve özellikle veri temelli yaklaşımların ön plana çıktığını göstermiştir. Bu yönüyle çalışma, hem akademik literatüre kuramsal katkı sunmakta hem de turizm planlamacıları ve uygulayıcılar için veri temelli bir referans sağlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Turizm rotası, Turizm rotası tasarımı, Bibliometrik analiz, WoS

1. GİRİŞ
Turizm rotası, belirli bir bölgedeki turistik çekim noktaları veya yerleşimler arasında, belirli kriterlere göre kurgulanmış ve ziyaretçilerin sınırlı zaman içinde maksimum deneyim kazanmasını sağlayacak biçimde optimize edilmiş güzergâhları ifade etmektedir. Bu bağlamda rotalar, turizm faaliyetlerinin mekânsal açıdan kurgulanmasını sağlayan temel sistemlerdir **(**He ve Sun, 2021; Pang, 1989**)**. Literatürde turizm faaliyetlerinin başarısının, planlanan rota ile karar verme süreçlerini destekleyen bilgi altyapısına bağlı olduğu belirtilmiştir (Xiao vd., 2017). Benzer şekilde Păcurar vd. (2021), rota planlamasının daha iyi bir seyahat deneyimi sağlamak açısından birçok çalışmanın odak noktası olduğunu vurgulamıştır. Wu vd. (2017) ise; turistlerin ilgi ve çekicilik tercihleri ile zaman ve bütçe kısıtlarının dikkate alınarak, turizm deneyimini optimize eden rota planlamalarının geliştirilmesi gerekliliğine dikkat çekmiştir. Pedrosa vd., (2022) de; turizm rotaları üzerine yapılan literatürün, yönetim, paydaş ilişkileri, tüketici davranışı veya bölgesel etki gibi çeşitli konuları incelediğini belirtmişler. Turistik rota tasarımı alanına yönelik güncel literatür incelendiğinde, çeşitli teknolojik ve istatistiksel analiz teknikleri kullanıldığı görülmüştür. Örneğin, Xiao vd. (2017), Çin'in Zhengzhou şehrinde; popüler turistik yerler, gezi noktaları, turistik yerlerin sayısı ve gezi süresi sınırı dikkate alınarak çoklu algılayıcı (MP) sinir hücresi rota planlama modeli oluşturmuşlardır. Lou (2022); turizm

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

rota planlamasının sorunları ve mevcut durumunu analiz ederek, kümeleme analizi algoritmasına dayalı olarak akıllı bir turizm rota planlama şeması tasarlamıştır. Pei vd. (2022); Çin'in Lushunkou Bölgesi'nde turizm deneyiminin sürdürülebilirliği ile turizm kaynaklarının entegrasyonu çerçevesinde optimal bir rota önerisi geliştirmişlerdir. Akay (2026), Gaziantep şehrindeki kültürel ve gastronomi turizm rotalarının planlanması ve optimizasyonu için CBS ve ağ analizi tekniklerinin etkin kullanımını incelemiştir. Li vd. (2026); turistik manzara yolları ağ sistemi oluşturma hedefi doğrultusunda, turistik manzara yollarının planlama ve uygulama süreçlerini çok ölçekli bir yaklaşımla incelemişlerdir. Manzoni vd. (2026); Rio Grande do Sul eyaletindeki on şehirde halihazırda devam eden bir girişim olan "Rota dos Capitéis"in planlama, tasarım ve uygulama süreçlerini araştırmışlardır. Shi vd. (2026) ise; turistlerin bakış açısından, doğal güzellikler içeren güzergâhlarda gerçekleştirilen bireysel araçla seyahat turizminin deneyimsel özelliklerini incelemişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalara dayanarak, turizm rotası tasarımı, turist deneyiminin optimize edilmesinin yanı sıra, doğal ve kültürel kaynakların mekânsal olarak kurgulanmasını destekleyerek, turizm planlama ve yönetimi süreçlerinde stratejik karar alma mekanizmalarına bilimsel bir temel sunmaktadır. Buradan yola çıkılarak bu bildiride, turizm rota tasarımı konusunda uluslararası alanda hazırlanmış akademik yayınların bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmesi amaçlanmıştır. Temel hedef, turizm rotası tasarımı literatürünün gelişimini belirli göstergeler doğrultusunda somut verilerle ortaya koymaktır. Bu yönüyle çalışma, hem akademik literatüre kuramsal katkı sunmakta hem de turizm planlamacıları ve uygulayıcılar için veri temelli bir referans sağlamaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMA VE ANALİZ STRATEJİSİ

Bu çalışmada, turizm rotası tasarımı üzerine yapılan çalışmaları, sayısal olarak analiz etmek amacıyla kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır. Arama işlemi, 2025 sonuna kadar Web of Science (WoS) veri tabanı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tarama işleminde, 1997 ile 2025 yılları arasında yayınlanmış olması ve başlık, özet, anahtar kelimelerin tümünde "tourism roote design (turizm rota tasarımı)" içermesi temel alınmıştır**.** Bu anlamda; WoS özelinde taranan 725 adet çalışmanın sistematik analizine dayanan veriler; başlık, özet, anahtar kelimeler çerçevesinde; yıllık yayın hacmi, coğrafi ülke dağılımı, kurumsal katkı, etkili yazar, bilimsel disiplinler, yayın organları, yayıncı kurumlar ve indeks kategorisi gibi bilgilere dayandırılmıştır. İncelenen çalışmaların %90,47'sini İngilizce yayınlar oluşturmuştur. Bununla birlikte, VOSviewer ile meta veriler üzerinde ortak yazarlık, kurum ve ülke iş birliği ile anahtar kelime eş-oluşum analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları grafik veya ağ görselleştirme haritaları şeklinde sunulmuştur.

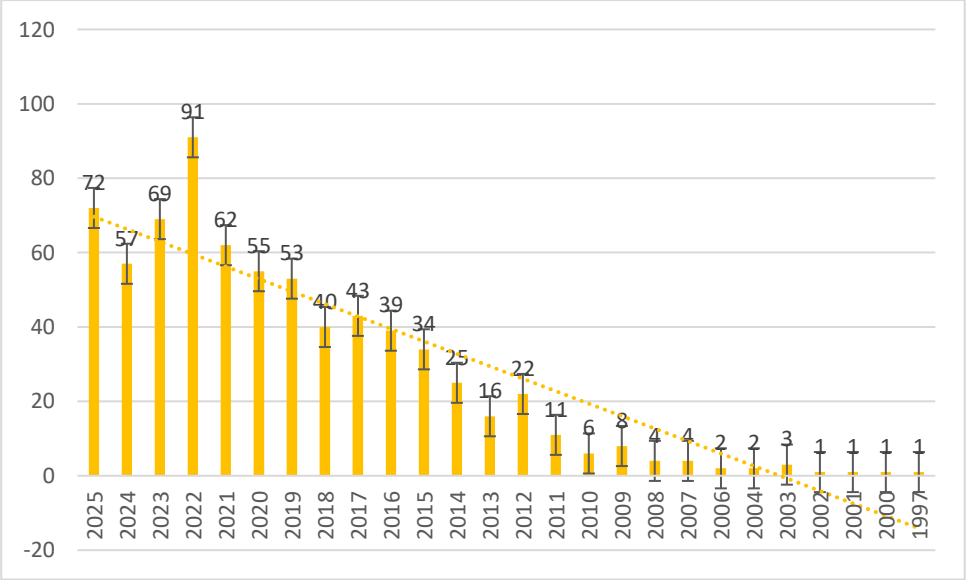
3. BULGULAR

3.1. Yayın Çıktısının Trend Analizi

Turizm rota tasarımına yönelik toplam 725 adet çalışmanın verilerine dayalı olarak yıllık yayın hacmi incelenmiştir.

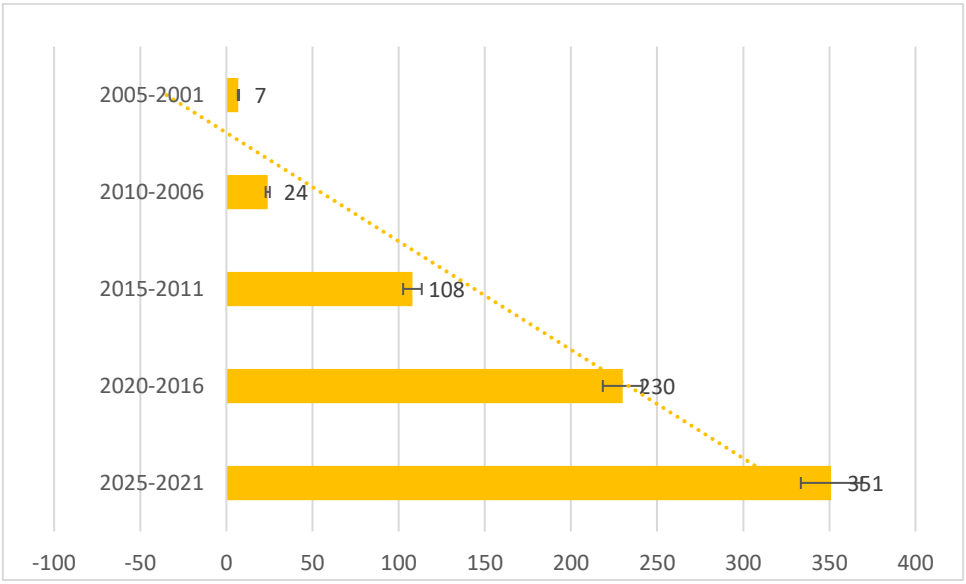
Yayınların önemli bir bölümünü makaleler (533 adet) ile bildiriler (175 adet) oluşturmuştur. Yıllık yayın hacmi, 1997'de 1 adet çalışmadan, 2025'te 72 adet çalışmaya ulaşarak toplamda 725 çalışmaya yükselmiştir. Genel trend, özellikle 2011'den sonra belirgin bir artışın görüldüğü yönünde olmuştur. Bununla birlikte, en yoğun çalışma 2022 yılında yapılmıştır (Görsel 1).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 1. Yayın Çıktısının Yıl Bazlı Trend Analizi

Beşer yıllık yayın hacmi analiz edildiğinde ise; özellikle 2025-2021 arasındaki dönem; toplamda 351 adet çalışma ile toplamın %48,62'sini oluşturmuştur. Bununla birlikte ilgili süreçteki gelişim durumu dikkate alındığında; turizm rota tasarımı konusunda yükselen bir trend eğiliminin olduğunu göstermiştir (Görsel 2).



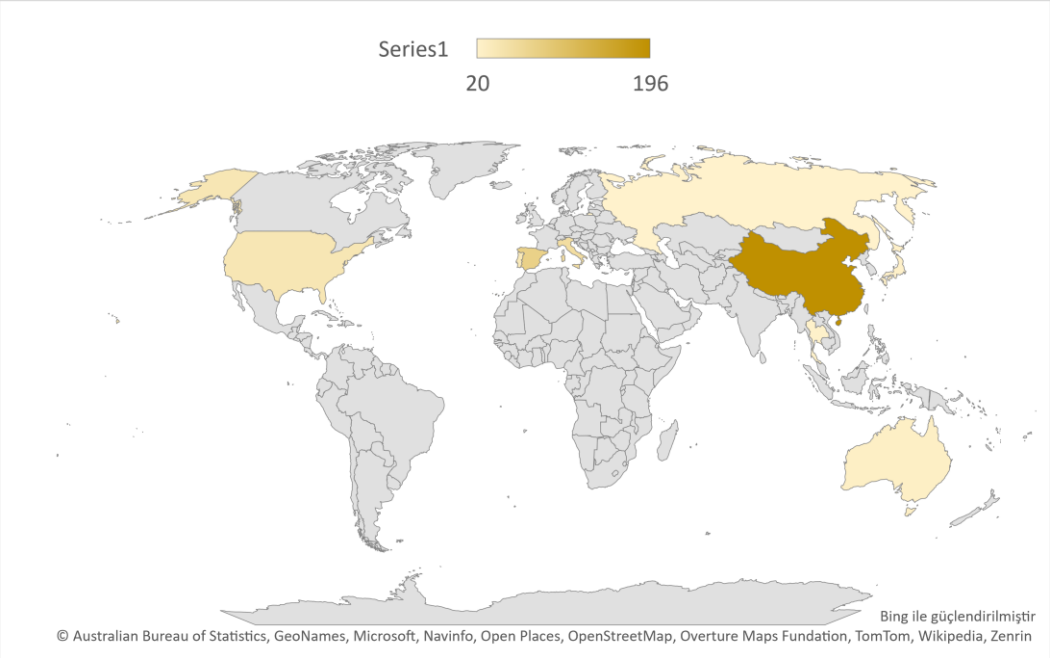
Görsel 2. Beşer Yıllık Yayın Hacmi Dağılımı

2.2. Coğrafi Dağılım, Kurumsal Katkılar ve İş Birliği Ağı

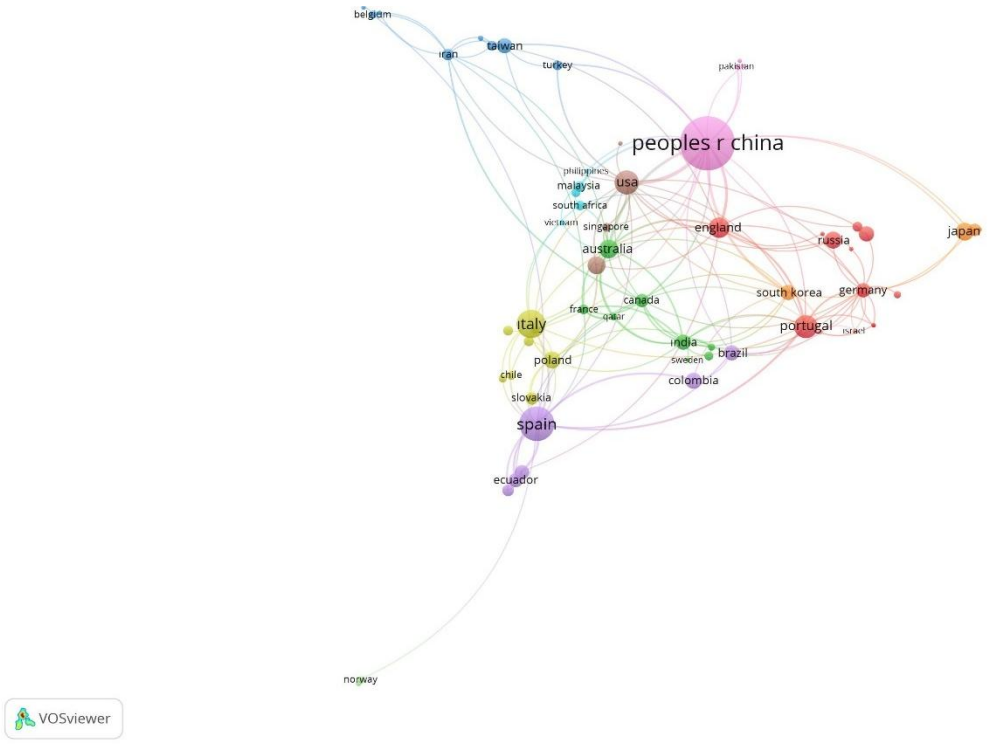
Turizm rota tasarımı ile ilgili yayınların (ilk 10) coğrafi dağılımları (Görsel 3) incelendiğinde, başlıcalarının Çin (%26,31), İspanya (%10,60), İtalya (%7,65), ABD (%5,50), Portekiz (%4,97) vb. olduğu saptanmıştır. İlk 10 sırada yer alan ülkelerin yayın sayılarının 20 (Rusya) ile 196 (Çin) arasında değiştiği görülmüştür (Görsel 3). Bununla birlikte ülke iş birlikleri incelendiğinde 9 farklı grup etrafında kümelendiği ve Çin'in uluslararası iş birliklerinin

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

merkezinde yer aldığı gözlemlenmiştir. İşbirliğinde öne çıkan ülkelerde; Çin (49 adet), İspanya (34 adet), ABD (32 adet), Avustralya (26 adet), İngiltere (23adet) yer almıştır (Görsel 4).



Görsel 3. Coğrafi Dağılım

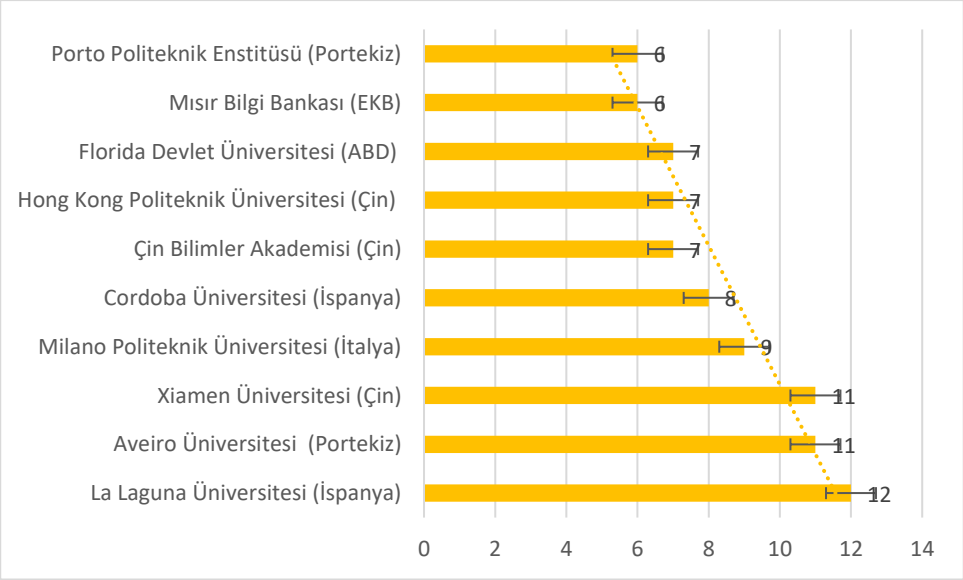


Görsel 4. Ülke İş Birlikleri Ağı

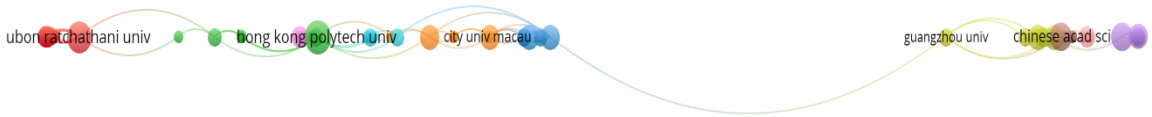
Kurumsal düzey kapsamında elde edilen verilere göre, La Laguna Üniversitesi (İspanya) 12 çalışma ile lider konumda olup, onu 11'er adet çalışma ile Averio Üniversitesi (Portekiz) ve

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Xiamen Üniversitesi (Çin) takip etmektedir. Bu durum, özellikle güney Avrupa ülkeleri ile Çin'in turizm rota tasarımı konusunda güçlü araştırma kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir (Görsel 5). Etki ve iş birlikleri açısından incelendiğinde ise; Ubon Ratchathani Üniversitesi (Tayland) 65 atıf ve 18 iş birliği sayısına sahipken, Lizbon Üniversitesi (Portekiz) 65 atıf ve 16 iş birliği ile yüksek akademik etkiye sahip olmuştur.



Görsel 5. Kurumsal Katkı Dağılımı (İlk 10)

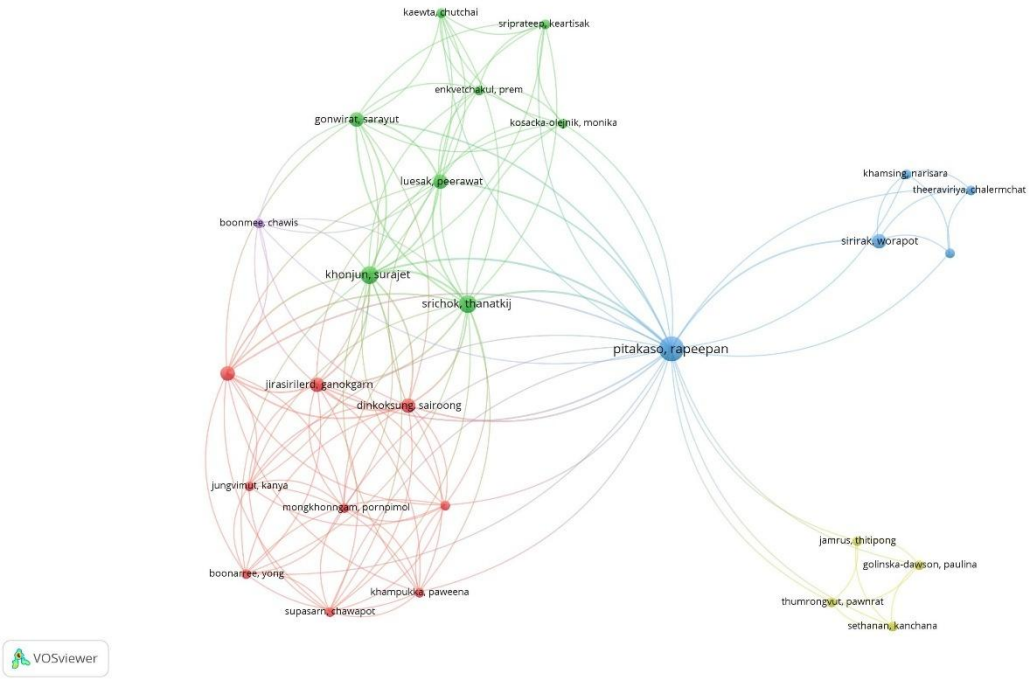


Görsel 6. Kurum İş Birlikleri Ağı

2.3. Etkili Yazar ve İş Birliği Analizi

Turizm rota tasarımı alanında öne çıkan araştırmacılar; 11 yayın ile Zheng WM, 7'şer yayın ile Liao ZX ve Zhou X, 5'er yayın ile Kastenholz E, Montoya-torres JR ve Ruiz-meza J, 4'er yayın ile Han Y ve Su MZ sıralanmıştır. Yazarlar arasındaki iş birlikleri incelendiğinde, Pitakaso Rapeepan 65 atıf ve 36 iş birliği ile merkezi konumda yer almaktadır. Zheng WM ise 311 atıf ve 19 iş birliği ile dikkat çekerken, Liao ZX 218 atıf ve 18 iş birliği ile öne çıkan diğer araştırmacılar arasında yer almaktadır (Görsel 7).

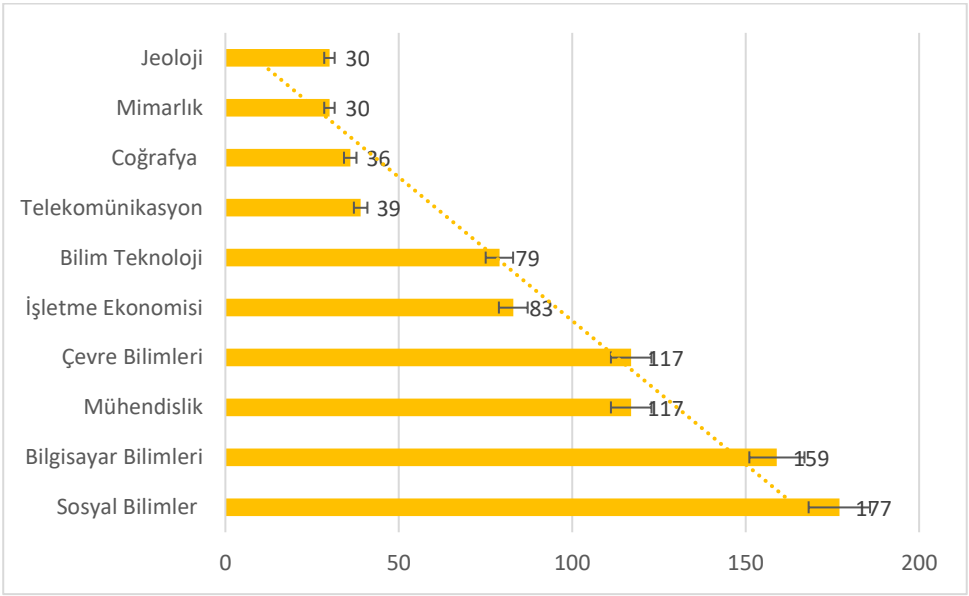
ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 7. Yazar İş Birliği Ağı

2.4. Bilimsel Disiplinler, Yayın Organları ve Yayıncı Kurumlar

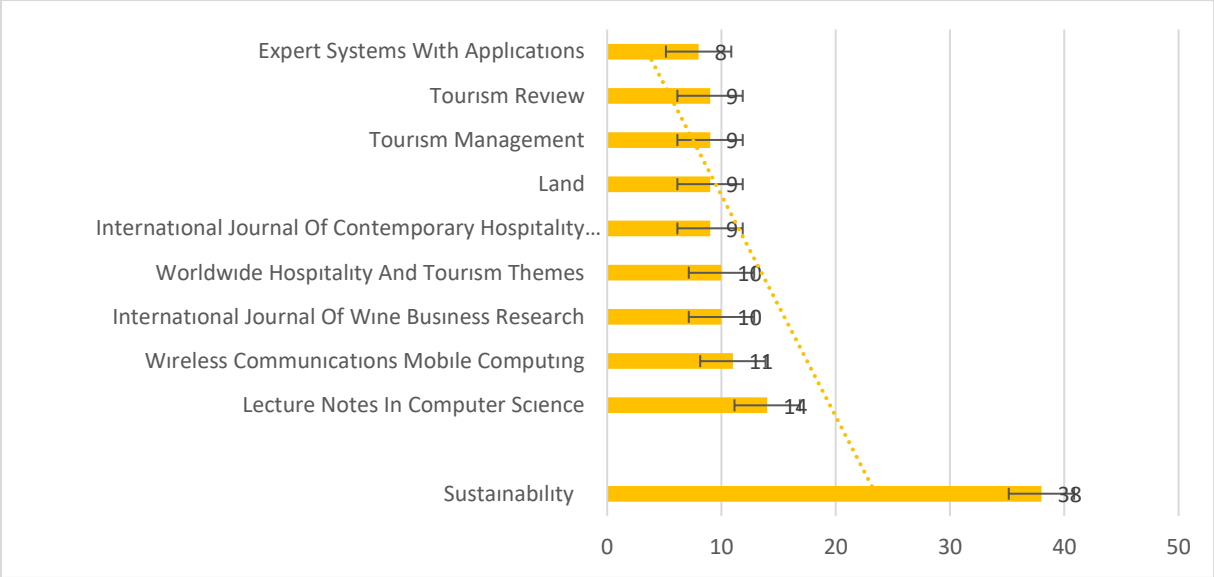
Turizm rota tasarımının; ağırlıklı olarak Sosyal Bilimler (%23,76) ve Bilgisayar Bilimleri (%21,34) ekseninde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum, rota tasarımının bir yandan turist davranışları ve deneyim gibi sosyal boyutlara; diğer yandan CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri), büyük veri analitiği ve algoritmik modelleme gibi dijital ve teknik yaklaşımlara dayandığını ortaya koymaktadır (Görsel 8).



Görsel 8. Bilimsel Disiplinler Dağılımı (İlk 10)

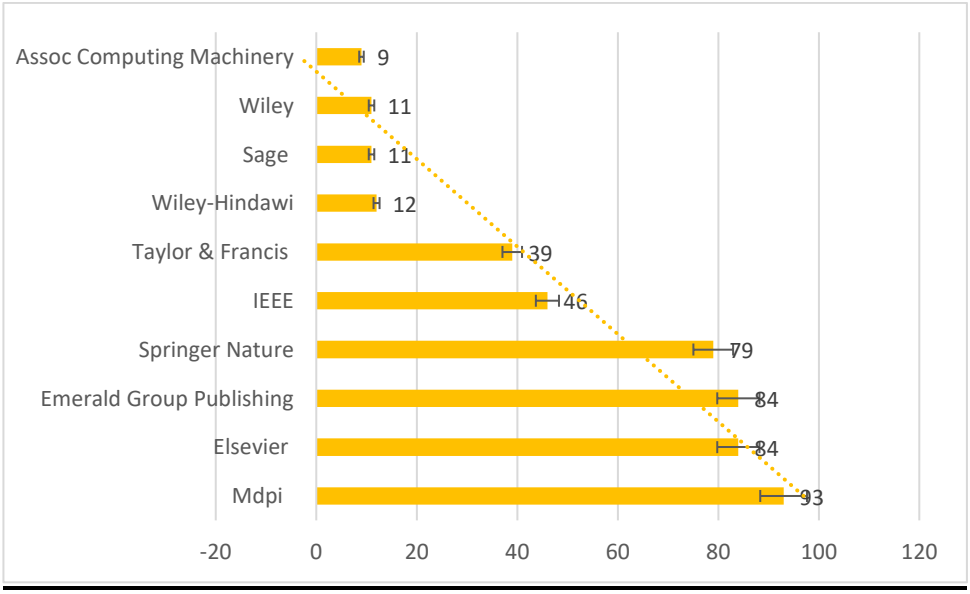
ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Turizm rota tasarımında en etkin yayın organı 38 adet yayın ile "Sustainability" olmuştur. Bununla birlikte grafik incelendiğinde; rota tasarımının turizm ve sürdürülebilirlik ekseni dışında; algoritmik, yapay zekâ ve mobil bilişimle de ilişkili dergiler kapsamında değerlendirildiği saptanmıştır (Görsel 9).



Görsel 9. En Etkin Yayın Organı Dağılımı (İlk 10)

Turizm rota tasarımı literatürüne yönelik olarak yayıncı kuruluşlarda; Mdpi (93 çalışma), Elsevier ve Emerald Group Publishing (84 çalışma) ile Springer Nature (79 çalışma) öne çıkmıştır (Görsel 10).



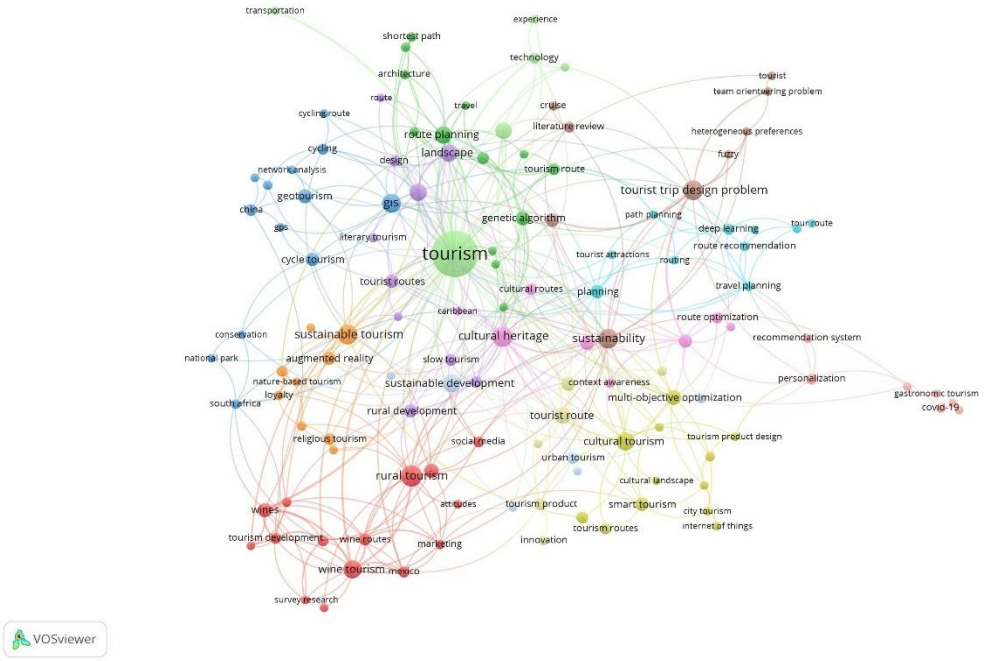
Görsel 10. Yayıncı Kuruluş Dağılımı (İlk 10)

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Turizm rota tasarımı literatürü indeksler bazında değerlendirildiğinde, çalışmaların önemli bir kısmının Emerging Sources Citation Index (ESCI) (%31,28) ile Science Citation Index Expanded (SCI-Expanded) (%30,07) kapsamında yer aldığı saptanmıştır. Social Sciences Citation Index (SSCI) kapsamındaki çalışmalar ise %24,43'lük bir oranı oluşturmuştur.

2.5. Anahtar Kelime Eş-Oluşum Analizi

Görsel 11. de, turizm rota tasarımı üzerine yapılan akademik çalışmalarda kullanılan anahtar kelimelerin kümeler şeklindeki kapsamlı bir kavramsal haritası sunulmuştur.



Görsel 11. Anahtar Kelime Eş-Oluşum Analizi

Görsel 11'e göre; "turizm" kavramının literatürün ana odak noktasını oluşturduğu gözlemlenmiştir. Kümeler incelendiğinde, yeşil kümede; rota planlama, peyzaj, GIS, mimarlık kavramları yoğunlaşmıştır. Turuncu/kırmızı kümede; kırsal turizm, şarap turizmi, sürdürülebilir turizm gibi tematik kavramlar yer almıştır. Mavi kümede; jeoturizm, network analizi, GPS gibi teknoloji odaklı kavramlar; pembe/mor kümede; optimizasyon, genetik algoritma gibi yapay zeka destekli kavramlar yoğunlaşmıştır. Bu durum, rota tasarımında; tematik turizm türlerine yönelik yaklaşımlar ile teknoloji ve yapay zekâ destekli yaklaşımların kullanıldığını göstermektedir.

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, turizm rota tasarımı literatürünü disiplinler arası ve veri temelli bir yaklaşımla sayısal anlamda analiz ederek alanın mevcut ve gelişim eğilimlerini ortaya koymuştur. WoS özelinde elde edilen 725 adet çalışmaya ilişkin veriler, turizm rota tasarımı literatürünün son yıllarda belirgin bir gelişim gösterdiğini ve disiplinler arası bir yapı kazandığını göstermiştir. Disiplinler arası çalışmaların ağırlıklı olarak sosyal bilimler ve bilgisayar bilimleri ekseninde yoğunlaştığı; mühendislik ve çevre bilimlerinin ise bu yapıyı destekleyen alanlar olarak öne çıktığı görülmüştür. Bu durum, rota tasarımının hem turist deneyimi ve davranışları gibi sosyal boyutlara hem de veri temelli

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

analiz, optimizasyon ve CBS gibi teknik yaklaşımlara dayandığını ortaya koymaktadır. Turizm rota tasarımı literatüründe üretkenlik ve iş birliklerinde lider konumda olan ülke Çin olmuştur. Kurum dağılımda La Laguna Üniversitesi lider konumda iken, Ubon Ratchathani Üniversitesi ise iş birlikleri anlamında güçlü konumda yer almıştır. Zheng WM en çok yayını olan yazar iken Pitakaso Rapeepan en yoğun iş birliklerinde bulunan araştırmacı olmuştur. Alana yönelik etkin yayın organları incelendiğinde rota tasarımının turizm ve sürdürülebilirlik ekseninde yoğunlaşmakla birlikte; algoritmik ve yapay zeka ilişkili teknik alanlarla da kabul gördüğü saptanmıştır. Anahtar kelime ağı, turizm rota tasarımının çoğunlukla turizm ana odağında; teknoloji, sürdürülebilirlik ve deneyim odaklı üçlü bir yapı içinde geliştiğini ve özellikle veri temelli yaklaşımların ön plana çıktığını göstermiştir. Bununla birlikte, turizm rota tasarımı literatüründe mekânsal tasarım ve fiziksel planlama boyutu, görece sınırlı kalmıştır. Bu bulgu, turizm rota tasarımı literatüründe öne çıkan algoritmik ve yapay zekâ temelli yaklaşımların, mekânsal planlama ve fiziksel çevre tasarımı süreçleriyle bütünleştirilmesine yönelik çalışmaların geliştirilmesinin önemli olacağını göstermektedir. Böylelikle bu bildiriden elde edilen sonuçlar; turizm rota tasarımının araştırılması ve geliştirilmesine yönelik mevcut potansiyelin anlaşılması ile gelecekteki araştırma yönlerinin belirlenmesinde yol gösterici bir temel oluşturmaya katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Akay, S.S. (2026). Cultural-Gastronomic Gıs-Based Routes for Planning Efficient Urban Tourism. *Geojournal of Tourism and Geosites,* 64(1), 29–39. https://doi.org/10.30892/gtg.64103-1653

[2] He, H. ve Sun, G. (2021). Intelligent Tourism Route Optimization Based on Teaching and Learning Optimization Algorithm. *Smart Tourism*, 2(2), 1-9. https://doi.org/ 10.54517/st.v2i2.1698.

[3] Laou, N. (2022). Analysis of the Intelligent Tourism Route Planning Scheme Based on the Cluster Analysis Algorithm. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 1, 1-10, https://doi.org/10.1155/2022/3310676.

[4] Li, K., Yu, C., Zhou, M., Fan, Y. (2026). Linking Beautiful Scenes with Path Algorithms: A Study on Route Selection of Multi-Scale Tourist Scenic Byways. *Applied Spatial Analysis and Policy* 19, 47. https://doi.org/10.1007/s12061-026-09798-z.

[5] Manzoni, A., Minasi, SM., Carnicelli, S. (2026). Power and Governance: The Development of a Tourist Route in Brazil. *Tourism Planning & Development*, https://doi.org/10.1080/21568316.2026.2624478.

[6] Păcurar, CM., Albu, RB., Păcurar, VD. (2021). Tourist Route Optimization in the Context of Covid-19 Pandemic. *Sustainability*, 13(10), 5492, https://doi.org/10.3390/su13105492.

[7] Pang Y. (1989). *Tourism Development and Tourism Geography*. Beijing: Tourism Education Press.

[8] Pedrosa, A., Martins, F., Breda, Z. (2022). Tourism Routes: A Scoping Review. *European Journal of Tourism Research*, 32. https://doi.org/10.54055/ejtr.v32i.2575.

[9] Pei, Q., Wang, L., Du, P., Wang, Z. (2022). Optimization of Tourism Routes in Lushunkou District based on ArcGIS. *PLoS ONE*, 17(3), e0264526. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0264526.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[10] Shi, Y., Chen, G., Shi, H. 2026. Enhancing the Self-Drive Tourism Experience Along Scenic Routes: Identifying Must-Be, Hybrid, and Value-Added Attributes. *Tourism Review*, 1–30. https://doi.org/10.1108/TR-07-2025-0705.

[11] Wu, X., Guan, H., Han, Y., Ma, J. (2017). A Tour Route Planning Model for Tourism Experience Utility Maximization. *Advances in Mechanical Engineering*, 9(10), 1-8. https://doi.org/10.1177/1687814017732309.

[12] Xiao, Z., Sen, L., Yunfei, F., Bin, L., Boyuan, Z., Bang, L. (2017). Tourism Route Decision Support Based on Neural Net Buffer Analysis. *Procedia Computer Science*, 107: 243–47. https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.03.086.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

EDİRNE TARİHİ KENT MERKEZİNDE DUYUSAL KENTSEL DENEYİM TEMELLİ TURİSTİK ROTA TASARIMI

Sinenur TIRPAN[1], Prof. Dr. Tuğba KİPER[2]

[1]Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1258133101@nku.edu.tr- 0009-0006-3483-7249

[2] Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Güzel Sanatlar, Tasarım ve Mimarlık Fakültesi, tkiper@nku.edu.tr- 0000-0003-3396-5661

ÖZET

Bildiride; kentin yerel değerlerini duyusal deneyim perspektifiyle ele alan turistik bir rota önerisi temelinde, kullanıcı deneyimini zenginleştiren, yerel kimliği görünür kılan ve turizm çekiciliğini artıran bir tasarım yaklaşımı sunulması amaçlanmıştır. Bu amaçla; tarihi kent merkezlerinin rota ekseninde yalnızca fiziksel özellikleriyle değil, görme, duyma, koklama, tatma ve hissetme gibi duyusal bileşenler üzerinden de deneyimlenerek turizme yönelik canlandırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda çalışma, Edirne tarihi kent merkezinde duyusal deneyim ekseninde turizm ve tasarım boyutunda, turistik bir rota önerisi geliştirilmesi bakımından özgünlük taşımaktadır. Yöntem süreci; turistik rota için örnek alan seçimi, veri işleme ve analiz, sorun tespiti, stratejik hedeflerin belirlenmesi ve deneyim odaklı turistik rota tasarımı olmak üzere 4 temel aşamayı içermektedir. Bu bağlamda; Edirne tarihi kent merkezindeki kültürel mirası duyu odaklı deneyimle birleştiren 1,40 km uzunluğunda turistik bir rota önerisi geliştirilmiştir. Rota dahilinde, ziyaretçilerin kentin anıtsal yapılarını, tarihî dokusunu, ses ve koku unsurlarını ve yerel lezzetlerini deneyimleyerek geleneksel yaşam kültürünü bütüncül bir biçimde hissetmelerini sağlayacak tasarım kararları geliştirilmiştir. Böylelikle; ziyaretçilere beş duyuya hitap eden bir deneyim rotası oluşturularak, rota dahilinde tarihi kentsel dokunun bütüncül bir şekilde canlandırılması için iyileştirme, dönüştürme, görselleştirme ve etkileştirme temelli çeşitli tasarım önerileri geliştirilmiştir. Çalışmadan elde edilecek sonuçlar; ziyaretçi deneyiminin geliştirilmesi ile Edirne tarihi kent merkezinin turizme yönelik stratejik bir planlama aracı olarak, sürdürülebilir gelişimine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Duyusal deneyim, Turistik rota, Edirne, Turistik rota tasarımı

1. GİRİŞ

Turistik rota, belirli bir bölgede ziyaret edilecek yerleri ve gerçekleştirilecek aktiviteleri öneren, gastronomi, yöresel ürünler ve geleneksel el sanatlarını öne çıkaran bir güzergâh olarak tanımlanmıştır (Del Pilar HurtadoYugcha vd., 2022). Murray ve Graham (1997), turizm rotalarını; kültürel deneyimlemeyi çeşitli satış noktalarıyla bütünleştiren mekânsal kurgular olarak tanımlayarak; nostalji, kolektif hafıza ve geleneklerden referans alan yer ve kültürün yeniden üretilmesi süreciyle yakından ilişkili olduğunu vurgulamıştır. Bu durumu destekler nitelikte, Nagy ve Piskoti (2016) de, turistik rotaları; yalnızca farklı mekânlar arasında gerçekleştirilen fiziksel bir hareketlilik olarak değil; aynı zamanda bireyin değer, duygu, his ve deneyim kazanmasını sağlayan bilişsel bir deneyim süreci olarak tanımlamışlardır. Turizm rotaları; turistlerin gün boyunca gerçekleştireceği sıralı faaliyetler dizisi olup (Rodriguez vd.,

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

2012), fiziksel uzunluk, mekânsal ölçek, tematik kurgu ve ziyaretçi çekim kapasitesi gibi temel özellikler açısından birbirinden belirgin bir biçimde farklılaşmaktadırlar (Lourens, 2007). Turistik rota tasarımı, turizm faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinde stratejik bir öneme sahip olup, bu durum birçok çalışmada da vurgulanmıştır. Örneğin, Yhee (2023)'ye göre; iyi tasarlanmış bir seyahat rotası, turistlerin popüler ve/veya gizli yerleri keşfetmelerine ve böylece destinasyonu daha iyi deneyimlemelerine yardımcı olarak, turist memnuniyetini ve tekrar ziyaret etme niyetlerini arttırmaktadır. Benzer şekilde; Molina Ruiz vd. (2014)'ne göre de; turistik bir rota, coğrafi bir alan içinde, o bölgenin kendine özgü değerlerini tanımayı sağlayan tematik bir tur olarak; bölgenin özgünlüklerini artırmak ve ziyaretçiler için çekici hale getirmek amacıyla hem doğal hem de kentsel ortamları keşfetmek üzere tasarlanmaktadır. Pedrosa vd. (2025); turizm rotalarının oluşturulmasının, ziyaretçiler ve yerel topluluklar arasında yerel değerler konusunda farkındalığın artmasında etkili olduğuna dikkat çekmişlerdir. Zhang (2023) ise; turist deneyimini geliştirmek ve rekabet gücünü artırmak için yeni turizm rotalarının düzenli olarak araştırıp geliştirilmelerinin önemli olduğu üzerinde durmuşlardır. Aynı şekilde Pedrosa vd. (2022)'nin, turizm rotaları literatürünü genel hatlarıyla inceledikleri çalışmalarında da; bu alanda yapılacak gelecekteki araştırmaların özellikle rota planlaması ve yönetimi konularına odaklanması gerekliliğine vurgu yapmışlardır. Diğer taraftan, Feng vd. (2025) de; turizm araştırmaları açısından, turist rotası seçiminin önemli ancak yeterince incelenmemiş bir alan olduğunu ve mekânsal davranış, karar verme ve hareketlilik çalışmaları kesişiminde yer aldığını belirtmişlerdir.

Yukarıdaki çalışmalardaki yaklaşımlara dayanarak bildiride; kentin yerel değerlerini duyusal deneyim perspektifiyle ele alan turistik bir rota önerisi temelinde, kullanıcı deneyimini zenginleştiren, yerel kimliği görünür kılan ve turizm çekiciliğini artıran bir tasarım yaklaşımı sunulması amaçlanmıştır. Bu amaçla; tarihi kent merkezlerinin rota ekseninde yalnızca fiziksel özellikleriyle değil, görme, duyma, koklama, tatma ve dokunma gibi duyusal bileşenler üzerinden de deneyimlenerek turizme yönelik canlandırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda çalışma, Edirne tarihi kent merkezinde duyusal deneyim ekseninde turizm ve tasarım boyutunda, turistik bir rota önerisi geliştirilmesi bakımından özgünlük taşımaktadır. Böylelikle; ziyaretçilere beş duyuya hitap eden bir deneyim rotası oluşturularak, rota dahilinde tarihi kentsel dokunun bütüncül bir şekilde canlandırılması için iyileştirme, dönüştürme, görselleştirme ve etkileştirme temelli çeşitli tasarım önerileri geliştirilmiştir.

2. METODOLOJİK ÇERÇEVE

Çalışma dahilinde; Edirne tarihi kent merkezinde, ziyaretçilerin kenti sadece bir gözlemci olarak değil, tüm duyularıyla etkileşime girecekleri aktif bir katılımcı olarak deneyimlemesini hedefleyen bütüncül bir yaklaşım çerçevesinde turistik bir rota tasarımı önerisi geliştirilmiştir. Böylelikle, Edirne tarihi kent merkezinde duyusal kentsel deneyim odaklı turistik rota çalışması temelinde, kapsamlı bir analiz sürecinden uygulama önerilerine kadar 4 temel adımda kurgulanan sistematik bir yöntem süreci izlemiştir. Yöntem süreci 4 temel aşamadan oluşmakta olup, analiz, değerlendirme ve tasarım aşamalarında Autocad, SketchUp ve Photoshop programları kullanılmıştır.

- **Turistik Rota İçin Örnek Alan Seçimi:** Yöntemin ilk aşamasını oluşturan çalışma alanı seçiminde; Osmanlı'ya başkentlik yapmış Edirne kentinin hafıza ve kimliğini yansıtan bir bölge içinde yer alması (Selimiye Camii ve çevresi, geleneksel ticaret alanları, sokak

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

dokusu ve kamusal mekânların en yoğun bulunduğu bölge), odak noktası olma özelliği, ticari ve tarihi alanlar arasında bağlantı oluşturma potansiyeli ile rota güzergâhında yer alan boş, atıl veya işlevini yitirmiş mekânlar olması etkili olmuştur (Görsel 1).



Görsel 1. Çalışma Alanı ve Konumu

- **Veri İşleme ve Analiz:** Bu aşamada; seçilen örnek alanda, ulaşım ağları, yeşil alan dağılımı, doluluk-boşluk durumu ve yapı-işlev (konut, ticari, resmi vb.) durumuna ilişkin kentsel alan analizleri ile anıtsal ve sivil mimari tescilli yapıların envanterinin oluşturulmasına yönelik analizler gerçekleştirilmiştir.
- **Sorun Tespiti:** Önceki aşamadan elde edilen analizlere dayanarak; erişilebilirlik, işlevsellik, estetik ve açık yeşil alanlar bağlamında sorunlar tespit edilmiştir.
- **Stratejik Hedeflerin Belirlenmesi:** Analiz ve sorun tespitleri çerçevesinde; dönüştürme, etkileştirme, iyileştirme ve görselleştirme amaçlı temel stratejilerin geliştirilmesi sağlanmıştır.
- **Deneyim Odaklı Rota Tasarımı:** Edirne tarihi kent merkezindeki kültürel mirası duyu odaklı deneyimle birleştiren 1,40 km uzunluğunda turistik bir rota önerisi geliştirilmiştir. Tasarım kararları, ziyaretçilerin rota boyunca kenti çok yönlü deneyimlemelerini sağlamak amacıyla geliştirilmiştir. Bu kapsamda ziyaretçilerin; kentin anıtsal yapıları olan Selimiye Camii, Eski Camii ve Üç Şerefeli Camii başta olmak üzere müzeleri ve tarihi sivil mimari örneklerini görsel olarak keşfetmeleri, aynı zamanda yerel esnaf dükkânlarından yayılan geleneksel ezgiler, ezan sesleri, kuş cıvıltıları ve kentsel yoğunluğun oluşturduğu ses mozaiği ile birlikte kente özgü kokuların deneyimlenmesi amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra ziyaretçilerin rota boyunca; tava ciğeri, badem ezmesi, Kavala kurabiyesi, deva-i misk, lokum, Edirne peyniri, şerbet, kahve gibi yerel lezzetleri tatmaları ve kentin geleneksel yaşam kültürünü bütüncül bir şekilde hissetmeleri hedeflenmiştir. Bununla birlikte rota üzerindeki; boş, âtıl veya işlevini yitirmiş mekânlar ile kentsel cephe ve tabelalara yönelik olarak görsel kalitenin iyileştirilmesine yönelik tasarım önerileri geliştirilmiştir. Böylelikle rota kapsamında, ziyaretçilere üretim ve keşif odaklı deneyimlerin yanı sıra kültürel ve eğitsel etkileşim olanakları sunulurken; kentsel ölçekte turizme yönelik mekânsal dönüşüm ve görsel iyileştirmeye katkı sağlanacaktır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

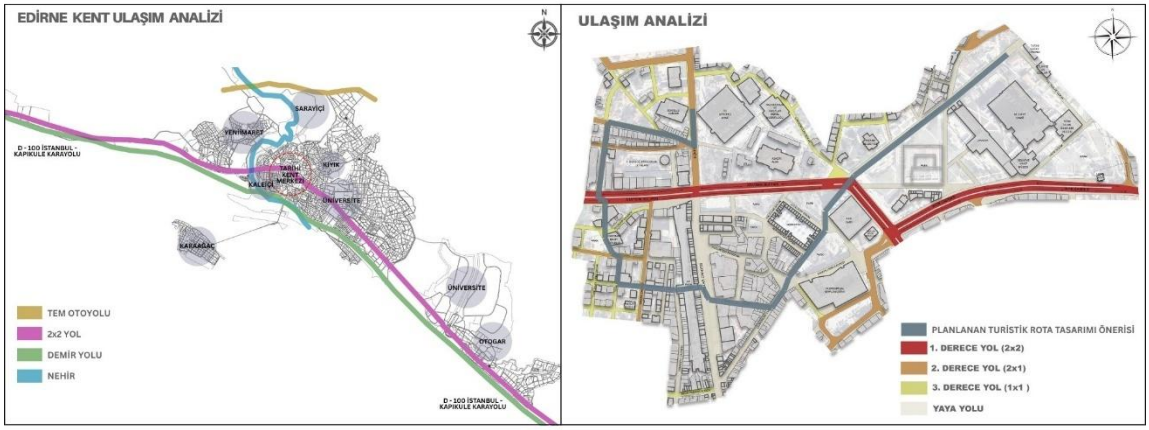
3.1. Mevcut Durum Analizleri

- **Çalışma alanı ve yakın çevresine ilişkin ulaşım durumu**

Ulaşım durumuna ilişkin veriler, alanın kent ile ilişkisine yönelik makro ve yakın plan sokak ilişkisine yönelik mikro ölçek çerçevesinde analiz edilmiştir. Bu çerçevede çalışma alanı makro

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

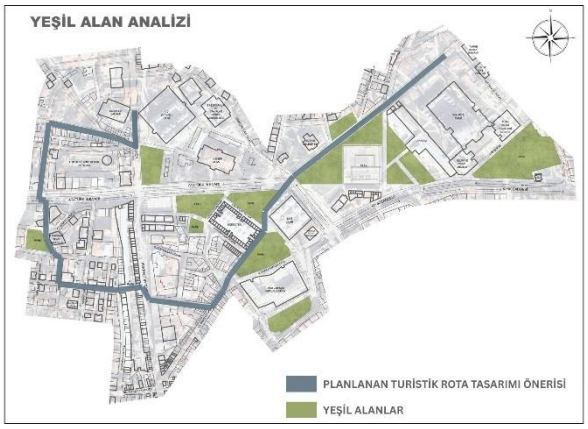
ölçekte kentin tarihsel çekirdeği ile genişleme alanları arasında yer almakta olup, TEM Otoyolu ve D-100 İstanbul-Kapıkule Karayolu ile çevrelenmiştir. Mikro ölçekte ise, alanın anıtsal yapıların çevresinde yoğunlaşan yaya yolları ile çevrelendiği görülmüştür. Çalışma alanı kenti merkeze ve komşu mahallere bağlayan Hükümet Caddesi, Saraçlar Caddesi, Maarif Caddesi ve Atatürk Bulvarı ile kesişmektedir. (Görsel 2).



Görsel 2. Makro ve Mikro Ölçekte Ulaşım Analizi Paftası

- **Çalışma alanı ve yakın çevresine ilişkin yeşil alan durumu**

Çalışma alanı ve yakın çevresi toplam yeşil alan yaklaşık olarak 26.600 m^2 olarak hesaplanmıştır. Yeşil alanlar; çoğunlukla anıt yapılar etrafında yer almaktadır. Yeşil alanlar ve anıt yapılar arasında kurulan ilişki, kültürel mirasın algılanabilirliğini arttırması ve görsel odağı güçlendirmesi açısından önem taşımaktadır (Görsel 3).



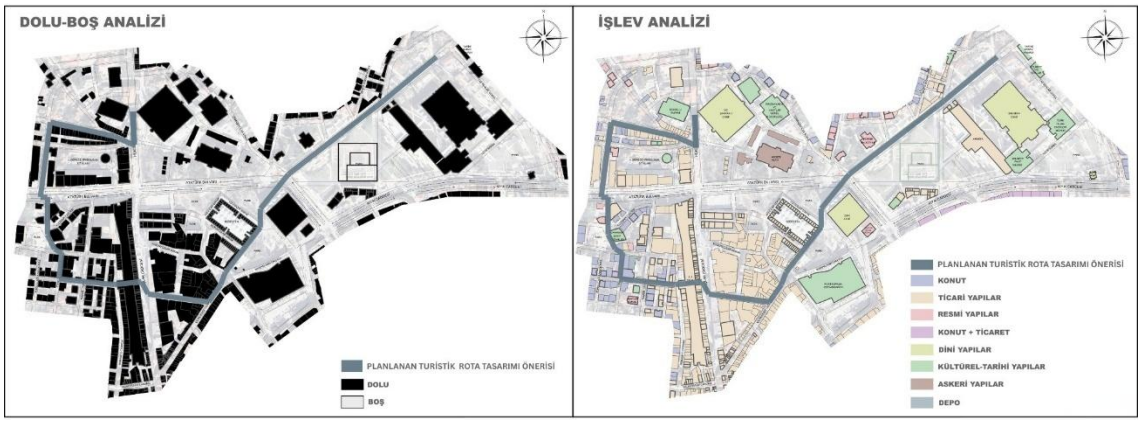
Görsel 3. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresi Yeşil Alan Analizi Paftası

- **Çalışma alanı ve yakın çevresine ilişkin doluluk-boşluk ve yapı-işlev durumu**

Çalışma alanı yakın çevresinde gerçekleştirilen dolu-boş analizi sonucunda, kentsel dokunun yaklaşık %40 doluluk ve %60 boşluk oranına sahip olduğu tespit edilmiştir. Çalışma alanı yakın çevresi ticaret ve anıtsal yapıların yoğunluklu olduğu karma bir işleve sahiptir. Alanda ticari kullanımlar ana akslar boyunca yoğunlaşmakta, konut alanları ise daha çok iç sokaklara çekilerek yarı kamusal bir düzen oluşturmaktadır. Bununla birlikte dini (Selime Camii, Eski

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

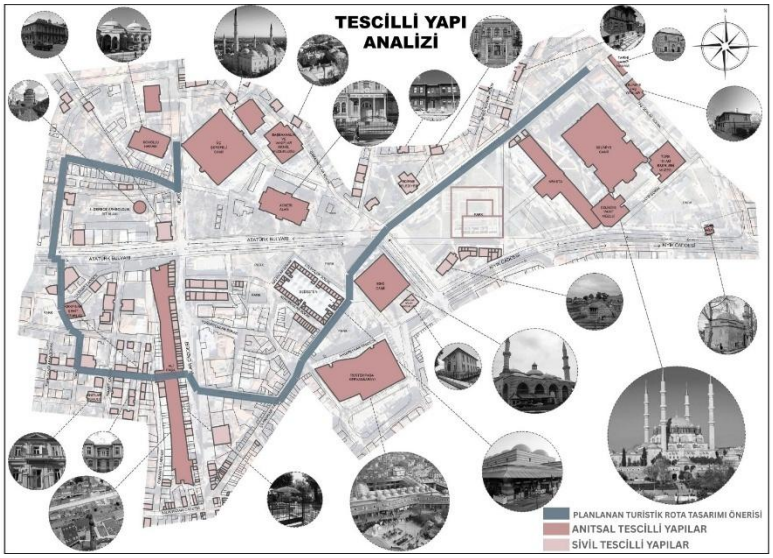
Camii, Üç Şerefeli Camii) ve kültürel-tarihi yapılar (Rüstempaşa Kervansarayı, Ali Paşa Çarşısı, Makedonya Saat Kulesi, Sokullu Mehmet Paşa Hamamı) alanda güçlü odaklar sağlamaktadır (Görsel 4).



Görsel 4. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresi Dolu-Boş ve İşlev Analizi Paftası

- **Çalışma alanı ve yakın çevresine ilişkin tescilli yapı durumu**

Edirne tarihi kent merkezi, Osmanlı döneminden günümüze ulaşan zengin bir mimari mirasın bir arada bulunduğu, çok katmanlı bir kentsel dokuya sahiptir. Kent merkezi genelinde dini, ticaret ve sosyal yaşam işlevlerinin iç içe geçtiği bir yapılaşma bulunmaktadır (Görsel 5).



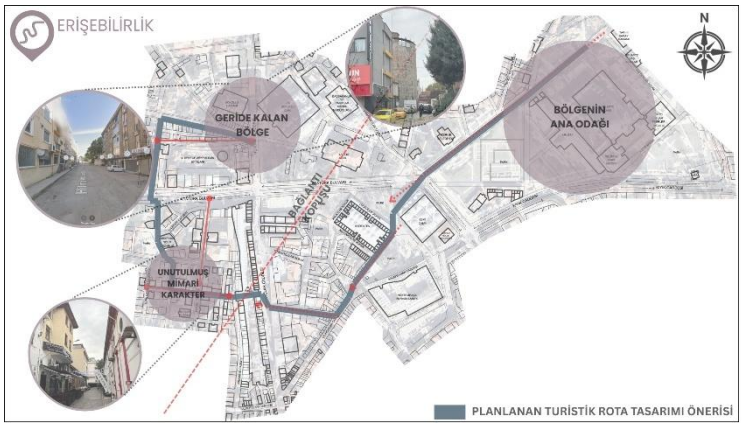
Görsel 5. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresi Tescilli Yapı Analizi Paftası

3.2. Mevcut Duruma İlişkin Sorunlar ve Hedefler

Çalışma alanında gerçekleştirilen analizler doğrultusunda, tarihi kent merkezinin mevcut kullanımını ve mekânsal bütünlüğünü etkileyen temel sorunlar dört ana başlık altında toplanmıştır.

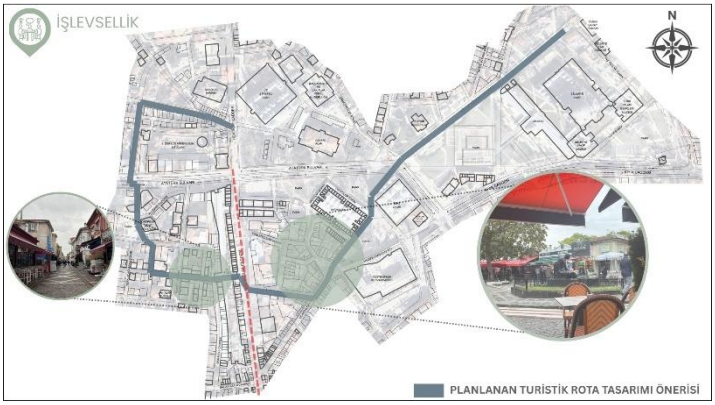
ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Erişebilirlik: Çalışma alanı erişilebilirlik ve mekânsal süreklilik açısından birbirine zıt karakterler sergileyen iki temel bölgeye ayrılmaktadır. Selimiye Camii ve Arastası çevresinde yoğunlaşan baskın tarihi ve ticari odağa sahiptir. Ancak bu güçlü odağa karşılık, Kaleiçi Bölgesi ve Makedonya Kulesi çevresi, sahip oldukları potansiyele rağmen arka planda kalmaktadır. Bölgeler, kendi içinde çeşitli işlevler barındırmasına rağmen ulaşım ağlarındaki kopukluklar nedeniyle birbirinden bağımsız, sürekliliği zayıf parçalı bir doku sergilemektedir (Görsel 6).



Görsel 6. Çalışma Alanına Ait Erişebilirlik Sorunları Paftası

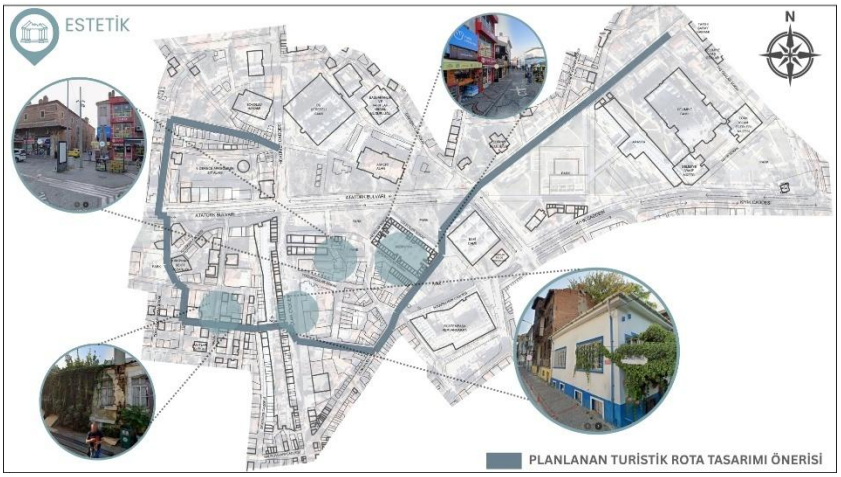
İşlevsellik: Çalışma alanında fonksiyonel açıdan sınırlı, mekânsal olarak yetersiz ve nitelik kaybına uğramış alanlar tespit edilmiştir. Mevcut dokuda işlevler genel olarak ticari odaklı ilerlemekte, özellikle yeme-içme faaliyetlerinin baskınlığı nedeniyle her yaş grubuna hitap eden bir çeşitlilik sunulamamaktadır (Görsel 7).



Görsel 7. Çalışma Alanına Ait İşlevsellik Sorunları Paftası

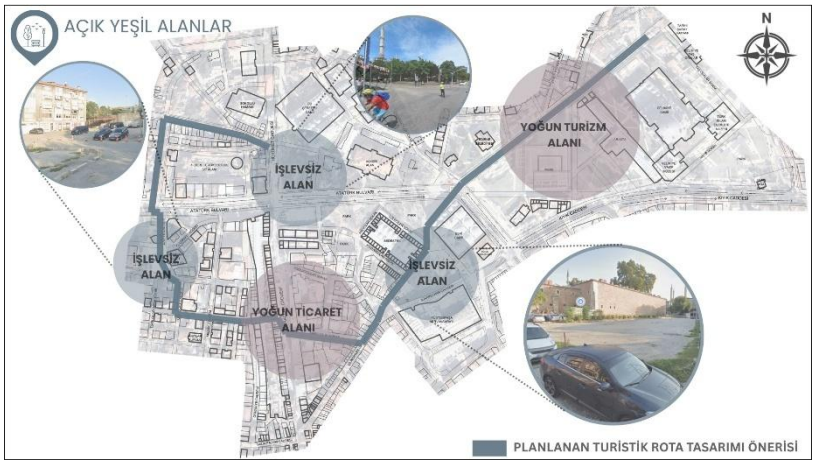
Estetik: Çalışma alanının estetik karakteri, tarihi doku ile modern yapılaşmanın bir arada bulunduğu bir yapı sergilemektedir; ancak bu birliktelik, eski ve yeni yapılar arasındaki malzeme farklılıkları ve karmaşık tabela kullanımı, mekânsal algıyı zayıflatan bir görsel karmaşa yaratmaktadır (Görsel 8).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 8. Çalışma Alanına Ait Estetik Sorunları Paftası

Açık-yeşil alanlar: Çalışma alanının mevcut dokusu; kullanıcıların nefes alabileceği ve dinlenebileceği açık-yeşil alanların yetersizliği dikkat çekmektedir. Bölgede yer alan mevcut yeşil alanların bir kısmı işlevsiz kalırken, bir kısmında ise sunulan fonksiyonlar kentsel ihtiyaçlara karşılık vermemektedir (Görsel 9).



Görsel 9. Çalışma Alanına Ait Açık-Yeşil Alan Sorunları Paftası

Sorunlar çerçevesinde, tarihi kent merkezini iyileştirme, dönüştürme, görselleştirme ve etkileştirme odaklı olarak hedefler geliştirilmiştir. Bu hedefler alanın mevcut potansiyellerini ortaya çıkarmaya, kullanım kalitesini artırmaya ve tarihsel sürekliliği güçlendirmeye yönelik bir çerçeve sunmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Çalışma alanı sorunlarına karşı belirlenen hedefler

Dönüştürme	**Etkileştirme**	**İyileştirme**	**Görselleştirme**
Tarihi ve kültürel karakterinden uzak âtıl kalmış alanları geri kazandırma	Birbirinden kopmuş alanlar arasında ulaşım sağlama ve akışkanlık oluşturma	Harabe hale gelmiş ve görsel kimlik açıdan yetersizlik gösteren yapı-elemanların düzenlenmesi	Farklı malzemelerden oluşan ve karışık cepheleri bütüncül hale getirme

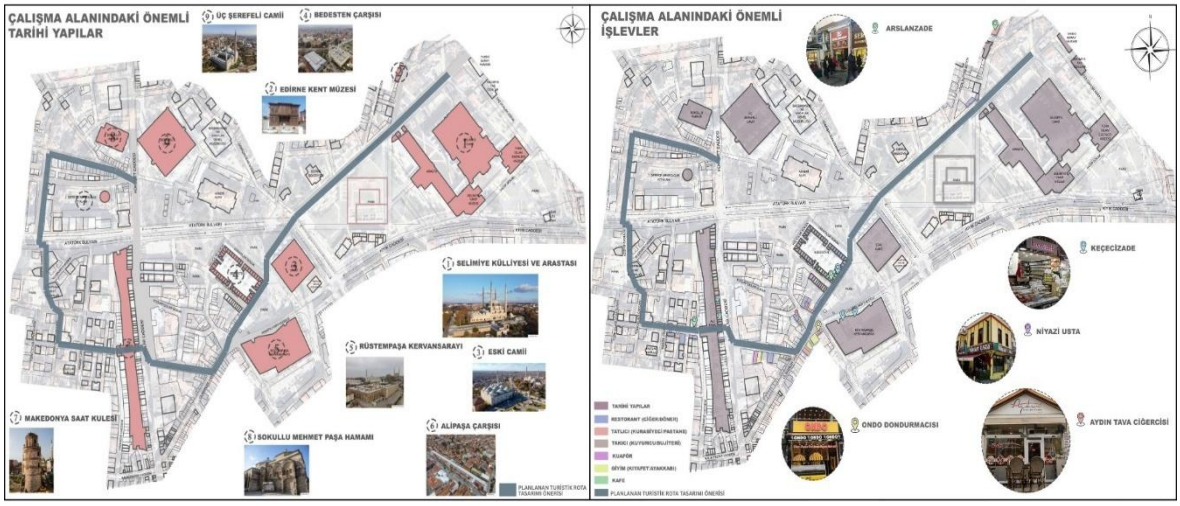
ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Çalışma alanında belirlenen sorunlar ve bu sorunlara yönelik geliştirilen hedefler doğrultusunda, alanın mekânsal ve işlevsel bütünlüğünü güçlendirmeye yönelik üç temel çözüm önerisi geliştirilmiştir.

- Alan içerisindeki önemli odakları birbirine bağlayan süreklilik sağlayan bir turistik rota oluşturmak
- Turistik rota boyunca deneyim ve dinlenme alanları tasarlamak
- Cephe düzenlemeleri yapmak

3.3. Kentsel Deneyim Temelli Turistik Rota Tasarımı Önerisi

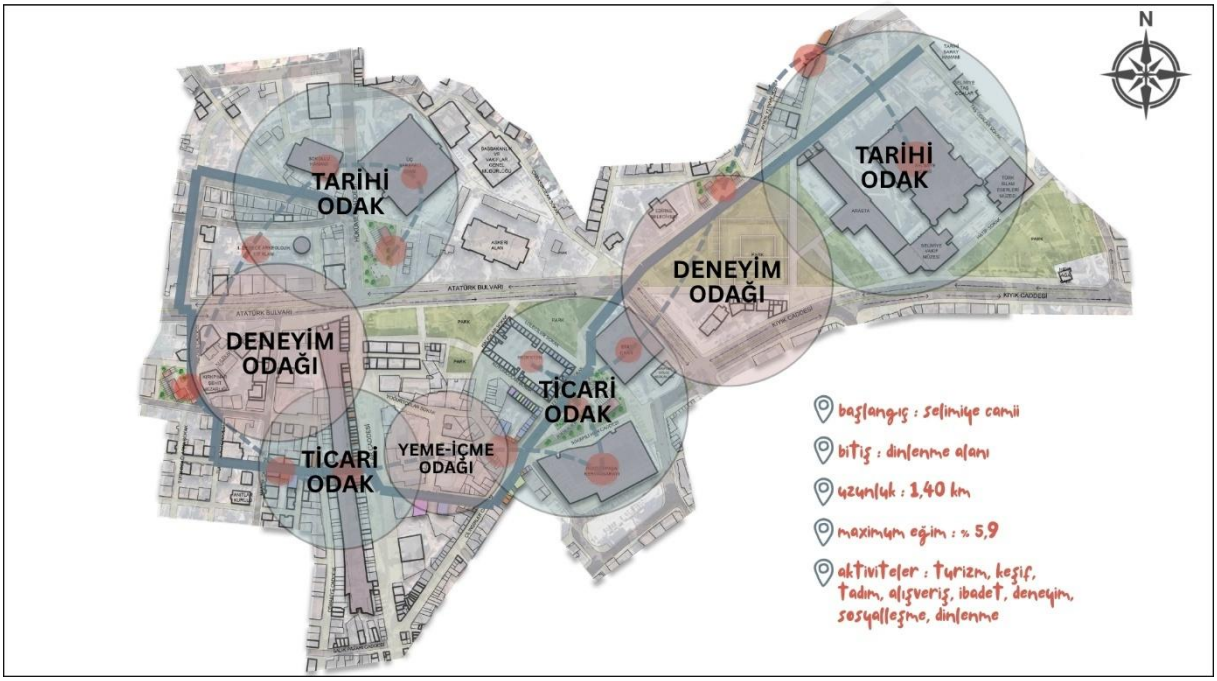
Edirne kent merkezinde planlanan rota, kentin tarihî bölgeleri ile ticari alanları arasında bütüncül bir bağlantı kurmayı hedeflemektedir. Bu rota ile tarihî dokunun sürekliliği korunurken rota üzerindeki ticari birimlerin canlanması desteklenir; yerel esnaf ve gastronomi noktaları için erişilebilirlik artar ve ekonomik sürdürülebilirliğe katkı sağlanır (Görsel 10).



Görsel 10. Çalışma Alanındaki Önemli Tarihi Yapılar ve İşlevler

Yapılan analizlerine bağlı olarak turistik bir rota tasarımı planlanmıştır. Rota, üzerindeki tarihi ve ticari odakları canlandıracak ve bölgeye süreklilik sağlayacak şekilde kurgulamıştır (Görsel 11). Rota boyunca önerilen duraklar, dinlenme ve etkileşim alanları sayesinde, ticari ve tarihi bölgeler yalnızca geçilen mekânlar olmaktan çıkarılarak deneyimlenen kamusal alanlara dönüşmektedir. Ayrıca rota üzerinde çeşitli lezzetler deneyimlenmesi planlanmaktadır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 11. Planlanan Rota Güzergahı

Planlanan rota güzergahı üzerindeki ziyaret edilecek yapılar çalışma alanındaki önemli tarihi yapılar ve işlevleri Çizelge 2. de verilmiştir.

Çizelge 2. Planlanan Rota Üzerinde Ziyaret Edilecek Yapılar

YAPI	YAPIM/AÇILIŞ TARİHİ	İŞLEV
Selimiye Camii ve Arastası	1568-1574 (Batır ve Dündar, 2022)	Dini -Ticari
Edirne Kent Müzesi	19. Yüzyıl (www.kulturportali.gov.tr)	Kültürel
Eski Camii	1414 (Erdoğan ve Nuter, 2010)	Dini
Bedesten Çarşısı	I. Mehmet Dönemi (Ekinci, 2025)	Ticari
Rüstempaşa Kervansarayı	1560-1561 (Akçıl Harmankaya, 2023)	Ticari-Kültürel
Ali Paşa Çarşısı	1561 (Uysal ve Akansel, 2020)	Ticari
Makedonya Saat Kulesi	II. Yüzyıl (Akbuz, 2017)	Turizm
Sokullu Mehmet Paşa Hamamı	16. yüzyıl (www. kulturenvanteri.com)	Turizm
Üç Şerefeli Camii	1437-1447 (Uysal, 2020)	Dini
Aydın Tava Ciğercisi	1998 (www.aydintavaciger.com)	Ticari
Keçecizade	1961 (www.kececizade.com)	Ticari
Arslanzade	1990 (www.arslanzade.com.tr)	Ticari
Niyazi Usta	1983 (www.cigerciniyaziusta.com.tr)	Ticari
Ondo Dondurmacısı	?	Ticari

Edirne tarihi kent merkezi için tasarlanan bu rota, kenti yalnızca gezilen bir mekân olarak değil, beş duyu üzerinden deneyimlenen bütüncül bir keşif alanı olarak tasarlanmıştır (Görsel 12). Böylelikle, ziyaretçilerin sokak dokusunu, yerel yaşamı ve kültürel mirası adım adım keşfederek kente dahil olması sağlanmıştır. Bununla birlikte, ziyaretçilere; görmek, duymak, tatmak, koklamak ve hissetmek üzerinden kenti algılatan ve Edirne ile etkileşime geçirerek onunla bütünleştiren bir deneyim edinmeleri sağlanmıştır (Çizelge 3).

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 12. Beş Duyu Odaklı Tasarlanan Rota Paftası

Çizelge 3. Beş Duyu ile Deneyimlenen Öğeler

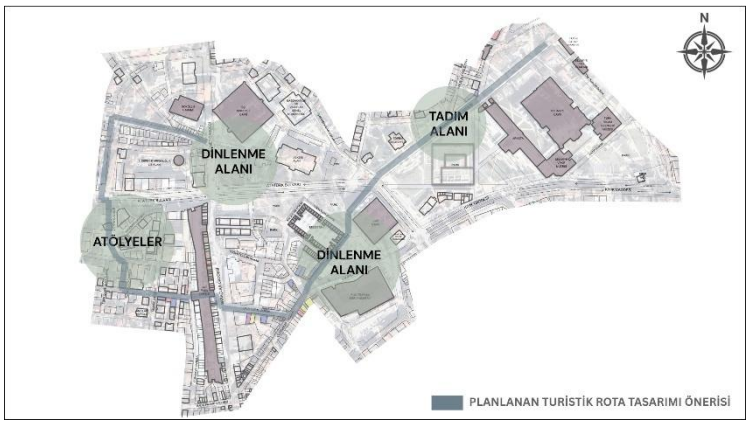
Duyular	**Deneyimlenen Öğeler**
Görmek	Selimiye Cami ve Arastası, Edirne Kent Müzesi, Eski Camii, Bedesten, Rüstempaşa Kervansarayı, Ali Paşa Çarşısı, Üç Şerefeli Camii, Sokullu Mehmet Paşa Hamamı, Makedonya Saat Kulesi
Duymak	Ezan sesleri, kuş sesleri, yöresel ezgiler, sokak sanatçıları, esnaflar, insan yoğunluğu
Tatmak	Şerbet, lokum, Kavala kurabiyesi, macun, kahve, döner, ezme, dondurma, Ezine peyniri, tava ciğeri, dürüm, badem ezmesi
Koklamak	Sokak lezzetleri, toprak, kahve, dükkanlar, restoranlar, ağaçlar
Hissetmek	Tarihi doku, yeşil doku, kent yoğunluğu, geleneksel lezzetler, ahşap yapılar, taş yapılar, geleneksel yaşam kültürü

4. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Deneyim ve dinlenme alanları tasarlamak

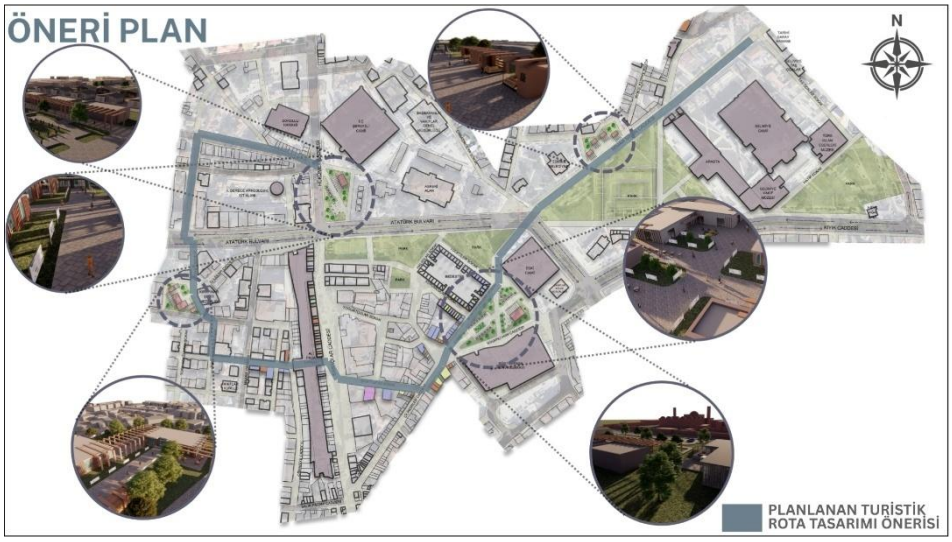
Edirne kent merkezinde tasarlanan rotadaki tadım ve dinlenme alanları ile atölyeler; rota üzerindeki boş, âtıl ya da işlevini yitirmiş mekânların değerlendirilmesiyle planlanmıştır (Görsel 13). Planlanan alanlar, rota üzerinde stratejik noktalarda bulunmaktadır. Bu yaklaşım ile, kentsel dokunun potansiyelini ortaya çıkarmayı, tarihî çevrede mekânsal sürekliliği güçlendirmeyi ve kentsel ölçekte turizme yönelik mekânsal dönüşümü sağlamak hedeflenmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Görsel 13. Deneyim ve Dinlenme Tasarım Alanları

Yapılan tasarımlarda; Selimiye Camii'nin karşısında konumlandırılan tadım ve kamusal kullanım alanı önerilen rotanın en güçlü odak noktalarından biri olarak kurgulanmıştır. Bu alan, turistler için Selimiye ziyaretiyle yerel kültürü buluşturan bir deneyim durağı oluştururken, kentliler için gündelik kullanımda sosyalleşme, dinlenme ve buluşma imkânı sunan kapsayıcı bir kamusal mekân niteliği taşır. Bir diğer tasarım Bedesten, Eski Camii ve Rüstempaşa Kervansarayı'nın ortasında; çeşitli yöresel ürünlerin sergilenmesi, tadımı ve satışı ile Edirne'nin gastronomik mirasını görünür kılacak şekilde planlanmıştır. Bu sayede ziyaretçiler, kenti yalnızca görsel olarak değil, tat ve koku gibi duyular aracılığıyla da deneyimlerken; yerel üretici ve esnaf için de ekonomik bir katkı sağlanacaktır. Tasarlanan atölye birimleri ile ise gastronomi kültürü yalnızca tüketim üzerinden değil, üretim ve deneyim üzerinden de ele alınmıştır. Böylelikle, yöresel lezzetlerin yapım süreçlerine odaklanarak, farklı kullanıcı gruplarını bir araya getirecek ve eğitsel bir boyut kazandıracak tasarım yaklaşımları esas alınmıştır. Rota boyunca yaya hareketlerinin yoğunlaştığı noktalarda tasarlanan dinlenme alanları ise, yeşil doku ile desteklenerek ziyaretçilere yönelik dinlenme ve yönlenme imkânı sunulması düşünülmüştür. Esnek kullanıma olanak tanıyan bu kamusal düzenleme ile, farklı yaş gruplarına hitap eden; karşılaşma, etkileşim ve deneyimi teşvik eden nitelikli kentsel alanlar oluşturulması hedeflenmiştir (Görsel 14).

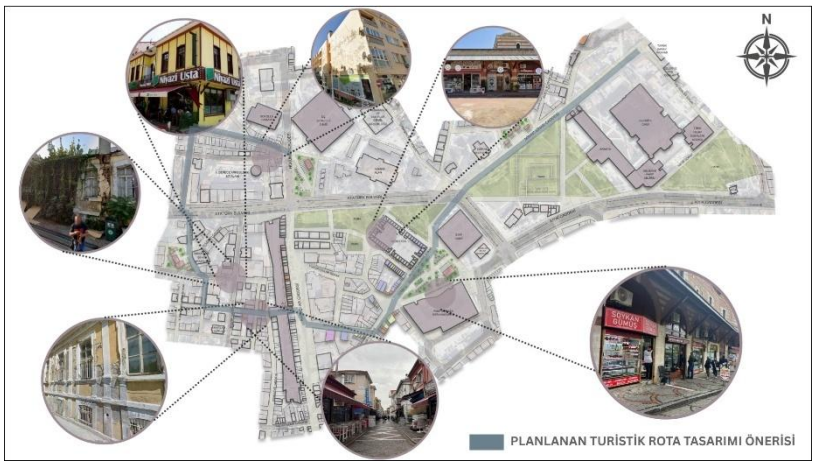


Görsel 14. Deneyim ve Dinlenme Tasarım Alanları Öneri Planı

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

4.2. Cephe Düzenlemeleri

Edirne kent merkezinde tasarlanan rota kapsamına yönelik cephe düzenlemelerinde; yapı cephelerinde görülen fiziksel aşınmalar, bakım eksiklikleri ve tabela yoğunluğunun yarattığı görsel karmaşa sorunu temel alınmıştır. Cephe tasarımları kapsamında, cephelerdeki aşınma ve hasarlara yönelik bakım-onarım önerileri geliştirilerek yapıların özgün mimari karakterine zarar vermeden malzeme bütünlüğünün korunması ve fiziksel dayanımın artırılması hedeflenmiştir (Görsel 15).



Görsel 15. Sorunlu Cepheler

Mevcut durumda farklı malzeme, renk, font ve ölçülerle çeşitlenen tabela kullanımları ile düzensiz cephe elemanları, hem görsel karmaşa yaratmakta hem de tarihî kimliğin algılanmasını zorlaştırmaktadır. Bu doğrultuda, sokak genelinde ortak bir dil oluşturmak amacıyla tüm işletmeler için ahşap zemin üzerine altın sarısı yazı karakterinden oluşan standart bir tabela sistemi önerilmiştir. Bu yaklaşım, hem tarihî çevreyle uyumlu bir estetik sunmakta hem de rota boyunca algısal süreklilik sağlayarak ziyaretçi deneyimini güçlendirmektedir. Cephe bütünlüğünü bozan ve sokak siluetini parçalayan farklı renk ve formdaki brandalar kaldırılmış; bunların yerine, tasarımın geneliyle uyumlu ahşap pergola sistemleri önerilmiştir. Bu sayede hem gölgelik ihtiyacı karşılanmış hem de daha düzenli ve bütüncül bir üst örtü dili oluşturulmuştur. Kaldırım ve yol yüzeylerinde görülen doku ve renk dağınıklığını gidermek amacıyla açık gri tonlarda Arnavut kaldırımı kulanım benimsenmiştir. Bu nötr zemin kurgusu, cephe düzenlemelerini ön plana çıkarırken aynı zamanda yön bulmayı kolaylaştıran sade bir arka plan sunmaktadır (Görsel 16).



Görsel 16. Ortak Dil Oluşturma Çalışmaları

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Turistik rota üzerinde zamanla yıpranmış, bakımsız ve geri planda kalmış yapılar için çevreyle uyumlu bütüncül iyileştirme önerileri geliştirilmiştir. Amaç, yapının zayıflayan algısını güçlendirmek, sokak bütünlüğünü yeniden kurgulamak ve rota deneyimini daha nitelikli hale getirmektir. Bu doğrultuda cephe yüzeylerinde oluşan bozulmalar giderilerek duvar dokusu onarılmış, yapısal ve görsel hasarlar iyileştirilmiş ve cephe elemanlarının okunurluğu artırılarak daha estetik ve düzenli bir görünüm elde edilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, bazı yapıların rota üzerindeki görünürlüğünü artırmak amacıyla yapıların sağır yüzeylerinde Edirne'nin tarihî kimliğine referans olacak grafiti tasarımları önerilmiştir. Böylelikle, sağır yüzeylere sahip yapılar, çevreyi baskılamadan, rota üzerinde tanımlı bir odak noktası haline getirilmiştir. Alanın kullanım kalitesini düşüren atıklar ve düzensiz öğeler kaldırılarak, fiziksel güvenliğin sağlanması ile mekânsal algının iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Zemin düzleminde ise rota ile bütünlük sağlamak amacıyla açık gri tonlarda Arnavut kaldırımı önerilerek sade, nötr ve süreklilik sağlayan bir yüzey kurgulanmıştır. Tüm bu müdahalelerle görsel yönden zayıf yapı ve yakın çevreleri, yalnızca onarılmış bir alan olmaktan çıkarılarak; daha güvenli, estetik ve tarihî kent dokusuyla uyumlu bir kamusal durak haline getirilmiştir (Görsel 17).



Görsel 17. Cephe İyileştirme Çalışmaları

4.3. Değerlendirme

Edirne Tarihi Kent Merkezi'nde geliştirilen duyusal kentsel deneyim temelli turistik rota önerisi; alan seçimi, veri işleme ve analiz, sorun tespiti, stratejik hedeflerin belirlenmesi ve deneyim odaklı turistik rota tasarımı doğrultusunda bütüncül bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Çalışma kapsamında oluşturulan rota, yalnızca mekânsal bir bağlantı kurmakla kalmayıp, kenti beş duyu üzerinden deneyimlemeyi mümkün kılan çok katmanlı bir kurgu sunmaktadır. Rota boyunca önerilen deneyim ve dinlenme alanları, atıl ve işlevsiz mekânların yeniden değerlendirilmesini sağlayarak kamusal kullanım kalitesini artırmakta; kullanıcıların sosyalleşme, etkileşim ve öğrenme süreçlerine aktif katılımını desteklemektedir. Özellikle gastronomi odaklı müdahaleler, kentin yerel değerlerini görünür kılarak hem ziyaretçi deneyimini zenginleştirmekte hem de yerel ekonomiye katkı sağlayacaktır. Cephe düzenlemeleri ve kentsel iyileştirme önerileri ile sokak ölçeğindeki görsel karmaşa azaltılarak, tarihî doku ile uyumlu, okunaklı ve sürekliliği olan bir mekânsal dil oluşturulmuştur. Tabela düzenlemeleri, pergola sistemleri ve zemin yenilemeleri gibi müdahaleler, hem estetik bütünlüğü güçlendirmiş hem de ziyaretçilerin yön bulma ve mekân algısını iyileştirmiştir. Bununla birlikte, yıpranmış yapıların iyileştirilmesi ve odak noktalarına dönüştürülmesi ile rota üzerinde güvenli ve tanımlı duraklar oluşturmuştur.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Sonuç olarak çalışma; kenti öğrenme, keşfetme, deneyimleme ve dinlenme eylemlerini bir araya getiren, duyusal deneyim odaklı bir tasarım yaklaşımı sunmaktadır. Böylelikle turistik rota tasarımı önerisi ile; ziyaretçi deneyiminin bütüncül bir yaklaşımla geliştirilmesi, mekânsal kalite ve erişilebilirliğin artırılması, tarihi ve kültürel değerlerin korunarak görünür kılınması hedefinde, Edirne tarihi kent merkezinin turizme yönelik stratejik bir planlama aracı olarak, sürdürülebilir gelişimine katkı sağlanacaktır.

KAYNAKÇA

[1] Akçıl Harmankaya, N. Ç., Edirne Rüstem Paşa Kervansarayında Köşk Mescit Geleneğinin İzleri, *Journal of Art History*, 32, 35-59, 2023.

[2] Atlı Akbuz, L., Hadrianopolis Roma Dönemi Fırın Malzemesi, Trakya Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Dergisi, 7, 14, 181-205, 2017.

[3] Batır, E. ve Dündar, A., Edirne Selimiye Külliyesi'nde 1761-1762 Yıllarında Gerçekleştirilen Restorasyon Faaliyetleri, Belleten, 86, 307, 929-968, 2022.

[4] del Pilar Hurtado -Yugcha, J., Quisimalin -Santamaría, H. M., Mancheno -Saá, M. J., Gamboa -Salinas, J. M., & Castro -Analuiza, J. C. 2022. Tourist Routes, A Link Between Economic and Cultural Development. *Journal of Positive School Psychology*, 1562–1572.

[5] Ekinci, M., *Erken Dönem Osmanlı Mimarisi'nde Bedesten*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara, 2025.

[6] Erdoğan, E. ve Kuter, N., Edirne Kenti Kültür Varlıklarının Kent Estetiği Açısından Değerlendirilmesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 7, 3, 117-125, 2010.

[7] Feng, S., Yusof, MJM., Bakar, SA. (2025). Determinants of Tourist Route Choice in Scenic Destinations: Evidence from Guilin, China. *Internatıonal Journal of Academic Research In Business and Social Sciences*, 15(7), 1878- 1888. http://dx.doi.org/10.6007/IJARBSS/v15-i7/26083.

[8] https://arslanzade.com.tr (Erişim tarihi: 31.03.2026)

[9] https://cigerciniyaziusta.com.tr/about/ (Erişim tarihi: 31.03.2026)

[10] https://www.aydintavaciger.com (Erişim tarihi: 31.03.2026)

[11] https://www.kececizade.com/hakkimizda (Erişim tarihi: 31.03.2026)

[12] https://www.kulturenvanteri.com/yer/sokullu-mehmet-pasa-hamami-edirne/ (Erişim tarihi: 31.03.2026)

[13] https://www.kulturportali.gov.tr/turkiye/edirne/kulturenvanteri/hafiz-aga-konagi (Erişim tarihi: 31.03.2026)

[14] Lourens, M. (2007). Route Tourism: A Roadmap for Successful Destinations and Local Economic Development. *Development Southern Africa*, 24(3),475-490. https://doi.org/10.1080/ 03768350701445574

[15] Molina Ruiz, J., Serrano, L.T., Serrano, VG. (2014). The Development of the Natural, Cultural and Landscape Heritage Through the Desıgn of Tourist Routes. *Cuadernos de Turismo*, 34, 409-411. https://digitum.um.es/server/api/core/bitstreams/a5713c54-67b6-449d-b86e-c052a229398d/content

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

[16] Murray, M. ve Graham, B. (1997). Exploring the Dialectics of Route-Based Tourism: the Camino de Santiago. *Tourism Management,* 18(8),513-524. http://dx.doi.org/10.1016/S0261-5177(97)00075-7.

[17] Nagy, K. ve Piskoti, I. (2016). Route-based Tourism Product Development As A Tool for Social Innovation: History Valley in the Cserehat Region. *Club of Economics in Miskolc' Theory, Methodology, Practice.* 12, 75–86. https://dx.doi.org/10. 2139/ssrn.3639494.

[18] Pedrosa, A., Martins, A., Breda, Z., Gonzalez, R.L., Costa, AP. 2025. Tourism Routes Development: Critical Success Factors. 80(2), 553-567. https://doi.org/10.1108/TR-01-2024-0029.

[19] Pedrosa, A., Martins, F., Breda, Z. (2Pedrosa Routes: A Scoping Review. *European Journal of Tourism Research,* 32, 3216. https://www.ejtr.vumk.eu/ index.php/about/ article/ view/2575/570.

[20] Rodriguez, B., Molina, J., Perez, F., & Caballero, R. (2012). Interactive Design of Personalized Tourism Routes. *Tourism Management*, 33(4), 926–940. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2011.09.014.

[21] Yhee, Y., Shin, S., Lee, E., Kim, J. 2023. Examining the Importance of Spatial Aspects of Travel Routes: A Multi-Method Approach. *Information Processing & Management*, 60(3),103281. https://doi.org/ 10.1016 / j.ipm.2023.103281.

[22] Zhang, X., Pang, X., Pang, X., Wang, F., Li, C., Zhu, M. (2023). TriPlan: An Interactive Visual Analytics Approach for Better Tourism Route Planning. *Journal of Visualization,* 26, 231–248. https://doi.org/ 10.1007/s12650- 022-00861-8.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ÇANAKKALE İLI HAVA KALITESI İZLEME İSTASYONLARINDA 2019–2024 YAZ DÖNEMI KIRLETICILERIN DURUMU VE DEĞIŞIMLERI: MERKEZ, ÇAN, BIGA VE LAPSEKI ÖRNEKLERI

Yüksek Lisans Öğrencisi, İBRAHİM KİREÇ [1], Prof. Dr, RÜŞTÜ ILGAR [2]
[1]Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Coğrafya Eğitimi,
İbrahim.kirec.71@gmail.com - 0009-0002-2617-8440
[2] Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Coğrafya Eğitimi ABD.,
ilgar@mail.com - 0000-0002-4981-7324

Özet

Bu çalışmada, Çanakkale ili hava kalitesi izleme istasyonlarında (Merkez, Biga ve Çan) yaz mevsimi (Haziran, Temmuz, Ağustos) dönemine ait kirletici konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Analiz kapsamında PM10, SO_2, NO_2 ve NOx parametreleri için yaz aylarına ait ortalamalar hesaplanmış ve ulusal limit değerler ile karşılaştırılmıştır.Elde edilen sonuçlara göre, Biga istasyonunda PM10 yaz ortalaması 28,92 µg/m³ olup 40 µg/m³ limit değerinin kalmıştır. SO_2 ortalaması 7,71 µg/m³ ile limit değer olan 20 µg/m³ değerinin altında kalmıştır. NO_2 ortalaması yaklaşık 18 µg/m³ ile 40 µg/m³ sınır değerinin altında, NOx ortalaması ise yaklaşık 35 µg/m³ olup 30 µg/m³ limit değerinin üzerinde ölçülmüştür.Merkez istasyonunda PM10 yaz ortalaması 47,38 µg/m³ olarak hesaplanmış ve limit değer olan 40 µg/m³ seviyesini aşmıştır. SO_2 ortalaması 6,05 µg/m³ ile limit değer olan 20 µg/m³ seviyesinin altında kalmıştır. NO_2 ortalaması yaklaşık 25 µg/m³ olup limit altında seyrederken, NOx ortalaması yaklaşık 45 µg/m³ olarak belirlenmiş ve 30 µg/m³ olan limit değerin üzerinde olduğu görülmüştür.Çan istasyonunda PM10 yaz ortalaması 47,05 µg/m³ olup limit değer olan 40 µg/m³ seviyesini aşmıştır. SO_2 değerleri genel olarak düşük seviyelerde kalmış ve limit aşımı gözlenmemiştir. NO_2 ortalaması yaklaşık 20 µg/m³ ile sınır değer olan 40 µg/m³ seviyesinin altında kalırken, NOx ortalaması yaklaşık 40 µg/m³ olup limit değer olan 30 µg/m³ seviyesinin üzerinde ölçülmüştür.

Anahtar kelimeler: Hava kalitesi, Yaz dönemi, Çanakkale, Hava kirliliği

Abstract

In this study, pollutant concentrations during the summer season (June, July, August) were evaluated at air quality monitoring stations in Çanakkale province (Merkez, Biga, and Çan). Within the scope of the analysis, summer averages for PM10, SO_2, NO_2, and NOx parameters were calculated and compared with national limit values. According to the results obtained, the PM10 summer average at Biga station was 28.92 µg/m³, remaining below the limit value of 40 µg/m³. The SO_2 average was 7.71 µg/m³, staying below the limit value of 20 µg/m³. While the NO_2 average was approximately 18 µg/m³, falling under the 40 µg/m³ threshold value, the NOx average was measured at approximately 35 µg/m³, which was above the limit value of 30 µg/m³. At the Merkez station, the PM10 summer average was calculated as 47.38 µg/m³, exceeding the limit level of 40 µg/m³. The SO_2 average was 6.05 µg/m³, remaining below the limit value of 20 µg/m³. While the NO_2 average was around 25 µg/m³, staying below the limit, the NOx average was determined to be approximately 45 µg/m³, exceeding the limit value of 30 µg/m³. At the Çan station, the PM10 summer average was 47.05 µg/m³, exceeding the limit value of 40 µg/m³. SO_2 values generally remained at low levels, and no limit exceedances were observed. While the NO_2 average was approximately 20 µg/m³, remaining below the threshold value of 40 µg/m³, the NOx average was measured at approximately 40 µg/m³, which was above the limit value of 30 µg/m³.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: Air quality, Summer period, Çanakkale, Air pollution

1. Giriş

Hava kirliliği, küresel ölçekte en önemli çevresel sağlık risklerinden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2 ve SO_2 maruziyetinin kardiyovasküler mortalite, solunum yolu hastalıkları, astım alevlenmesi, inflamasyon ve erken ölüm yükü ile ilişkili olduğu uzun süredir bilinmektedir. (Pope ve Dockery, 2006; Brook ve ark., 2010; WHO, 2021). WHO tarafından 2021 yılında güncellenen hava kalitesi kılavuzu, düşük derişimlerde bile sağlık etkilerinin devam ettiğini vurgulayarak limit değer yaklaşımlarının yeniden düşünülmesi gerektiğini ortaya koymuştur (WHO, 2021).

Partikül madde, hava kalitesinin en karmaşık bileşenlerinden biridir. PM_{10} trafik, ısınma, sanayi, açık alan tozu, yeniden süspansiyon ve bölgesel taşınım gibi çok sayıda kaynağın ortak ürünüdür. Kentlerdeki partikül yükünün önemli bir bölümünün yol tozu, egzoz dışı trafik kaynakları ve ikincil aerosol oluşumu ile ilişkili olduğu; kentsel PM karışımının kaynağa göre kimyasal ve toksikolojik açıdan farklılaşabildiği görülmektedir (Karagulian ve ark., 2015; Seinfeld ve Pandis, 2016). PM2.5 özellikle alt solunum yollarına ve alveoler bölgeye ulaşabildiğinden, kronik etkiler bakımından en hassas göstergelerden biri olarak öne çıkmaktadır (Kampa ve Castanas, 2008; Brook ve ark., 2010).

Kükürt dioksit (SO_2), kükürt içeriği yüksek yakıtların yanması, bazı termik süreçler ve endüstriyel faaliyetlerle yakından ilişkilidir. Avrupa'da yakıt kalitesindeki iyileşme ve emisyon kontrol teknolojileriyle SO_2 düzeylerinde uzun süreçli bir düşüş görülmüş olsa da yerel kaynak baskısının güçlü olduğu alanlarda kısa ve orta dönemli yükselmeler devam etmektedir (Vestreng ve ark., 2007). SO2 maruziyeti bronkokonstriksiyon, hava yolu irritasyonu ve duyarlı gruplarda solunum semptomlarındaki artışla ilişkilidir. Kısa süreli maruziyetlerin mortalite ile ilişkisini gösteren kanıtlar da bulunmaktadır (Orellano ve ark., 2021).

NO_2 ve toplam azot oksitler (NO_x), özellikle trafik, yüksek sıcaklıklı yanma süreçleri ve bazı endüstriyel kaynaklarla doğrudan ilişkilidir. NO_2 kentsel alanlarda trafik yoğunluğunun etkilerini izlemek için yaygın kullanılan bir gösterge olup, yol kenarı maruziyetleriyle bağlantılıdır (Carslaw ve Beevers, 2005). NO_x ise fotokimyasal süreçlerde ozon ve ikincil aerosol oluşumuna katkı veren öncül kirletici grubu içinde yer alır (Finlayson-Pitts ve Pitts, 2000; Monks ve ark., 2009). Bu nedenle NO_2 ve NO_x'in birlikte ele alınması, hem yerel emisyon baskısını hem de ikincil kirletici oluşum potansiyelini değerlendirebilmek açısından önem arz eder.

Mevsimsellik, hava kalitesi çalışmalarında belirleyici bir kriterdir. Kış dönemlerinde ısınma kaynaklı emisyon artışı ve atmosferik karışım yüksekliğinin düşmesi birçok kirletici için artışa yol açarken, yaz döneminde fotokimyasal reaksiyonlar, kuraklık, yol tozu, denizel taşınım ve bölgesel meteorolojik koşullar farklı görüntüler yaratabilmektedir (Jacob ve Winner, 2009; Tai ve ark., 2010; Sharma ve ark., 2014). Yaz mevsiminde PM_{10}'un yeniden süspansiyon ve yüzey kuruluğu ile, NO_x'in ise trafik ve yerel yanma süreçleriyle ilişkili olarak istasyon bazında ayrışabildiği görülmüştür.

Türkiye'de hava kalitesi çalışmaları, Marmara ve Batı Anadolu gibi nüfus, sanayi ve ulaşım yükünün birlikte bulunduğu bölgelerde noktalar arası belirgin farklılaşmalara işaret etmektedir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Marmara Bölgesi için yürütülen çalışmalar, aynı bölge içinde bile kıyısal, endüstriyel ve kentsel noktaların farklı kirletici türlerine sahip olabileceğini göstermiştir (Pekey ve ark., 2010; Erdem ve Pekey, 2013). Çanakkale özelinde ise boğaz trafiği, yerleşim alanları, liman etkisi, tarımsal faaliyetler ve bazı alt bölgelerde enerji/yanma kaynakları bir arada bulunduğundan, istasyon bazlı değerlendirme zorunlu hale gelmektedir.

Bu çalışmanın amacı, Çanakkale'deki Merkez, Çan, Biga ve Lapseki istasyonlarının 2019–2024 yaz dönemi verilerini hesaplayarak istasyon bazlı bir değerlendirme sunmaktır. Çalışmada iki temel yaklaşım benimsenmiştir: ilk olarak, Haziran, Temmuz ve Ağustos ayı değerlerinden yaz ortalamaları hesaplanmış; ikinci olarak, bu yaz ortalamaları mevzuat limit değerleri ve yaz dışı dönem ortalamalarıyla karşılaştırılmıştır.

Health Effects Institute tarafından yayımlanan State of Global Air raporları, partikül madde ve ozon başta olmak üzere dış ortam hava kirliliğinin dünya genelinde erken ölüm ve hastalık yükünün temel belirleyicilerinden biri olmaya devam ettiğini göstermektedir. Avrupa Çevre Ajansı da özellikle PM_{10} ve NO_2 maruziyetlerinin Avrupa kentlerinde önlenebilir sağlık yükü üretmeyi sürdürdüğünü bildirmektedir. Bu birikim, yerel ölçekte yapılan istasyon bazlı çalışmaların yalnızca çevresel değil, aynı zamanda halk sağlığı açısından da yüksek değere sahip olduğunu göstermektedir.

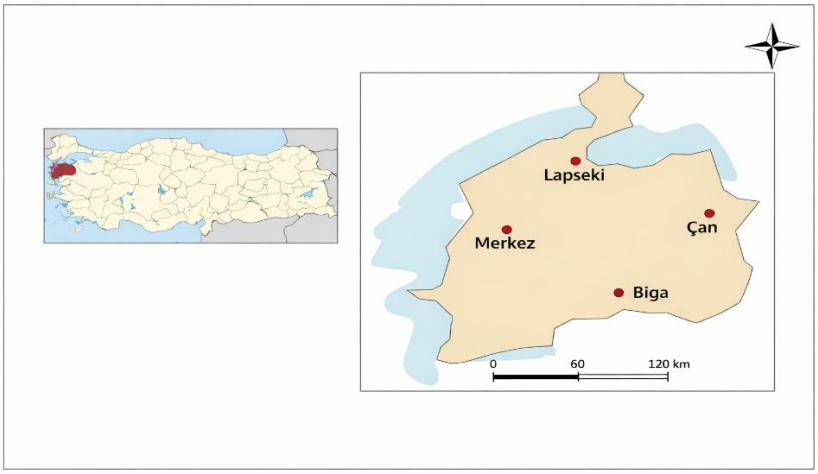
Yaz mevsimi çoğu zaman kış dönemi kadar problemli görülmese de, özellikle kurak yüzey koşulları, yoğun kara yolu hareketliliği, inşaat ve açık alan etkinlikleri ile bölgesel taşınım süreçleri partikül madde ve azot oksitler açısından kirlilik üretebilmektedir. Bu nedenle yaz döneminin ayrı bir konu olarak incelenmesi, sadece mevsimsel karşılaştırma yapmak için değil, yıl boyunca süren yapısal kirletici kaynaklarını ortaya çıkarmak için de gereklidir. Çanakkale gibi kıyısal, geçiş karakterli ve farklı özellikte lokasyonları aynı coğrafyada barındıran bir ilde bu yaklaşım daha da önem kazanmaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

Veri seti, 2019–2024 dönemine ait aylık istasyon tablolarından elde edilmiştir. Analize Merkez, Çan, Biga ve Lapseki hava kalitesi izleme istasyonları dahil edilmiştir. Çalışma yaz dönemiyle sınırlandığından, her istasyon ve her kirletici için Haziran, Temmuz ve Ağustos ayı aylık ortalamaları yeniden okunmuş ve hesaplanmıştır.

Bunun yerine her yıl için yaz ortalaması, Haziran–Temmuz–Ağustos değerlerinin aritmetik ortalaması olarak yeniden hesaplanmıştır. İlgili üç ayın birinde veri yoksa yıllık yaz ortalaması mevcut aylar üzerinden üretilmiş; üç ayın tamamı yoksa ilgili hücre "Ölçüm yok" olarak bırakılmıştır. Bu yaklaşım her sonucun doğrudan ham aylık gözleme izlenebilir olmasını sağlamak amacıyla benimsenmiştir.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9



Şekil 1. *Çalışma alanının Türkiye içindeki konumu ve değerlendirmeye alınan istasyonların konumsal gösterimi.*

Yaz dönemi ile yaz dışı dönem karşılaştırmasında, 2019–2024 arasındaki tüm mevcut Haziran–Temmuz–Ağustos aylık ortalamaları bir araya getirilerek yaz dönemi ortalaması; Eylül–Mayıs arasındaki tüm mevcut aylık ortalamalar kullanılarak yaz dışı dönem ortalaması hesaplanmıştır. Böylece istasyon bazında mevsimsel fark, tek bir yılın değil çok yıllı bir gözlemin sonucu olarak değerlendirilmiştir.

Limit karşılaştırmalarında PM_{10} için 40 µg/m³, NO_2 için 40 µg/m³, SO2 için 20 µg/m³ ve NO_x için 30 µg/m³ yıllık referans değerleri kullanılmıştır. Yaz ortalamalarının yıllık referans değerlerle karşılaştırılması, istasyonlar arası farklılıkları ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan Limit Değerler

Parametre	Ortalama süresi	Limit Değer
PM_{10}	Yıllık ortalama	40 µg/m³
SO_2	Yıllık ortalama	20 µg/m³
NO_2	Yıllık ortalama	40 µg/m³
NO_x	Yıllık ortalama	30 µg/m³

3. Bulgular

3.1 Merkez İstasyonu

Tablo 2. Merkez istasyonunda 2019–2024 yaz dönemi kirletici ortalamaları

Parametre	Yıl	Haziran	Temmuz	Ağustos	Yaz ort.
PM_{10}	2019	44,60	37,70	54,00	**45,43**
	2020	34,65	46,01	47,97	**42,88**
	2021	39,90	39,30	30,20	**36,47**

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Parametre	Yıl	Haziran	Temmuz	Ağustos	Yaz ort.
	2022	41,77	43,69	56,68	**47,38**
	2023	43,40	27,30	26,50	**32,40**
	2024	29,00	22,50	Ölçüm yok	**25,75**
SO_2	2019	7,60	13,70	11,70	**11,00**
	2020	6,30	7,11	5,86	**6,42**
	2021	7,70	5,20	8,70	**7,20**
	2022	6,32	6,15	5,69	**6,05**
	2023	3,70	2,80	4,00	**3,50**
	2024	4,10	3,30	3,60	**3,67**
NO_2	2019	16,10	18,50	17,20	**17,27**
	2020	19,08	15,65	14,62	**16,45**
	2021	19,20	17,10	20,70	**19,00**
	2022	3,76	5,83	4,94	**4,84**
	2023	18,20	20,40	18,30	**18,97**
	2024	22,80	12,10	13,20	**16,03**
NO_x	2020	39,24	35,04	26,60	**33,63**
	2021	35,40	26,80	33,10	**31,77**
	2022	30,95	22,27	23,52	**25,58**
	2023	33,90	36,30	39,60	**36,60**

PM_{10} için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 39,13 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 37,99 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 40 µg/m³ olan limit değeri aşmamıştır. Yıllık yaz ortalaması bakımından limit değeri aşan yıllar 2019 yılında 45,43 µg/m³; 2020 yılında 42,88 µg/m³; 2022 yılında 47,38 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. SO_2 için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 6,31 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 7,96 µg/m³ olarak görülmektedir. Yaz dönemi ortalaması 20 µg/m³ olan limit değeri aşmamıştır. Ölçüm sağlanan yılların hiçbirinde 20 µg/m³ limiti aşılmamıştır.

NO_2 için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 15,43 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 18,73 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 40 µg/m³ olan limit değeri aşmamıştır. Ölçüm yapılan yılların ortalamaları incelendiğinde 40 µg/m³ limit değerinin aşılmadığı görülmektedir. NO_x için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 31,89 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 45,53 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 30 µg/m³ ile limit değerin üzerindedir. Yıllık yaz ortalaması bakımından limit değeri aşan yıllar 2020: 33,63 µg/m³; 2021: 31,77 µg/m³; 2023: 36,60 µg/m³ olarak görülmektedir. PM_{10} için 2024 yılı Ağustos ayı verileri bulunmamaktadır. Bu yıllarda yaz ortalaması yalnızca ölçüm yapılan aylar üzerinden hesaplanmıştır. Merkez istasyonunda yaz dönemi açısından en belirgin sorun PM_{10} ve NO_x parametrelerinde görülmektedir, buna karşın SO_2 ve NO_2 yaz ortalamaları bütün dönem boyunca limit değerin altında kalmıştır.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

3.2 Çan İstasyonu

Tablo 3. Çan istasyonunda 2019–2024 yaz dönemi kirletici ortalamaları

Parametre	Yıl	Haziran	Temmuz	Ağustos	Yaz ort.
PM_{10}	2019	45,80	40,20	38,00	**41,33**
	2020	45,90	35,32	33,94	**38,39**
	2021	53,70	41,00	44,80	**46,50**
	2022	39,04	35,15	40,11	**38,10**
	2023	39,64	48,94	52,57	**47,05**
	2024	48,70	37,60	42,60	**42,97**
SO_2	2019	14,60	11,50	11,70	**12,60**
	2020	12,46	5,83	7,95	**8,75**
	2021	19,40	15,00	6,00	**13,47**
	2022	15,84	12,26	12,67	**13,59**
	2023	7,01	11,33	17,63	**11,99**
	2024	13,20	3,60	5,70	**7,50**
NO_2	2019	3,70	4,70	4,10	**4,17**
	2020	3,71	1,82	2,11	**2,55**
	2021	19,60	15,70	19,30	**18,20**
	2022	15,58	15,05	17,60	**16,08**
	2023	10,02	12,03	14,16	**12,07**
	2024	15,40	11,20	14,60	**13,73**
NO_x	2020	7,83	3,97	4,54	**5,45**
	2021	31,00	19,30	25,10	**25,13**
	2022	19,53	18,39	22,67	**20,20**
	2023	117,24	117,84	80,54	**105,21**

PM_{10} için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 42,39 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 54,21 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 40 µg/m³ olan limit değerin üzerine çıkmıştır. Yıllık yaz ortalaması bakımından limit değeri aşan yıllar 2019: 41,33 µg/m³; 2021: 46,50 µg/m³; 2023: 47,05 µg/m³; 2024: 42,97 µg/m³ olarak görülmektedir. SO_2 için 2019–2024 toplam yaz dönemi ortalaması 11,32 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 25,63 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 20 µg/m³ ile limit değeri aşmamıştır. Mevcut yılların hiçbirinde 20 µg/m³ limit değerinin aşılmadığı görülmektedir. NO_2 için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 11,13 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 17,85 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 40 µg/m³ olan limit değer ile karşılaştırıldığında limit değeri aşmamıştır. Mevcut yılların hiçbirinde 40 µg/m³ limit değeri aşılmamıştır. NO_x için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 39,00 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 48,09 µg/m³ olarak görülmektedir. Yaz dönemi ortalaması 30 µg/m³ ile limit değeri aşmıştır. Yıllık yaz ortalaması bakımından limit

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

değeri aşan yıllar 2023: 105,21 µg/m³ olarak hesaplandı. Çan istasyonu, yaz döneminde dahi PM_{10} aşımının tekrar ettiği ve NO_x için tek bir yılda çok güçlü sapmanın oluşabildiği istasyon olarak ayrışmaktadır.

3.3 Biga İstasyonu

Tablo 4. Biga istasyonunda 2019–2024 yaz dönemi kirletici ortalamaları

Parametre	Yıl	Haziran	Temmuz	Ağustos	Yaz ort.
PM_{10}	2019	41,60	20,40	9,80	**23,93**
	2020	17,56	14,23	13,49	**15,09**
	2021	25,90	28,90	29,80	**28,20**
	2022	21,13	21,29	25,85	**22,76**
	2023	24,55	30,49	31,72	**28,92**
	2024	29,50	24,50	25,30	**26,43**
SO_2	2019	20,80	21,30	19,60	**20,57**
	2020	6,94	5,20	5,90	**6,01**
	2021	11,00	7,90	6,60	**8,50**
	2022	9,30	11,45	11,48	**10,74**
	2023	6,91	8,36	7,86	**7,71**
	2024	13,30	8,80	Ölçüm yok	**11,05**
NO_2	2019	4,20	4,80	3,90	**4,30**
	2020	2,61	3,26	3,98	**3,28**
	2021	7,24	7,90	9,70	**8,28**
	2022	3,70	3,62	4,41	**3,91**
	2023	10,08	12,52	11,51	**11,37**
NO_x	2020	7,83	6,04	5,55	**6,47**
	2021	13,50	17,20	19,10	**16,60**
	2022	14,98	15,37	17,93	**16,09**
	2023	59,42	60,80	52,65	**57,62**

PM_{10} için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 24,22 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 24,68 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 40 µg/m³ olan limit değeri aşmamıştır. Mevcut yılların hiçbirinde 40 µg/m³ limit değerinin üzerine çıkılmamıştır. SO_2 için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 10,75 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 13,20 µg/m³ olarak saptanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 20 µg/m³ ile limit değer altında kalmıştır. Yıllık yaz ortalaması bakımından limit değeri aşan yıllar 2019: 20,57 µg/m³ olarak hesaplandı. NO_2 için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 6,23 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 10,92 µg/m³ olarak hesaplanmıştır.. Yaz dönemi ortalaması 40 µg/m³ olan limit değerin altında kalmıştır. Mevcut

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

yılların hiçbirinde 40 µg/m³ referans değeri aşılmamıştır. NO_x için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 24,20 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 26,80 µg/m³ Olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 30 µg/m³ olan limit değerin altında kalmıştır. Yıllık yaz ortalaması bakımından limit değeri aşan yıllar 2023: 57,62 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Eksik yaz ayı bulunan yıllar şunlardır: SO2: 2024 (Ağustos). Bu yıllarda yaz ortalaması yalnızca mevcut aylar üzerinden hesaplanmış olup ölçüm yapılmayan dönemler belirtilmiştir. Biga istasyonunda yaz dönemi genel görünümü çoğu kirletici için limit değerlerin altında kalmakla birlikte, 2019 yazındaki SO_2 ve 2023 yazındaki NO_x sonuçları istasyonun tamamen risksiz olmadığını göstermektedir.

3.4 Lapseki İstasyonu

Tablo 5. Lapseki istasyonunda 2019–2024 yaz dönemi kirletici ortalamaları

Parametre	Yıl	Haziran	Temmuz	Ağustos	Yaz ort.
SO_2	2019	5,30	7,50	11,20	**8,00**
	2020	4,04	4,05	4,76	**4,28**
	2021	5,30	4,60	6,80	**5,57**
	2022	3,68	4,78	4,18	**4,21**
	2024	4,60	3,90	4,90	**4,47**
NO_2	2019	5,00	3,60	2,40	**3,67**
	2020	4,17	4,59	Ölçüm yok	**4,38**
	2021	5,80	4,10	4,30	**4,73**
	2022	10,94	9,22	10,47	**10,21**
	2023	12,31	12,53	12,87	**12,57**
	2024	5,70	5,20	5,80	**5,57**
NO_x	2020	7,33	11,00	Ölçüm yok	**9,16**
	2021	11,90	9,80	10,00	**10,57**
	2022	28,24	81,74	47,12	**52,37**
	2023	9,16	6,37	7,55	**7,69**

SO_2 için 2019–2024 toplam yaz ortalaması 5,31 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması 9,18 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Yaz dönemi ortalaması 20 µg/m³ ile limit değeri aşmamıştır. Mevcut yılların hiçbirinde 20 µg/m³ olan limit değerin üzerine çıkılmamıştır. NO_2 için 2019–2024 toplam yaz ortalamasının 7,00 µg/m³, yaz dışı dönem ortalamasının 8,64 µg/m³ olduğu görülmektedir. Yaz dönemi ortalaması 40 µg/m³ ile limit değeri aşmamıştır. Mevcut yılların hiçbirinde 40 µg/m³ olan limit değer aşılmamıştır. NO_x için 2019–2024 toplam yaz ortalamasının 20,93 µg/m³, yaz dışı dönem ortalamasının ise 27,89 µg/m³ seviyesinde olduğu görülmektedir. Yaz dönemi ortalaması 30 µg/m³ ile limit değeri aşmamıştır. Yıllık yaz ortalaması bakımından limit değeri aşan tek dönem 52,37 µg/m³ ile 2022 yılı olmuştur. NO_2 için 2020 Ağustos, Nox için ise 2020 Ağustos dönemlerinde ölçüm yapılmamıştır. Bu yıllarda

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

yaz ortalaması yalnızca mevcut aylar üzerinden hesaplanmıştır. Lapseki istasyonunda düzenli bir yaz dönemi limit aşımı gözlenmemiş olsa da 2022 yazında NO_x ortalaması limit değeri aşmıştır.

3.5 Yaz Dönemi ve Yaz Dışı Dönem Karşılaştırması

İstasyon bazlı yaz ortalamaları, aynı istasyonların yaz dışı ay ortalamalarıyla birlikte değerlendirildiğinde mevsimsel ayrışma daha görünür hale gelmektedir. Bu karşılaştırma, hangi kirleticinin yaz aylarında göreli olarak baskın hale geldiğini ve hangi parametrelerin tüm yıl boyunca yapısal karakter taşıdığını ortaya koymaktadır. Tablo 6'da Çanakkale hava kalite izleme istasyonlarında ölçülen kirletici konsantrasyonlarının yaz ve yaz dışı yıllık ortalamaları verilmiştir.

Tablo 6. Kirletici konsantrasyonlarının yaz ve yaz dışı yıllık ortalamaları

İstasyon	Parametre	Yaz ort.	Yaz dışı ort.	Referans
Merkez	PM_{10}	**39,13**	**37,99**	40 µg/m³
Merkez	SO_2	**6,31**	**7,96**	20 µg/m³
Merkez	NO_2	**15,43**	**18,73**	40 µg/m³
Merkez	NO_x	**31,89**	**45,53**	30 µg/m³
Çan	PM_{10}	**42,39**	**54,21**	40 µg/m³
Çan	SO_2	**11,32**	**25,63**	20 µg/m³
Çan	NO_2	**11,13**	**17,85**	40 µg/m³
Çan	NO_x	**39,00**	**48,09**	30 µg/m³
Biga	PM_{10}	**24,22**	**24,68**	40 µg/m³
Biga	SO_2	**10,75**	**13,20**	20 µg/m³
Biga	NO_2	**6,23**	**10,92**	40 µg/m³
Biga	NO_x	**24,20**	**26,80**	30 µg/m³
Lapseki	SO_2	**5,31**	**9,18**	20 µg/m³
Lapseki	NO_2	**7,00**	**8,64**	40 µg/m³
Lapseki	NO_x	**20,93**	**27,89**	30 µg/m³

Yaz ve yaz dışı dönem farklarının her istasyonda aynı yönde gerçekleşmemesi, kirletici yükünün tek bir mevsimsel mekanizma ile açıklanamayacağını göstermektedir. Çan ve Merkez istasyonlarında PM_{10} ile NO_x için yaz aylarında dahi limit değerlere yaklaşan ya da limiti aşan ortalamalar bulunması yol tozu yeniden süspansiyonu, kentsel hareketlilik, yerel yanma süreçleri ve meteorolojik durgunluk gibi etkenlerin birlikte çalıştığını göstermektedir. Buna karşılık Lapseki'de bazı kirleticilerde yaz ortalaması ile yaz dışı ortalaması arasındaki farkın daha düşük düzeyde olduğu görülmektedir.

Bir istasyonda çok yıllı yaz ortalaması limit değerin altında kalmış olsa da, tekil yıllarda oluşan yüksek değerlerin erken uyarı mantığıyla değerlendirilmesi gerekir. Bunun yanında limit değerleri aşmayan ancak limit değere yaklaşan seriler de ilerleyen yıllarda kaynak yoğunluğu

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

veya meteorolojik koşullar değiştiğinde limit değerleri aşma potansiyeli taşımaktadır. Yaz dönemi hava kalitesinin yönetimi bu yüzden yalnızca mevcut aşım yıllarına değil, limit değere yaklaşan yaz ortalamalarına da odaklanmalıdır.

4. Tartışma ve Sonuç

Yaz dönemi bulguları, Çanakkale içinde homojen olmayan bir kirletici coğrafyasına işaret etmektedir. Çan istasyonunda PM_{10} için 2019, 2021, 2023 ve 2024 yaz ortalamalarının 40 µg/m³ limit değerini aşması yaz mevsiminde dahi partikül kaynaklı kirletici yoğunluğunun sürdüğünü göstermektedir. Bu durum, yalnızca kış ısınmasına dayalı bir kirlilik rejimiyle açıklanamamakla birlikte, yerel yanma kaynakları, yüzey tozu, sanayi kaynakları ve meteorolojik durgunluk koşullarının birlikte etkili olması olasıdır. Çan istasyonunun yaz döneminde de limit değer aşımı üretmesi bu çok kaynaklı yapıyla uyumludur.

Merkez istasyonunda PM_{10} açısından üç ayrı yılda limit aşımı oluşmasına karşın çok yıllı yaz ortalamasının 40 µg/m³ eşiğinin hemen altında kalması, kentsel merkezlerde yaz kirliliğinin sınırda bir yapı sergilediğini göstermektedir. Aynı istasyonda NO_x için 2020, 2021 ve 2023 yaz ortalamalarının 30 µg/m³ referans değerini aşması ise merkez istasyonunun özellikle yanma ve trafik etkisini taşıdığını göstermektedir. NO_2'nin ise bütün yaz dönemlerinde 40 µg/m³ seviyesinin altında kaldığı görülmektedir.

Biga ve Lapseki istasyonları, genel olarak daha sınırlı yaz dönemi ortalamaları sunmakla birlikte tekli yıllarda belirgin aşımların oluşabildiğini göstermektedir. Biga'da 2019 yazında SO_2 ortalamasının 20 µg/m³ limitini az farkla aşması ve 2023 yazında NO_x'in 57,62 µg/m³ olarak hesaplanması, düşük veya orta düzeyli çok yıllı ortalamanın her zaman riskin yokluğu anlamına gelmediğini ortaya koymaktadır. Benzer biçimde Lapseki'de 2022 yazında NO_x ortalamasının 52,37 µg/m³ olması, düzenli aşım gözlenmeyen istasyonlarda bile dönemsel kirletici yoğunluğunu ortaya çıkabileceğini göstermektedir. Bu tür tekli aşımlar istasyon çevresindeki kısa süreli faaliyet yoğunlaşmaları, ulaşım baskısı ya da meteoroloji rejimleriyle bağlantılı olabilir.

Yaz dönemi ve yaz dışı dönem karşılaştırması, istasyonların sadece limit aşımlarına göre değil, dönemler arası bileşik düzene göre de ayrıştığını göstermektedir. Örneğin Çan istasyonunda PM_{10} yaz ortalaması 42,39 µg/m³, yaz dışı dönem ortalaması ise 54,21 µg/m³ olarak hesaplanmıştır. Bu durum yazın da sorun sürdüğünü fakat yılın geri kalanında kirlilik yoğunluğunun daha da arttığını ortaya koymaktadır. Merkez istasyonunda ise PM_{10} yaz ortalaması ile yaz dışı ortalaması birbirine çok yakın olduğu saptanmıştır. Bu tür düzenler kentsel alanlarda yaz kirliliğinin sıklıkla yalnızca kış rejiminin zayıf bir gölgesi olmadığını, bazı kirleticiler için bağımsız bir mevsimsel profil üretebildiğini göstermektedir.

Çan istasyonunda PM_{10} için tekrar eden yaz dönemi aşımı bulunması, yaz aylarının yalnızca kış dönemi sonrasındaki düşük risk evresi olarak kabul edilmemesi gerektiğine işaret etmektedir. Bu nedenle yaz sezonu için özellikle toz kontrolü, açık alan kaynaklarının yönetimi, sanayi ve yakma süreçlerinin dönemsel takibi ile trafik-akış yoğunluğunun istasyon çevresindeki etkisini izleyen yerel önlemler geliştirilmelidir. Merkez istasyonunda NO_x için

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

gözlenen yaz dönemi yükselişleri de, kentsel merkezlerde yaz döneminde de trafik ve yanma kökenli baskının sürdüğünü göstermektedir.

İzleme bakımından en önemli gereklilik, bazı kirleticiler için görülen ölçüm yapılmayan ay sayısının azaltılması ve veri sürekliliğinin güçlendirilmesidir. Lapseki ve Merkez örneklerinde görüldüğü gibi tek bir yaz ayı eksikliği bile yıllık yaz ortalamasının iki aylık veri üzerinden hesaplanmasına yol açmaktadır. Değerlendirmelerin daha sağlıklı yapılabilmesi için aylık veri sürekliliğinin artırılması gerekmektedir.

Limit değer yaklaşımı, yaz dönemi hava kalitesi yorumunda göreli ifadeler yerine sayısal eşikler üzerinden karar vermeyi mümkün kılmaktadır. Bu çalışmada PM_{10} için 40 µg/m³, NO_2 için 40 µg/m³, NO_x için 30 µg/m³ ve SO_2 için 20 µg/m³ yıllık limit değerler esas alınmıştır. Bu çerçevede Çan istasyonunda 2019, 2021, 2023 ve 2024 yaz dönemi PM_{10} ortalamalarının sırasıyla 41,33, 46,50, 47,05 ve 42,97 µg/m³ olarak hesaplanması, aynı istasyonda dört ayrı yılda 40 µg/m³ limit değerin aşıldığını açık biçimde göstermektedir. Merkez istasyonunda ise PM_{10} için 2019, 2020 ve 2022 yıllarında; NO_x için 2020, 2021 ve 2023 yıllarında limit değerin aşıldığı saptanmıştır.

Biga ve Lapseki istasyonlarında çok yıllı görünümde sorun düzeyi düşük olsa da tekil yıllar ihmal edilemeyecek bir risk taşımaktadır. Biga istasyonunda 2019 yazı SO_2 ortalamasının 20,57 µg/m³ olması, 20 µg/m³ limit değerinin aşıldığını göstermektedir. Aynı istasyonda 2023 yazı NO_x ortalaması 57,62 µg/m³ olarak hesaplanmış ve 30 µg/m³ limit değerin belirgin biçimde üzerine çıkmıştır. Lapseki istasyonunda ise 2022 yazı NO_x ortalaması 52,37 µg/m³ olup aynı limit değerin aşılmasıyla sonuçlanmıştır. Buna karşılık NO_2 için bütün istasyonlarda yaz dönemi ortalamaları 40 µg/m³ eşiğinin altında kalmıştır; dolayısıyla yaz döneminde kritik ayrışmanın daha çok PM_{10} ve NO_x üzerinden şekillendiği anlaşılmaktadır.

Yaz ve yaz dışı dönem karşılaştırması, limit değerin sadece aşılıp aşılmaması açısından değil, eşiklere yakınsama bakımından da önemlidir. Örneğin Merkez istasyonunda PM_{10} yaz ortalaması 39,13 µg/m³ olup 40 µg/m³ eşik değerinin hemen altında kalmıştır; yaz dışı dönem ortalaması ise 37,99 µg/m³'tür. Çan istasyonunda yaz ortalaması eşik değeri aşarken yaz dışı dönemde PM_{10} ortalamasının 54,21 µg/m³ olması, sorunun yılın geri kalan bölümünde de sürdüğünü göstermektedir. Bu nedenle eşik altındaki değerler dahi, eşik değere çok yaklaşmışsa izleme ve önlem planlaması açısından dikkatle değerlendirilmelidir.

İstasyonlar birlikte değerlendirildiğinde, yaz dönemi açısından birincil risk profili Çan istasyonunda PM10, ikincil risk profili ise Merkez istasyonunda PM_{10} ile NO_x üzerinden şekillenmektedir. Çan istasyonunda tekrarlayan PM_{10} aşımı, bu istasyonun yalnızca tek bir olağandışı yıl nedeniyle değil, çok yıllı örüntü nedeniyle dikkat gerektirdiğini göstermektedir. Merkez istasyonunda ise eşik aşımı üreten yılların süreklilik göstermesi, kentsel merkez karakterinin yaz aylarında dahi belirli kirleticiler bakımından baskın kalabildiğine işaret etmektedir.

Tüm bu veriler Çanakkale ilinin yaz dönemi hava kalitesi açısından tek tip bir kirlilik rejimine sahip olmadığını ortaya koymaktadır. Aynı ilin sınırları içinde bulunan dört istasyon, farklı kirleticiler ve farklı limit aşım düzenleri üretmektedir. Bu durum, gelecekteki çalışmalar için

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

meteoroloji, trafik yoğunluğu, yakıt kullanımı, sanayi etkinliği ve arazi kullanımı gibi açıklayıcı değişkenlerle desteklenen daha ayrıntılı istasyonların kurulması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, Çan istasyonu yaz dönemi açısından en sorunlu istasyon olarak öne çıkmış; PM_{10} için tekrarlayan limit aşımı ve NO_x için 2023 yılında çok belirgin sapma göstermiştir. Merkez istasyonu özellikle PM_{10} ve NO_x için dikkat gerektirmektedir. Biga istasyonu çoğu parametrede sınırlı fakat tekil yıllarda aşım üretebilen, Lapseki istasyonu ise genel olarak daha düşük yaz yüküne sahip ancak 2022 NO_x sonucu nedeniyle göz ardı edilmemesi gereken bir profil sunmuştur.

Kaynakça

Brook, R. D., Rajagopalan, S., Pope, C. A., Brook, J. R., Bhatnagar, A., Diez-Roux, A. V., … Kaufman, J. D. (2010). Particulate matter air pollution and cardiovascular disease. Circulation, 121(21), 2331–2378.

Carslaw, D. C., & Beevers, S. D. (2005). Estimations of road vehicle primary NO_2 exhaust emission fractions. Atmospheric Environment, 39(1), 167–177.

Çevre ve Orman Bakanlığı. (2008). Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği.

Erdem, E., & Pekey, H. (2013). The distribution of air pollutants in Marmara Region. Environmental Monitoring and Assessment, 185, 8267–8280.

European Environment Agency. (2024). Air quality in Europe 2024. Copenhagen: EEA.

Health Effects Institute. (2024). State of Global Air 2024. Boston, MA: HEI.

Finlayson-Pitts, B. J., & Pitts, J. N. (2000). Chemistry of the upper and lower atmosphere. Academic Press.

Jacob, D. J., & Winner, D. A. (2009). Effect of climate change on air quality. Atmospheric Environment, 43(1), 51–63.

Kampa, M., & Castanas, E. (2008). Human health effects of air pollution. Environmental Pollution, 151(2), 362–367.

Karagulian, F., Belis, C. A., Dora, C. F. C., Prüss-Ustün, A. M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., & Amann, M. (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter. Atmospheric Environment, 120, 475–483.

Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: A review. Frontiers in Public Health, 8, 14.

Monks, P. S., Granier, C., Fuzzi, S., Stohl, A., Williams, M. L., Akimoto, H., … Amann, M. (2009). Atmospheric composition change – global and regional air quality. Atmospheric Environment, 43(33), 5268–5350.

Orellano, P., Reynoso, J., Quaranta, N., Bardach, A., & Ciapponi, A. (2021). Short-term exposure to sulphur dioxide (SO_2) and all-cause and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. Environment International, 150, 106434.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Pekey, H., Karakaş, D., & Ayberk, S. (2010). Spatial distribution of air pollutants in an industrial city of Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 160, 509–520.

Pope, C. A., & Dockery, D. W. (2006). Health effects of fine particulate air pollution: Lines that connect. Journal of the Air & Waste Management Association, 56(6), 709–742.

Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). Atmospheric chemistry and physics (3rd ed.). Wiley.

Sharma, M., Jain, S., & Sharma, A. (2014). Seasonal variation of air pollutants and meteorological effects. Environmental Science and Pollution Research, 21, 504–517.

Tai, A. P. K., Mickley, L. J., & Jacob, D. J. (2010). Correlations between fine particulate matter (PM2.5) and meteorological variables in the United States. Atmospheric Environment, 44(32), 3976–3984.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. (2025). 2024 Yıllık Hava Kalitesi Bülteni.

Vestreng, V., Ntziachristos, L., Semb, A., Reis, S., Isaksen, I. S. A., & Tarrasón, L. (2007). Evolution of SO_2 emissions in Europe from 1980 to 2004. Atmospheric Chemistry and Physics, 7, 3663–3681.

Viana, M., Kuhlbusch, T. A. J., Querol, X., Alastuey, A., Harrison, R. M., Hopke, P. K., … Kelly, F. J. (2008). Source apportionment of particulate matter in Europe: A review of methods and results. Journal of Aerosol Science, 39(10), 827–849.

WHO Regional Office for Europe. (2013). Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project. Copenhagen: WHO Europe.

World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines. Geneva: WHO.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

EARTHQUAKE-RESILIENT HOUSING DESIGN STRATEGIES FOR TABRIZ URBAN FABRIC

Prof. Dr. Reza Jafari, Soraya Mahmoudi, Ali Karimi, Fatemeh Hosseini
Faculty of Architecture and Urban Design, University of Tabriz, Iran

ABSTRACT

This study examines earthquake-resilient housing design strategies for the urban fabric of Tabriz, a city shaped by dense morphology, mixed construction quality, and long-term seismic risk. The research focuses on how residential environments can be strengthened without disrupting neighborhood identity, spatial continuity, or everyday social life. By combining architectural analysis, urban form evaluation, and seismic design principles, the study identifies planning approaches that improve structural safety while respecting the historical and cultural character of the city.

The findings suggest that resilience in Tabriz cannot rely on structural reinforcement alone. It requires a broader design approach that includes finer grain street networks, open spaces that function as safe gathering areas, improved access routes for emergency response, and housing typologies that can adapt to phased upgrading. Special attention is given to traditional construction knowledge, infill strategies, and the relationship between private dwellings and shared courtyards, which remain important in many neighborhoods. The study also highlights the value of low-rise, flexible, and locally adaptable housing models that support both seismic performance and social cohesion.

Rather than replacing the existing urban texture, the proposed strategies aim to guide gradual transformation through context-sensitive interventions. This includes strengthening building envelopes, improving structural regularity, and integrating public safety spaces into neighborhood design. The research concludes that earthquake resilience in Tabriz should be understood as a balance between engineering performance, urban continuity, and cultural preservation. Such an approach can support safer housing development while maintaining the spatial memory and identity of the city.

Key word: earthquake resilience, housing design, urban fabric, Tabriz, seismic planning

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

TRADITIONAL WIND CATCHER SYSTEMS REVITALIZATION IN YAZD SUSTAINABLE NEIGHBORHOODS

Assoc. Prof. Dr. Hassan Tavakoli, Leila Bahrami, Mohammad Rezaei
Faculty of Architecture and Urban Planning, Yazd University, Iran

ABSTRACT

This paper explores the revitalization of traditional wind catcher systems in the sustainable neighborhoods of Yazd, where climatic adaptation and architectural heritage remain closely connected. Wind catchers represent one of the most distinctive passive cooling technologies in Iranian architecture, and their continued relevance offers important lessons for contemporary neighborhood design. The study examines how these systems can be reinterpreted in modern housing environments to improve thermal comfort, reduce energy demand, and reinforce local identity.

Through architectural reading, climatic analysis, and comparative evaluation of housing patterns, the research shows that wind catchers can contribute to a broader sustainable design framework when combined with appropriate spatial orientation, compact massing, shaded courtyards, and ventilation corridors. The study also emphasizes that the value of these elements is not only technical but cultural, since they express a long-standing environmental intelligence rooted in Yazd's urban history. In many cases, however, modern construction has weakened the relationship between building form and climate response.

The paper argues for a context-based revitalization model that protects the symbolic presence of wind catchers while adapting their function to present-day requirements. This includes hybrid systems that merge traditional airflow principles with contemporary materials and building services. The research concludes that wind catcher revitalization can support both energy efficiency and heritage continuity, especially in neighborhoods seeking sustainable renewal without losing their local character.

Key word: wind catcher, sustainable neighborhoods, passive cooling, Yazd, architectural heritage

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

NILE RIVERFRONT REGENERATION PROJECTS FOR CAIRO HISTORIC CORE DISTRICTS

Dr. Ahmed El-Sayed, Fatima Salem, Omar Khalil, Nadia Gamal
Faculty of Urban and Regional Planning, Cairo University, Egypt

ABSTRACT

This research investigates Nile riverfront regeneration projects as a strategic tool for the renewal of Cairo's historic core districts. The study addresses the growing need to reconnect the city with its river edge while protecting the layered urban heritage that defines central Cairo. Riverfront areas have long held ecological, social, and symbolic importance, yet in many sections they have become fragmented by infrastructure pressure, limited accessibility, and weak spatial continuity.

The paper argues that regeneration in this context should not be limited to beautification or commercial redevelopment. Instead, it should integrate heritage conservation, public space design, mobility improvement, and environmental recovery. Using spatial analysis and urban design review, the study identifies opportunities to create walkable riverfront corridors, strengthen visual access to the Nile, and establish public spaces that serve both residents and visitors. It also highlights the importance of restoring connections between the river and adjacent historic neighborhoods through carefully scaled interventions.

A key finding is that successful riverfront regeneration depends on balancing public openness with local identity. The paper emphasizes the need for design strategies that support inclusive use, climatic comfort, and long-term urban stewardship. It concludes that riverfront projects can play a central role in revitalizing Cairo's historic districts if they are guided by cultural sensitivity, ecological awareness, and strong planning coordination.

Key word: riverfront regeneration, historic districts, Cairo, public space, urban heritage

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

CLIMATE-ADAPTIVE ARCHITECTURE FOR ALEXANDRIA COASTAL FLOOD VULNERABILITY

Prof. Dr. Karim Abdelaziz, Sara Mahmoud, Tariq El-Badry
Faculty of Engineering, Alexandria University, Egypt

ABSTRACT

This study examines climate-adaptive architecture as a response to coastal flood vulnerability in Alexandria. As one of the Mediterranean's most exposed cities, Alexandria faces increasing pressure from sea-level rise, storm surge, and drainage limitations. The research focuses on how architectural and urban design can contribute to reducing flood risk while preserving the city's coastal identity and functional livability.

The study reviews planning and building strategies that improve resilience at both the neighborhood and building scales. These include elevated ground floors, flood-tolerant materials, permeable landscapes, protected circulation systems, and adaptable building envelopes. The research also emphasizes the role of public spaces and waterfront edges in absorbing water, channeling runoff, and reducing damage during extreme events. Rather than treating flooding only as an engineering problem, the paper frames it as a spatial and architectural issue requiring integrated design thinking.

The analysis suggests that adaptive architecture in Alexandria must respond to local climate conditions, urban density, and historic urban form. It also highlights the need for interventions that can be implemented gradually in existing districts rather than through large-scale replacement. The paper concludes that climate-adaptive architecture offers a practical and culturally sensitive pathway for strengthening Alexandria's coastal resilience while supporting the city's long-term urban continuity.

Key word: climate adaptation, coastal flooding, Alexandria, resilient architecture, urban design

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

PASARGADAE ARCHAEOLOGICAL SITE CONSERVATION THROUGH LANDSCAPE INTEGRATION

Assoc. Prof. Dr. Mina Azizi, Bahram Hosseini, Neda Rahmani
Faculty of Architecture, Shiraz University, Iran

ABSTRACT

This paper explores archaeological site conservation through landscape integration, using Pasargadae as a critical case. The study argues that the protection of archaeological heritage should extend beyond monument preservation to include the surrounding landscape that gives the site its historical meaning and spatial coherence. In Pasargadae, the relationship between ruins, open terrain, visual axes, and environmental setting is essential to understanding the site as a cultural whole.

The research examines how landscape-based conservation can support both physical protection and interpretive value. It considers vegetation control, visitor movement, visual framing, and buffer zones as part of a broader conservation strategy. The study also emphasizes that landscape integration can reduce visual disturbance, improve site legibility, and strengthen the educational experience of visitors. Rather than isolating the monuments, it proposes a conservation model that preserves the dialogue between archaeology and environment.

The paper concludes that Pasargadae requires a sensitive balance between access, protection, and contextual integrity. Landscape integration offers a way to maintain this balance by treating the site as a living historical landscape rather than a static collection of remains. This approach can serve as a model for other archaeological sites facing pressures from tourism, environmental change, and urban expansion.

Key word: archaeological conservation, landscape integration, Pasargadae, heritage management, site preservation

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

PERSIAN GARDEN PRINCIPLES APPLICATION IN TEHRAN PUBLIC PARK REVITALIZATION

Dr. Farhad Jalali, Zahra Mahmoudi
Faculty of Fine Arts, University of Tehran, Iran

ABSTRACT

This study examines the application of Persian garden principles in the revitalization of public parks in Tehran. Persian gardens have long represented an ideal of balance between nature, geometry, water, and enclosure, and their spatial logic remains highly relevant for contemporary urban open spaces. The research investigates how these principles can inform park redesign in a densely built metropolitan context.

The paper focuses on elements such as axial composition, shaded routes, water presence, planting structure, enclosure, and spatial sequencing. It argues that these features can enhance both the aesthetic and environmental quality of public parks while strengthening cultural continuity. In Tehran, where many parks suffer from fragmented layouts, insufficient identity, and weak climatic comfort, Persian garden concepts offer a valuable design framework. The study shows that such a framework can improve user experience by creating spaces that are both functional and symbolically meaningful.

The research concludes that Persian garden principles should not be applied as formal imitation but as an adaptive design language. When translated thoughtfully, they can contribute to cooler microclimates, clearer spatial organization, and stronger place attachment. This makes them especially useful for the revitalization of urban parks in Tehran, where public space must serve ecological, social, and cultural goals simultaneously.

Key word: Persian garden, public parks, Tehran, landscape revitalization, urban identity

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

POST-INDUSTRIAL URBAN REGENERATION IN SUMGAIT CHEMICAL PLANT DISTRICTS

Prof. Dr. Elnur Hasanov, Dr. Aysel Gurbanova, Farid Mammadov, Nigar Ibrahimova
Faculty of Architecture and Design, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Azerbaijan

ABSTRACT

This research examines post-industrial urban regeneration in the chemical plant districts of Sumgait, where large-scale industrial decline has left behind environmental, spatial, and social challenges. The study focuses on how former industrial land can be transformed into productive urban areas through adaptive reuse, landscape repair, and mixed-use development. It argues that regeneration should address not only physical deterioration but also the ecological legacy of industrial production.

The paper analyzes the spatial structure of abandoned plant zones and their relationship to surrounding residential areas, transport routes, and open land. It identifies opportunities for converting obsolete industrial fragments into new civic, cultural, and employment-oriented spaces. At the same time, the study stresses the importance of environmental remediation, especially in areas affected by pollution and soil degradation. Regeneration, in this sense, must combine planning, design, and ecological recovery.

The research concludes that Sumgait's industrial districts can become key sites for urban renewal if guided by long-term strategic planning. By reusing industrial structures where appropriate and introducing flexible public and economic programs, the city can transform an inherited burden into an urban resource. The study ultimately presents post-industrial regeneration as a pathway toward spatial repair, social reactivation, and sustainable urban identity.

Key word: post-industrial regeneration, Sumgait, chemical districts, adaptive reuse, urban redevelopment

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SEAFRONT PUBLIC SPACE DEVELOPMENT FOR BAKU CASPIAN BOULEVARD EXPANSION

Assoc. Prof. Dr. Leyla Abbasova, Kamran Nuriyev, Elvin Karimova
Faculty of Architecture and Urban Planning, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Azerbaijan

ABSTRACT

This study investigates seafront public space development within the expansion of Baku's Caspian Boulevard. The boulevard has become one of the city's most important public landscapes, linking recreation, tourism, and urban identity along the waterfront. As expansion continues, the challenge is to create public spaces that remain accessible, diverse, and responsive to both environmental and social needs.

The research examines the boulevard as a linear urban system shaped by movement, views, gathering spaces, and coastal climate conditions. It emphasizes the importance of designing public areas that support daily use rather than only ceremonial or tourist functions. Features such as shaded seating, pedestrian continuity, landscape variety, and visual openness are identified as essential components of successful seafront design. The study also notes that waterfront public space must mediate between urban intensity and the ecological sensitivity of the Caspian edge.

The paper concludes that Baku's seafront expansion should be understood as a long-term public realm project rather than a single architectural intervention. Its success depends on creating inclusive spaces that connect people to the water while reinforcing civic identity. The study presents the boulevard as an opportunity to strengthen Baku's urban image through people-centered coastal design.

Key word: seafront public space, Caspian Boulevard, Baku, waterfront design, urban landscape

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

CLIMATE-RESPONSIVE MASTER PLANNING FOR LENKORAN WETLAND ECOSYSTEMS

Dr. Sevinc Rahimova, Victor Huseynov, Maria Popescu
Faculty of Architecture and Planning, Azerbaijan University of Architecture and Construction, Azerbaijan

ABSTRACT

This paper explores climate-responsive master planning for the wetland ecosystems of Lenkoran, where environmental sensitivity and urban growth must be carefully balanced. The study addresses the need for planning approaches that respect ecological processes while allowing for sustainable development in surrounding settlements. Wetlands in this region play a vital role in biodiversity, water regulation, and landscape identity, making them a critical foundation for future planning.

The research argues that master planning should begin with ecological structure rather than built form. It examines how land use, circulation, settlement edges, and landscape buffers can be organized to reduce pressure on wetland areas. The paper also highlights the importance of seasonal water dynamics, habitat protection, and climate adaptation in shaping spatial decisions. Instead of imposing rigid urban patterns, the study proposes flexible planning strategies that can respond to environmental change over time.

The conclusion emphasizes that climate-responsive master planning offers a practical framework for protecting Lenkoran's wetlands while supporting responsible regional development. By aligning ecological conservation with settlement planning, the approach can help maintain landscape continuity, prevent degradation, and strengthen local resilience. The study presents wetlands not as vacant land but as active ecological systems that must guide spatial planning.

Key word: climate-responsive planning, wetlands, Lenkoran, ecological conservation, master planning

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

BIOCHEMICAL PATHWAYS OF ANTIOXIDANT SYNTHESIS IN DEAD SEA HALOPHYTE PLANTS UNDER SALINITY STRESS

Assoc. Prof. Dr. Khaled Darwish
Department of Plant Biochemistry, Dead Sea University, Jordan

Rania Abu-Ghazaleh
Faculty of Biological Sciences, University of Jordan, Jordan

Tariq Mahmoud
Department of Plant Biochemistry, Dead Sea University, Jordan

ABSTRACT

This study investigates the biochemical pathways governing antioxidant synthesis in Dead Sea halophyte species including *Zygophyllum dumosum*, *Anastatica hierochuntica*, and *Zygophyllum album* under extreme salinity stress conditions exceeding 340 mS/cm. The research focuses on the activation of phenylpropanoid biosynthesis pathways, specifically the upregulation of phenylalanine ammonia-lyase (PAL), cinnamate 4-hydroxylase (C4H), and 4-coumarate CoA ligase (4CL) enzymes that drive flavonoid and anthocyanin production. Quantitative enzyme assays revealed that intracellular proline accumulation reaches 42 mmol/kg fresh weight, functioning as both osmoprotectant and reactive oxygen species scavenger. High-performance liquid chromatography analysis demonstrated 2.8-fold increases in quercetin and kaempferol derivatives compared to control plants grown under normal irrigation. The ascorbate-glutathione cycle exhibits enhanced activity with ascorbate peroxidase activity increasing 3.4-fold, maintaining cellular redox homeostasis under ionic stress. Membrane lipid peroxidation measured through malondialdehyde content remains 63% lower than non-halophytic species, confirming membrane integrity preservation. Gene expression profiling through semi-quantitative RT-PCR confirms transcriptional activation of *P5CS* (Δ1-pyrroline-5-carboxylate synthetase) and *F3H* (flavanone 3-hydroxylase) under salinity conditions. The study identifies secosideride A and iridoid glycosides as novel antioxidant compounds unique to Dead Sea halophytes. These findings contribute fundamental understanding of plant stress adaptation mechanisms relevant to developing salt-tolerant crop varieties for arid region agriculture. The biochemical plasticity demonstrated by these species offers valuable insights for sustainable agriculture in Mediterranean coastal zones facing increasing soil salinization.

Keywords: antioxidant synthesis, halophyte plants, salinity stress, phenylpropanoid pathway, Dead Sea flora

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

CRISPR-CAS9 GENE EDITING FOR ENHANCED RICE BLAST RESISTANCE IN TROPICAL ASIAN VARIETIES

Dr. Wei Tan
Assoc. Prof. Dr. Lim Hui Min
Chen Wei Long
Siti Nurhaliza
Department of Plant Pathology, Institute of Plant Protection, Chinese Academy of Agricultural Sciences, China

ABSTRACT

This research applies CRISPR-Cas9 gene editing technology to develop rice blast resistance in tropical Asian *Oryza sativa* varieties susceptible to *Magnaporthe oryzae* infection. The study targets the *OsSWEET13* promoter region, a susceptibility gene exploited by *AvrPita* effector proteins during pathogen invasion. Guide RNA sequences were designed to introduce 18-base pair deletions creating novel *Pi-ta* resistance alleles without affecting plant growth characteristics. Transgenic rice lines were regenerated through Agrobacterium-mediated transformation and confirmed through Sanger sequencing. Phenotypic evaluation under greenhouse conditions demonstrated 87% reduction in blast lesion formation compared to wild-type controls. Field trials across three growing seasons in Malaysia and Southern China confirmed stable resistance inheritance across F2-F4 generations. Molecular characterization through qRT-PCR analysis revealed no off-target mutations within 10 kilobase regions flanking 编辑sites, establishing transformation specificity. The edited lines maintained grain yield parameters comparable to conventional blast-resistant cultivars, addressing the typical yield penalty associated with resistance gene deployment. Comparative analysis with traditional breeding demonstrates 60% reduction in development timeline from 10 years to 4 years. The research establishes practical frameworks for deploying gene editing in tropical rice varieties facing climate-driven pathogen evolution. This approach offers sustainable alternatives to chemical fungicide applications currently responsible for 15% production costs in Southeast Asian rice systems. The findings support food security strategies for 2.5 billion people depending on rice as primary staple crop.

Keywords: CRISPR-Cas9, rice blast resistance, gene editing, Magnaporthe oryzae, tropical agriculture

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SYNTHETIC BIOLOGY APPROACHES TO ENGINEER MICROBIAL BIOSENSORS FOR PATHOGEN DETECTION

Prof. Dr. Rajesh Kumar
Department of Synthetic Biology, Indian Institute of Technology Bombay, India

Dr. Priya Sharma
Institute of Microbial Technology, Chandigarh, India

Muhammad Faisal
Department of Biotechnology, Indian Institute of Technology Bombay, India

ABSTRACT

This study develops synthetic biology platforms for engineering microbial biosensors capable of rapid pathogen detection in clinical and environmental samples. The research designs genetically encoded reporter circuits incorporating *lacZ* promoter fusions responsive to pathogen-specific quorum sensing molecules including *N*-acyl homoserine lactones from *Pseudomonas aeruginosa* and *staphylococcal* autoinducing peptides. Synthetic promoter libraries were constructed using modular assembly methods enabling orthogonal regulation of beta-galactidase expression. The engineered *Escherichia coli* Nissle 1917 strain exhibits detection limits of 10 colony-forming units per milliliter within 90 minutes through colorimetric substrate conversion. CRISPR-Cas12a collateral cleavage activity was integrated to amplify signal output achieving single-molecule sensitivity through fluorescence readouts. The system incorporates biocontainment mechanisms through auxotrophic dependencies ensuring environmental safety upon deployment. Field validation against standard culture methods demonstrated 94% concordance rates for *Salmonella* detection in water samples. Metabolic engineering optimizes reporter protein stability through codon optimization and protease resistance mutations extending signal duration. The platform enables multiplexed detection through spectral separation of fluorescent proteins identifying *Vibrio cholerae*, *Shigella flexneri*, and *Listeria monocytogenes* simultaneously. Applications extend to antimicrobial resistance gene detection through promoter circuits responsive to *bla* and *mecA* transcriptional activation. The research establishes modular biosensor frameworks adaptable for emerging pathogens through rapid promoter swapping. This technology supports public health surveillance systems requiring rapid diagnostic capabilities without sophisticated laboratory infrastructure.

Keywords: synthetic biology, microbial biosensors, pathogen detection, CRISPR-Cas12a, quorum sensing

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

METABOLIC ENGINEERING OF OLIVE OIL BIOSYNTHESIS PATHWAYS IN TUNISIAN ARID LAND CULTIVARS

Assoc. Prof. Dr. Anis Ben Salem
Faculty of Sciences of Bizerte, Carthage University, Tunisia

Lamia Trabelsi
National Institute of Agricultural Research of Tunisia, Tunisia

Dr. Hatem Jrad
Faculty of Sciences of Bizerte, Carthage University, Tunisia

ABSTRACT

This research investigates metabolic engineering strategies to enhance olive oil biosynthesis in Tunisian arid land cultivars including *Chemlali, Chetoui*, and *Zalmati* facing water scarcity and heat stress. The study focuses on manipulating triacylglycerol assembly pathways through overexpression of *WRI1* (WRINKLED1) transcription factor regulating fatty acid biosynthesis and *DGAT1* (acyl-CoA:diacylglycerol acyltransferase) controlling final triacylglycerol formation. Transient expression through *Agrobacterium tumefaciens* infiltration demonstrates 2.3-fold increase in oleic acid content reaching 78% total fatty acids versus 72% in wild-type controls. RNA interference silencing of *FAD2* (fatty acid desaturase 2) reduces linoleic acid accumulation enhancing oil stability index by 34%. The engineered lines maintain oil quality parameters meeting Tunisian National Standard NST 2014 for extra virgin olive oil including peroxide value below 15 meq O2/kg and free acidity under 0.3%. Comparative lipidomics through gas chromatography-mass spectrometry reveals altered glycerolipid profiling with increased C18:1 content and reduced polyunsaturated fatty acids conferring oxidative stability. Field trials across 150 hectares in southern Tunisia maintain yield under 30% reduced irrigation demonstrating drought tolerance. The research establishes metabolic engineering frameworks for improving oil quality under Mediterranean climate conditions facing increasing aridity. This approach supports Tunisian olive oil industry producing 180,000 tonnes annually while enhancing climate resilience for smallholder farmers managing 1.2 million hectares of olive groves.

Keywords: metabolic engineering, olive oil biosynthesis, Tunisian cultivars, fatty acid profile, arid land agriculture

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

PHYTOREMEDIATION POTENTIAL OF TUNISIAN ENDOPHYTES FOR HEAVY METAL CONTAMINATED SOILS

Prof. Dr. Nadia Kefi
Department of Microbiology, Faculty of Sciences of Tunis, University of Tunis El Manar, Tunisia

Mohamed Gharsallah
National Institute of Agricultural Research of Tunisia, Tunisia

Imen Hmidi
Department of Microbiology, Faculty of Sciences of Tunis, University of Tunis El Manar, Tunisia

ABSTRACT

This study evaluates endophytic microorganisms isolated from Tunisian metal-tolerant plants for their phytoremediation potential in heavy metal contaminated agricultural soils. Endophytic bacteria including *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, and *Enterobacter cloacae* strains were isolated from *Artemisia herba-alba* and *Atriplex halimus* growing in mining-affected regions of Jebel Ressas and Moulouya. The microorganisms demonstrate exceptional metal tolerance through biosorption mechanisms with lead uptake capacity reaching 187 mg/g dry biomass and cadmium accumulation of 94 mg/g. 16S rRNA sequencing confirms phylogenetic diversity while whole genome sequencing identifies metal resistance operons including *czcABC* for cadmium-zinc-cobalt efflux and *ars* operon for arsenic detoxification. Plant growth-promoting traits include indole-3-acetic acid production (18 μg/mL), siderophore synthesis (42% coverage), and phosphate solubilization enhancing nutrient availability in contaminated substrates. Pot experiments with tomato plants inoculated with endophyte consortia demonstrate 67% increase in biomass alongside 43% reduction in metal translocation to edible tissues. The endophytes enhance rhizosphere pH through organic acid excretion facilitating metal immobilization. Extracellular polymeric substances production reaches 2.8 mg/g providing cation exchange capacity for metal sequestration. Field trials across 80 hectares of contaminated soils in northern Tunisia confirm 38% reduction in soil extractable lead over 18 months. This biological remediation approach offers sustainable alternatives to chemical amendment methods while restoring agricultural productivity for 15,000 smallholder farmers affected by 40 years of mining activities.

Keywords: phytoremediation, Tunisian endophytes, heavy metal contamination, metal tolerance, soil remediation

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

MICROBIAL ENZYME DISCOVERY FOR CELLULOSIC BIOMASS HYDROLYSIS IN KAZAKH STEPPE ECOSYSTEMS

Dr. Aigerim Tolegenova
Faculty of Biology and Biotechnology, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

Yerlan Bekbolatov
Department of Microbiology, Institute of Microbiology and Biotechnology, Kazakhstan

Assoc. Prof. Dr. Dina Sarsenbayeva
Faculty of Chemical Engineering and Biotechnology, Satbayev University, Kazakhstan

ABSTRACT

This research discovers novel microbial enzymes from Kazakh steppe soil ecosystems for efficient cellulosic biomass hydrolysis supporting biorefinery development. Metagenomic screening of 1,200 soil samples from arid steppe regions identifies cellulase-producing microorganisms including *Chaetomium thermophilum*, *Thermomyces lanuginosus*, and novel *Streptomyces* species adapted to extreme temperature fluctuations. The isolates exhibit thermostable cellulase activity with optimal pH 5.8 and temperature 65°C maintaining 82% residual activity after 10 hours incubation. Cellulase enzyme cocktails demonstrate synergistic hydrolysis of wheat straw achieving 68% glucose yield from 5% substrate loading within 48 hours. Endoglucanase activity reaches 127 U/mL while cellobiohydrolase and beta-glucosidase activities measure 43 U/mL and 38 U/mL respectively. The enzymes display broad substrate specificity hydrolyzing switchgrass, corn stover, and sorghum biomass with comparable efficiency. Kinetic characterization determines Km values of 3.2 mg/mL for carboxymethyl cellulose and Vmax of 189 μmol/min/mg enzyme protein. Mass spectrometry identifies novel glycosyl hydrolase family 7 cellobiohydrolase isozymes with unique carbohydrate-binding modules enhancing substrate affinity. The microorganisms produce hemicellulases alongside cellulases enabling simultaneous saccharification of lignocellulosic feedstocks. Economic analysis confirms enzyme production costs of $0.42/kg through solid-state fermentation using agricultural residues. This discovery supports Kazakhstan's bioeconomy development targeting 5% renewable chemicals market share by 2030 while utilizing 12 million hectares of steppe agricultural land for cellulosic feedstock production.

Keywords: microbial enzymes, cellulosic biomass, Kazakh steppe, cellulase discovery, biomass hydrolysis

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

HIGH-POWER EFFICIENT DC-DC CONVERTERS FOR NEXT-GENERATION SATELLITE COMMUNICATION MODULES

Prof. Dr. Souleymane Diallo, Dr. Mariam El Hacen, Aicha Mint Mohamed
Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronic Engineering, University of Nouakchott, Mauritania

ABSTRACT

This study examines the design and performance of high-power efficient DC-DC converters developed for next-generation satellite communication modules. As satellite systems continue to require greater power density, improved thermal stability, and reduced energy loss, the role of advanced converter topologies has become increasingly important in ensuring stable operation under demanding orbital conditions. The research focuses on converter structures that support high efficiency while maintaining compact size, electromagnetic compatibility, and reliability in harsh environments.

The investigation compares several converter configurations and evaluates their behavior in terms of switching loss, voltage regulation, load response, and thermal performance. Special attention is given to the suitability of these converters for satellite payloads, communication transceivers, and auxiliary onboard electronic systems. The analysis also considers the influence of wide input voltage variation, radiation exposure, and long-term operational stability, which are critical challenges in space applications.

Findings indicate that modern converter architectures can significantly improve power conversion efficiency while reducing heat generation and enhancing system durability. The study further shows that optimized control methods and advanced semiconductor devices contribute to better transient response and more consistent output performance. From an engineering perspective, the results suggest that carefully selected DC-DC converter designs can support the growing power demands of satellite communication platforms without compromising reliability.

Overall, the research provides a technical foundation for the development of energy-efficient power electronics in future satellite modules and highlights the importance of converter optimization in advanced aerospace communication systems.

Key word: DC-DC converters, satellite communication, power electronics, efficiency, aerospace systems

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

FAULT-TOLERANT CONTROL ARCHITECTURES FOR INDUSTRIAL ROBOTIC ACTUATORS USING WIRELESS SENSOR FEEDBACK

Assoc. Prof. Dr. El Mokhtar Ould Ahmed, Dr. Fatimetou Ould Sidi, Mohamed Salem Ould Brahim
Faculty of Engineering, Department of Mechatronics and Automation, University of Mauritania, Mauritania

ABSTRACT

This paper investigates fault-tolerant control architectures for industrial robotic actuators supported by wireless sensor feedback. In modern automated production environments, robotic systems must operate with high precision, rapid response, and strong resistance to unexpected disturbances or component failures. Actuator degradation, signal interruption, and sensor errors can reduce productivity and compromise operational safety, making resilience a central requirement in industrial robotics.

The proposed framework combines adaptive control strategies with distributed wireless sensing to monitor actuator behavior in real time and detect anomalies at an early stage. The study emphasizes how sensor data can be integrated into feedback loops to maintain stable motion, compensate for partial faults, and preserve accuracy under variable workloads. The architecture is evaluated conceptually in relation to common industrial conditions such as vibration, communication delay, and mechanical wear.

Results suggest that wireless sensor feedback enhances fault detection capability and supports more flexible maintenance planning. By enabling continuous monitoring without extensive cabling, the system also improves installation efficiency and operational scalability. The study further shows that fault-tolerant design can reduce downtime, extend actuator lifespan, and improve the reliability of robotic production lines.

The findings contribute to the development of intelligent industrial automation systems and demonstrate the value of combining control engineering with wireless sensing technologies. This approach offers a practical pathway for creating more robust robotic actuators in smart manufacturing environments.

Key word: fault tolerance, robotic actuators, wireless sensor feedback, industrial automation, adaptive control

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

RECONFIGURABLE ANTENNA SYSTEMS FOR 5G-ADVANCED AND BEYOND-5G MOBILE NETWORKS

Dr. Netsanet Hailu, Selamawit Kassa, Prof. Dr. Worku Ayalew, Dr. Hirut Bekele, Mekdes Tadesse
Faculty of Electrical and Computer Engineering, Addis Ababa University, Ethiopia

ABSTRACT

This study explores reconfigurable antenna systems designed to meet the growing demands of 5G-Advanced and beyond-5G mobile networks. As wireless communication continues to expand toward higher data rates, lower latency, and more dynamic connectivity requirements, antenna flexibility has become a critical component in mobile network architecture. Reconfigurable antennas provide the ability to adapt radiation patterns, operating frequencies, and polarization characteristics according to changing communication conditions.

The research examines key design principles that support compactness, multi-band operation, and energy-efficient performance. It also evaluates how reconfigurable structures can improve spectral utilization and enhance coverage in dense urban and heterogeneous network environments. Particular attention is given to compatibility with mobile terminals, base stations, and future intelligent radio systems.

The findings indicate that antenna reconfiguration can offer significant advantages in reducing interference, improving signal quality, and supporting diverse user scenarios. The study further highlights the potential of such systems to adapt to evolving network standards without requiring frequent hardware replacement. This makes them especially valuable for next-generation wireless infrastructures where flexibility and scalability are essential.

Overall, the paper demonstrates that reconfigurable antenna technologies are not only technically feasible but also strategically important for future mobile communication systems. Their role in enabling adaptive, high-performance connectivity positions them as a key enabler of advanced wireless network development.

Key word: reconfigurable antennas, 5G-Advanced, beyond-5G, wireless networks, mobile communication

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

VETERINARY PUBLIC HEALTH STRATEGIES FOR CONTROLLING ZOONOTIC RISK IN MARINE FOOD SUPPLY CHAINS

Prof. Dr. Nadia El-Mansouri, Dr. Youssef Benali, Salma Ait Ouarab, Dr. Imane Zahir
Faculty of Veterinary Medicine, University of Rabat, Morocco

ABSTRACT

Marine food supply chains play an increasingly important role in human nutrition, but they also create conditions in which zoonotic risks can emerge, persist, and spread. This study examines veterinary public health strategies that support safer production, handling, transport, and commercialization of marine food products. The discussion is grounded in a One Health perspective that links animal health, environmental conditions, and food safety governance. Particular attention is given to the role of surveillance, hygiene practices, pathogen control, and intersectoral coordination in reducing contamination risks along the supply chain.
The analysis shows that zoonotic threats in marine systems are shaped by weaknesses in cold-chain management, insufficient inspection procedures, limited traceability, and inconsistent biosecurity practices in harvesting and processing environments. The paper also highlights the importance of risk-based monitoring systems that can detect hazards early and support rapid response. Veterinary public health measures are most effective when they are integrated with regulatory frameworks, worker training, and consumer awareness initiatives.
The study argues that sustainable marine food safety depends not only on technical inspection but also on institutional cooperation between veterinarians, fisheries authorities, public health agencies, and producers. Strengthening laboratory capacity, improving hygiene standards, and applying traceability tools can significantly reduce the likelihood of zoonotic transmission. The article concludes that marine food safety should be treated as a shared public health responsibility requiring preventive, coordinated, and science-based management.

Keywords: veterinary public health, zoonotic risk, marine food chains, food safety, One Health

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SUSTAINABILITY AND ANTIBIOTIC RESISTANCE MONITORING IN AQUACULTURE SYSTEMS OF NORTH AFRICAN COASTAL REGIONS

Assoc. Prof. Dr. Rachid El-Khattabi, Prof. Dr. Lina Bouzid, Dr. Samir Hariri
Faculty of Marine Sciences, University of Tangier, Morocco

ABSTRACT

Aquaculture has become a strategic sector in North African coastal economies, yet its expansion has raised concerns regarding environmental sustainability and the spread of antibiotic resistance. This study explores how monitoring systems can be used to evaluate antimicrobial use, microbial responses, and ecological impacts in aquaculture environments. The paper adopts a sustainability framework that connects production efficiency with ecosystem protection and public health responsibility.

Findings indicate that antibiotic misuse, weak biosecurity, and poor waste management can accelerate the emergence of resistant bacteria in water systems and farmed species. The study emphasizes the value of routine surveillance for detecting resistance patterns, assessing farm practices, and identifying environmental pressures that influence microbial adaptation. It also discusses the importance of alternatives such as improved husbandry, vaccination, probiotics, and integrated disease management.

A central argument of the paper is that sustainability in aquaculture cannot be achieved without continuous scientific monitoring and policy enforcement. The results suggest that producers benefit from clearer standards, better training, and stronger collaboration with veterinary and environmental authorities. Monitoring antibiotic resistance is therefore not only a health measure but also a foundation for long-term sector resilience. The article concludes that North African aquaculture systems require an integrated model of production governance that balances profitability, ecological stability, and responsible antimicrobial stewardship.

Keywords: aquaculture sustainability, antibiotic resistance, coastal regions, environmental monitoring, antimicrobial stewardship

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

CLINICAL PARASITOLOGY AND DIAGNOSTIC CHALLENGES IN FISH AND SHELLFISH HEALTH MANAGEMENT

Prof. Dr. Elena Petrovska, Assoc. Prof. Dr. Martin Stojanov, Dr. Ana Kostic, Biljana Ristova
Institute of Veterinary Medicine, University of Skopje, North Macedonia

ABSTRACT

Parasitic infections remain a major obstacle to fish and shellfish health management, particularly in intensive and semi-intensive production systems. This paper examines the clinical parasitology of aquatic species with a focus on diagnostic limitations, disease recognition, and management implications. Parasites affect growth, survival, reproduction, and product quality, while also complicating broader biosecurity efforts in aquaculture. The study highlights that diagnosis is often hindered by nonspecific clinical signs, mixed infections, seasonal variation, and the limited availability of rapid and affordable laboratory tools. Traditional microscopic methods remain useful, but they may not fully capture hidden or emerging infections. Molecular approaches and improved sampling protocols offer stronger diagnostic precision, especially when combined with clinical observation and farm-level epidemiological data.

The paper also underlines the importance of integrating parasitology into routine health management rather than treating it as a secondary issue. Prevention through husbandry improvements, environmental control, quarantine practices, and strategic treatment planning is essential for reducing losses. The study concludes that effective parasite control depends on a combination of diagnostic accuracy, farmer awareness, and sustained veterinary support. Better diagnostic infrastructure can strengthen aquatic animal welfare and improve the reliability of seafood production systems.

Keywords: clinical parasitology, fish health, shellfish disease, diagnosis, aquaculture management

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

MOLECULAR SURVEILLANCE OF BACTERIAL PATHOGENS IN MARINE ANIMALS AND SEAFOOD PRODUCTION SYSTEMS

Dr. Nikola Trajkovski, Assoc. Prof. Dr. Marija Spasova
Faculty of Natural Sciences, University of Belgrade, Serbia

ABSTRACT

Molecular surveillance has become an essential tool in detecting bacterial pathogens that threaten marine animals and seafood production systems. This study reviews how modern molecular methods contribute to pathogen identification, transmission tracking, and risk assessment in aquatic environments. The paper focuses on the need for timely detection of bacterial agents that can affect animal health, product safety, and consumer confidence. The analysis shows that molecular surveillance improves accuracy in recognizing pathogenic strains, distinguishing closely related organisms, and monitoring antimicrobial resistance. It also supports early intervention in settings where conventional culture methods are too slow or insufficiently sensitive. In marine production environments, this capacity is especially valuable because pathogen spread is often influenced by water quality, stocking density, transport conditions, and cross-contamination between farms and processing sites.
The study argues that surveillance systems are most effective when molecular data are linked to epidemiological interpretation and practical control measures. Such integration can improve outbreak response, guide hygiene protocols, and strengthen food safety oversight. The paper concludes that molecular surveillance should be viewed not as a laboratory luxury but as a practical necessity for modern seafood governance. Its broader value lies in protecting both animal populations and public health through evidence-based monitoring.

Keywords: molecular surveillance, bacterial pathogens, seafood safety, marine animals, diagnostics

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

NUTRITIONAL QUALITY, FOOD SAFETY, AND WELFARE INDICATORS IN MALAYSIAN MARINE LIVESTOCK PRODUCTION

Prof. Dr. Aisha Rahman, Assoc. Prof. Dr. Farid Ismail, Dr. Nurul Syafiqah Hassan, Siti Aminah Abdullah, Dr. Haziq Zainal
Faculty of Fisheries and Food Science, Universiti Putra Malaysia, Malaysia

ABSTRACT

Marine livestock production in Malaysia occupies an important place in national food security, yet it must be evaluated not only in economic terms but also in relation to nutritional quality, food safety, and welfare standards. This paper examines these dimensions together, arguing that sustainable marine production depends on the alignment of product quality with ethical and hygienic management.

The analysis identifies the need to assess feed composition, handling conditions, stress indicators, and post-harvest practices as interconnected factors influencing consumer safety and product value. Welfare is especially relevant because poor environmental conditions and overhandling can affect both animal performance and the microbiological quality of seafood. The paper also discusses the role of inspection systems, traceability, and producer education in strengthening confidence in marine livestock products.

A key contribution of the study is its integrated perspective, which shows that nutritional value and welfare should not be treated as separate concerns. Better welfare practices can improve growth, reduce disease pressure, and support cleaner production systems. The article concludes that Malaysia's marine livestock sector would benefit from more holistic standards that incorporate animal well-being, food safety, and consumer health within a single regulatory and production framework.

Keywords: marine livestock, food safety, animal welfare, nutritional quality, seafood production

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

INNOVATIVE DIAGNOSTIC TOOLS FOR VIRAL DISEASE CONTROL IN TROPICAL AQUATIC ANIMAL HEALTH

Prof. Dr. Chong Wei Ling, Dr. Kamaluddin Ibrahim, Assoc. Prof. Dr. Nur Faezah Roslan
School of Biological Sciences, Universiti Sains Malaysia, Malaysia

ABSTRACT

Viral diseases remain a major challenge in tropical aquatic animal health, where warm-water conditions can accelerate disease spread and intensify production losses. This study discusses innovative diagnostic tools that improve the detection, monitoring, and management of viral infections in aquatic animals. The article examines the shift from traditional diagnosis toward molecular, serological, and point-of-care approaches that provide faster and more reliable results.

The findings show that early diagnosis is essential because viral outbreaks often progress rapidly and may remain unnoticed until damage is severe. Diagnostic innovation supports better farm management by enabling targeted intervention, quarantine decisions, and movement control. The paper also stresses that diagnostic tools must be affordable and practical for use in tropical production systems, where technical capacity may vary widely.

The study argues that effective viral control depends on more than detection alone; it also requires communication between laboratories, farmers, and veterinary authorities. The integration of diagnostics with surveillance networks can improve preparedness and reduce outbreak severity. The article concludes that innovative diagnostics are central to modern aquatic animal health systems and should be supported through training, infrastructure development, and regional collaboration.

Keywords: viral disease, aquatic animal health, diagnostics, tropical aquaculture, disease control

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

EPIDEMIOLOGY OF SEAFOOD-BORNE DISEASES AND VETERINARY INTERVENTIONS IN SOUTH ASIAN MARKETS

Prof. Dr. Saeed Ahmad Khan, Dr. Amina Riaz, Assoc. Prof. Dr. Usman Tariq, Hira Javed
Faculty of Veterinary and Animal Sciences, University of Dhaka, Bangladesh

ABSTRACT

Seafood-borne diseases remain a significant public health concern in South Asian markets, where dense population centers, informal trade networks, and variable hygiene practices create favorable conditions for foodborne transmission. This paper examines the epidemiology of these diseases and evaluates the role of veterinary interventions in reducing risk across production and distribution systems.

The study emphasizes that seafood contamination may arise at multiple points, including harvesting, transport, storage, and retail handling. Pathogen circulation is shaped by weak sanitation infrastructure, limited cold-chain continuity, and inconsistent inspection. Veterinary interventions are therefore essential for tracing hazards, improving hygiene practices, and supporting safer market operations. The paper also highlights the need for community education and regulatory coordination, since public health measures are most effective when they are adopted across the entire supply chain.

The article concludes that seafood safety in South Asian markets requires an integrated epidemiological approach that combines monitoring, risk communication, and preventive veterinary action. Strengthening veterinary public health capacity can reduce disease burden while improving trust in seafood systems. The broader implication is that food safety should be treated as a regional development issue linked to both consumer protection and sustainable trade.

Keywords: seafood-borne disease, epidemiology, veterinary intervention, food safety, South Asia

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ONE HEALTH APPROACHES FOR IMPROVING MARINE ANIMAL BIOSECURITY AND SEAFOOD TRACEABILITY

Prof. Dr. Muhammad Asif Malik, Dr. Sana Gul, Assoc. Prof. Dr. Faizan Qureshi, Dr. Naila Shahid
Faculty of Veterinary Medicine, University of Karachi, Pakistan

ABSTRACT

The One Health approach provides a useful framework for understanding the connections between marine animal health, environmental integrity, and seafood safety. This study explores how biosecurity and traceability systems can be improved through integrated governance and cross-sectoral cooperation. The paper argues that marine production systems face complex risks that cannot be managed effectively by isolated interventions.

The analysis highlights the importance of coordinated surveillance, hygiene standards, movement control, and traceability mechanisms in reducing disease spread and improving consumer confidence. Biosecurity is shown to depend not only on farm-level practices but also on transport conditions, market regulation, and laboratory support. Traceability, in turn, helps identify the origin of products and supports rapid response when contamination or disease is detected.

The study concludes that a One Health strategy strengthens both prevention and accountability. It encourages collaboration between veterinarians, fisheries managers, public health officials, and producers, creating a more resilient seafood system. The paper suggests that future policy should prioritize integrated data systems, professional training, and regionally harmonized standards. In this way, One Health can serve as a practical foundation for marine animal biosecurity and trustworthy seafood supply chains.

Keywords: One Health, marine biosecurity, seafood traceability, veterinary public health, integrated surveillance

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ENERGY-AWARE SIGNAL PROCESSING METHODS FOR LOW-POWER IOT EDGE DEVICES IN SMART CITIES

Assoc. Prof. Dr. Tesfaye Gebremariam
Faculty of Electrical and Computer Engineering, Addis Ababa University, Ethiopia

ABSTRACT

This study examines energy-aware signal processing methods designed to improve the performance of low-power IoT edge devices used in smart city environments. As urban systems increasingly rely on distributed sensing, data transmission, and real-time analytics, the need for efficient processing at the edge has become essential. Conventional approaches often place excessive computational and communication demands on battery-limited devices, which shortens device lifespan and reduces system reliability. To address this challenge, the study explores adaptive filtering, compressed sensing, lightweight feature extraction, and dynamic workload management as integrated strategies for reducing energy consumption while preserving analytical accuracy.

The paper argues that signal processing at the edge should be designed not only for speed and precision but also for contextual efficiency. In smart city applications such as environmental monitoring, traffic sensing, public safety, and infrastructure diagnostics, devices must respond continuously under constrained energy conditions. Energy-aware methods help balance sensing quality with power availability, enabling more sustainable large-scale deployments. The discussion also highlights the value of algorithm-hardware co-design, where processing techniques are matched with low-power architectures to maximize operational endurance.

In addition, the study emphasizes the importance of intelligent scheduling and selective data transmission to reduce unnecessary communication overhead. By filtering redundant or low-value signals before transmission, edge devices can conserve energy and improve system responsiveness. The findings suggest that future smart cities will depend on signal processing frameworks that are adaptive, context-sensitive, and resource-efficient. Such approaches support more resilient IoT infrastructures and contribute to the long-term sustainability of urban digital ecosystems.

Key words: energy-aware processing, IoT edge devices, smart cities, low-power systems, signal optimization

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

EMBEDDED MACHINE LEARNING CIRCUITS FOR REAL-TIME HEALTH MONITORING WEARABLES

Assis. Prof. Dr. Dwi Prasetyo, Dr. Rani Widya Sari, Naufal Alamsyah
Faculty of Electrical Engineering, Gadjah Mada University, Indonesia

ABSTRACT

This paper explores embedded machine learning circuits for real-time health monitoring wearables, focusing on how compact intelligence can be integrated directly into portable biomedical devices. Wearable technologies are increasingly used to monitor physiological signals such as heart rate, body temperature, motion patterns, and stress-related indicators. However, continuous data streaming to external processors can increase latency, energy use, and privacy risks. For this reason, the study investigates on-device machine learning architectures that support immediate decision-making within limited hardware environments.

The proposed framework combines low-power circuit design with lightweight classification models capable of processing biomedical signals locally. Special attention is given to feature extraction, model compression, and energy-efficient inference, since these elements determine whether wearable systems can operate reliably over long periods. The study also discusses the advantages of embedding intelligence at the circuit level, including faster response times, reduced communication dependency, and improved patient data protection.

From a healthcare perspective, such systems are especially valuable for chronic disease monitoring, elderly care, and early warning applications. By enabling real-time analysis without external computation, embedded learning circuits can support timely interventions and more personalized care delivery. The paper further notes that the success of these systems depends on balancing accuracy, power efficiency, and manufacturability. Overall, the research shows that embedded machine learning represents a promising direction for next-generation wearables, where medical monitoring can become more autonomous, responsive, and scalable.

Key words: embedded machine learning, wearable health monitoring, biomedical circuits, real-time inference, low-power design

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DIGITAL POWER MANAGEMENT STRATEGIES FOR HIGH-EFFICIENCY SOLAR INVERTER SYSTEMS

Dr. Putri Handayani, Dr. Muhammad Rizky Pratama, Ayu Lestari
Faculty of Engineering, Bandung Institute of Technology, Indonesia

ABSTRACT

This study examines digital power management strategies for improving the efficiency and reliability of solar inverter systems. As photovoltaic energy becomes a more important component of modern power networks, inverter performance plays a central role in determining overall system stability and energy conversion quality. Traditional control methods often struggle to maintain optimal operation under rapidly changing irradiance, temperature variation, and grid disturbances. To respond to these challenges, the paper explores advanced digital control approaches that enhance inverter responsiveness and reduce energy losses.

The research emphasizes adaptive modulation, real-time monitoring, and intelligent load balancing as key elements of effective power management. These techniques enable inverters to adjust dynamically to environmental and electrical fluctuations while maintaining high conversion efficiency. The study also discusses how digital control platforms can support better fault detection, smoother power delivery, and improved compatibility with distributed renewable systems. In this context, software-based control becomes an important tool for increasing flexibility without requiring major hardware expansion.

The paper further highlights the importance of integrating predictive control and data-driven optimization into solar inverter design. Such methods help reduce switching losses, improve thermal behavior, and extend operational life. From a broader perspective, digital power management contributes to the wider transition toward sustainable energy infrastructures by making solar systems more dependable and economically attractive. The findings suggest that future inverter technologies should combine precision control, computational efficiency, and adaptability to varying operating conditions.

Key words: digital power management, solar inverters, power efficiency, adaptive control, renewable energy

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ENABLED DEFECT DETECTION IN SEMICONDUCTOR MANUFACTURING LINES

Prof. Dr. Imran Qureshi, Dr. Hina Malik, Ahsan Khan
Faculty of Electrical Engineering, National University of Sciences and Technology, Pakistan

ABSTRACT

This study investigates artificial intelligence-enabled defect detection in semiconductor manufacturing lines, with a focus on improving quality control, production reliability, and process efficiency. Semiconductor fabrication requires extremely high precision, and even minor defects can result in substantial material waste, yield loss, and operational cost. Conventional inspection methods are often limited by speed, consistency, and the inability to detect subtle anomalies in complex production environments. To address these limitations, the paper examines AI-based visual inspection and pattern recognition techniques designed for high-throughput manufacturing systems.

The proposed approach integrates machine learning models with imaging and sensor data to identify surface irregularities, alignment errors, and structural defects at early stages of production. The study underscores the value of automated defect detection in reducing human error and enabling faster response to process deviations. It also highlights the role of explainable AI in supporting industrial decision-making, since manufacturing engineers require clear and interpretable outputs for corrective action.

Beyond technical accuracy, the paper considers the broader industrial impact of intelligent inspection systems. AI-enabled monitoring can improve product consistency, lower rejection rates, and support predictive maintenance across the fabrication line. The research argues that semiconductor manufacturing increasingly depends on smart diagnostic systems capable of adapting to production complexity and evolving quality standards. Overall, the study demonstrates that artificial intelligence offers a powerful framework for strengthening defect detection, improving yield, and advancing the digital transformation of semiconductor industries.

Key words: artificial intelligence, defect detection, semiconductor manufacturing, machine vision, quality control

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

EVALUATION OF URBAN LAND DEVELOPMENT DIRECTION IN KABUL CITY, AFGHANISTAN

Ahmad Sharif Ahmadi, Yoshitaka Kajita
Department of Urban Engineering, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Japan

ABSTRACT

Rapid urbanization has significantly transformed the spatial structure and development patterns of Kabul City during the last decades. The city has experienced substantial population growth, informal settlement expansion, environmental pressure, and increasing demands for infrastructure and public services. This study evaluates the current direction of urban land development in Kabul and investigates the relationship between urban growth, planning policies, and socio-spatial transformation. The research focuses on the physical expansion of the city, the distribution of residential and commercial land uses, and the challenges emerging from uncontrolled urban development.

The study applies a qualitative and analytical approach based on urban planning documents, field observations, spatial interpretation, and comparative assessment of existing urban development strategies. Particular attention is given to the influence of migration, economic activities, transportation networks, and topographical constraints on the urban growth pattern of Kabul. The findings indicate that urban development has largely occurred in fragmented and uncoordinated forms, resulting in pressure on public infrastructure, reduction of green areas, and increasing inequalities between formal and informal neighborhoods. Furthermore, weak institutional coordination and limited implementation capacity have reduced the effectiveness of urban planning policies.

The study emphasizes the importance of sustainable urban management, integrated land-use planning, and balanced spatial development in improving the future urban structure of Kabul. Strengthening planning institutions, encouraging community participation, and protecting environmental resources are identified as essential strategies for achieving more resilient and inclusive urban development. The research contributes to contemporary discussions on urban transformation in rapidly growing cities of developing countries and provides a framework for future planning policies in Kabul City.

Keywords: Urban Development, Land Use Planning, Kabul City, Sustainable Urbanization, Spatial Growth

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

INFLUENCE OF PLACE IDENTITY ON WALKABILITY: A COMPARATIVE STUDY BETWEEN TWO MIXED USED STREETS CHAHARBAGH ST. ISFAHAN, IRAN AND DEREBOYU ST. LEFKOSA, NORTH CYPRUS

Assis. Prof. Dr. R. Rafiemanzelat
Department of Architecture and Urban Design, Faculty of Architecture, Eastern Mediterranean University, North Cyprus

ABSTRACT

Walkability has become an essential component of contemporary urban design due to its relationship with public health, environmental sustainability, and social interaction. Beyond physical infrastructure, the identity and character of urban spaces strongly influence pedestrian experiences and human attachment to place. This study investigates the influence of place identity on walkability through a comparative analysis of two mixed-use urban streets: Chaharbagh Street in Isfahan, Iran, and Dereboyu Street in Lefkosa, North Cyprus. Both streets represent important social and commercial urban corridors with distinct historical, cultural, and spatial characteristics.

The research examines how physical form, social activities, cultural memory, architectural continuity, and public perception contribute to walkable urban environments. A comparative qualitative methodology was adopted, including observational analysis, spatial evaluation, and interpretation of pedestrian behavior patterns. The study explores the relationship between urban identity and pedestrian comfort by focusing on accessibility, street aesthetics, land-use diversity, public interaction, and environmental quality.

The findings demonstrate that strong place identity enhances the attractiveness and usability of pedestrian spaces. Chaharbagh Street reflects a historically rooted urban identity through landscape design, cultural symbolism, and spatial continuity, while Dereboyu Street demonstrates a contemporary mixed-use urban character shaped by commercial vitality and social activity. Despite differences in urban context and scale, both streets illustrate how identity-oriented urban design can improve pedestrian movement, social engagement, and the overall urban experience.

The study concludes that successful walkable environments depend not only on technical planning standards but also on preserving cultural identity and creating emotionally meaningful urban spaces. The research contributes to discussions on sustainable urban design and offers practical insights for planners and designers seeking to improve pedestrian-oriented development in culturally diverse urban environments.

Keywords: Walkability, Place Identity, Urban Design, Mixed-Use Streets, Pedestrian Environment

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

RENEWED URBAN WATERFRONT: SPATIAL CONDITIONS OF A CONTEMPORARY URBAN SPACE TYPOLOGY

Assis. Prof. Dr. Beate Niemann
Fabian Pramel
Institute of Urban Studies and Spatial Design, Leibniz University Hannover, Germany

ABSTRACT

Urban waterfronts have undergone significant transformation in recent decades and emerged as dynamic public spaces that combine social, cultural, environmental, and economic functions. Once dominated by industrial and port-related activities, many waterfront areas have been redefined through regeneration projects that seek to reconnect cities with water landscapes and public life. This study explores the spatial conditions of renewed urban waterfronts as a contemporary urban space typology and examines how these areas contribute to urban identity and public interaction.

The research focuses on the spatial organization, accessibility, landscape integration, and multifunctional character of waterfront developments. Through analytical observation and comparative interpretation of selected urban waterfront projects, the study investigates the relationship between architectural form, public open space, mobility systems, and social use patterns. Particular emphasis is placed on the transformation of formerly industrial zones into mixed-use urban environments that encourage recreation, cultural activity, and environmental awareness.

The findings indicate that successful waterfront regeneration depends on the integration of spatial continuity, pedestrian accessibility, visual openness, and adaptive urban programming. Contemporary waterfronts function not only as recreational areas but also as symbolic urban spaces that strengthen civic identity and social inclusiveness. The study also highlights challenges related to commercialization, privatization of public spaces, and environmental vulnerability within rapidly redeveloping waterfront districts.

The research concludes that renewed waterfronts represent an important model for contemporary urban transformation and sustainable public space design. Effective waterfront planning should balance ecological sensitivity, social accessibility, and economic development while maintaining strong connections between urban fabric and natural landscapes. The study contributes to urban design discourse by emphasizing the evolving role of waterfronts as flexible and socially responsive urban environments.

Keywords: Urban Waterfront, Public Space, Urban Regeneration, Spatial Design, Contemporary Cities

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

URBAN ECOLOGICAL INTERACTION: AIR, WATER, LIGHT AND NEW TRANSIT AT THE HUMAN SCALE OF BARCELONA'S SUPERILLES

Philip Speranza
Institute of Urban Studies and Spatial Design, Leibniz University Hannover, Germany

ABSTRACT

Contemporary cities increasingly face environmental challenges associated with climate change, air pollution, traffic congestion, and declining public space quality. In response to these issues, urban design approaches centered on ecological interaction and human-scale mobility have gained global importance. This study examines Barcelona's Superilles model as an innovative urban strategy that integrates environmental sustainability, public health, and social interaction within the urban fabric.

The research explores the relationship between air quality, water management, natural light, and transit systems in shaping livable urban environments. Barcelona's Superilles initiative reorganizes mobility networks by reducing automobile dominance and prioritizing pedestrians, cyclists, and public life. The study investigates how this transformation affects ecological performance and spatial experience at the neighborhood scale. Using an interpretive and analytical methodology, the research evaluates public space usage, environmental conditions, and urban accessibility within selected Superilles districts.

The findings reveal that reducing vehicular traffic contributes significantly to improved air quality, lower noise levels, enhanced pedestrian safety, and increased social activity. The integration of vegetation, shading elements, and sustainable drainage systems also strengthens ecological resilience and urban comfort. Furthermore, the Superilles model demonstrates how transportation planning can support environmental goals while simultaneously encouraging community interaction and public engagement.

The study concludes that human-centered ecological planning represents a critical direction for future urban development. Barcelona's experience illustrates how integrated urban strategies can create healthier, more inclusive, and environmentally responsive cities. The research contributes to discussions on sustainable urbanism by emphasizing the importance of ecological interaction and public space design in contemporary metropolitan environments.

Keywords: Urban Ecology, Barcelona Superilles, Sustainable Mobility, Public Space, Human-Scale Urbanism

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

PERFORMANCE EVALUATION OF A 'PRIORITY-CONTROLLED' INTERSECTION CONVERTED TO SIGNAL-CONTROLLED INTERSECTION

Prof. Dr. Ezenwa Chinenye Amanamba
Department of Civil and Transportation Engineering, Faculty of Engineering, University of Nigeria, Nigeria

ABSTRACT

Urban transportation systems require efficient traffic management strategies to improve mobility, reduce congestion, and enhance road safety. Intersections represent critical components of transportation networks because they directly influence traffic flow efficiency and operational performance. This study evaluates the performance of a priority-controlled intersection that was converted into a signal-controlled intersection and examines the impacts of this transformation on traffic operation and urban mobility.

The research investigates the operational characteristics of both intersection control systems by focusing on traffic movement, delay conditions, vehicle interaction, and user experience. A comparative analytical approach was employed through field observations, traffic flow assessment, and evaluation of intersection functionality under different operational conditions. The study also considers the influence of increasing urbanization and vehicle demand on intersection performance in rapidly developing urban areas.

The findings indicate that the introduction of signal control improved traffic organization and enhanced safety conditions for both drivers and pedestrians. The signalized intersection reduced traffic conflicts and provided a more structured movement pattern compared to the previous priority-controlled arrangement. However, the study also identifies challenges associated with signal timing, waiting periods, and traffic accumulation during peak hours. The effectiveness of signalized systems was found to depend on proper traffic management strategies and continuous operational monitoring.

The study concludes that converting priority-controlled intersections into signal-controlled systems can significantly improve transportation efficiency when supported by appropriate planning and adaptive management. The research contributes to urban transportation studies by highlighting the importance of context-sensitive intersection design and sustainable traffic control strategies in contemporary cities.

Keywords: Traffic Engineering, Signal-Controlled Intersection, Urban Mobility, Transportation Planning, Road Safety

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DISCUSSION ABOUT FREQUENT ADJUSTMENT OF URBAN MASTER PLANNING IN CHINA: A CASE STUDY OF CHANGSHOU DISTRICT, CHONGQING CITY

Sun Ailu
Zhao Wanmin
Faculty of Urban and Environmental Sciences, Chongqing University, China

ABSTRACT

Urban master planning plays a fundamental role in guiding spatial development, infrastructure organization, and sustainable urban growth. In rapidly developing countries such as China, however, urban master plans are frequently adjusted to accommodate economic transformation, population growth, and changing political priorities. This study discusses the implications of frequent urban master plan adjustments through a case study of Changshou District in Chongqing City.

The research investigates the relationship between planning flexibility, governance structures, and urban development processes. Using a qualitative case-study methodology, the study evaluates planning revisions, spatial policy changes, and urban expansion patterns within the district. Particular attention is given to the influence of industrial development, investment strategies, infrastructure projects, and administrative decision-making on planning modifications.

The findings indicate that frequent adjustments to master plans can provide flexibility for responding to economic opportunities and urban transformation. However, repeated revisions may also create planning instability, weaken long-term sustainability goals, and reduce public trust in urban governance. The study highlights that inconsistent implementation and short-term development priorities can negatively affect environmental protection, land-use balance, and social equity. Furthermore, rapid planning changes may contribute to inefficient land consumption and fragmented urban growth.

The research concludes that effective urban planning requires a balance between adaptability and long-term strategic vision. Planning systems should remain responsive to social and economic change while preserving consistency, transparency, and environmental responsibility. The case of Changshou District demonstrates the need for integrated governance approaches and more sustainable planning frameworks in contemporary Chinese cities. The study contributes to broader discussions on urban governance and planning reform in rapidly urbanizing regions.

Keywords: Urban Master Planning, China, Urban Governance, Spatial Development, Chongqing City

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

HYBRID LIVING: EMERGING OUT OF THE CRISES AND DIVISIONS

Yiorgos Hadjichristou
Department of Architecture and Built Environment, School of Engineering, University of Nicosia, Cyprus

ABSTRACT

Contemporary societies are increasingly shaped by social fragmentation, environmental crises, technological transformation, and changing patterns of everyday life. These developments have influenced the ways people inhabit, experience, and interact within urban environments. This study examines the concept of hybrid living as an emerging spatial and social condition that responds to contemporary crises and divisions. The research explores how architecture and urban design can create adaptive living environments capable of supporting social interaction, flexibility, and resilience.

The study investigates the transformation of residential and communal spaces under the influence of digital communication, mobility changes, environmental concerns, and socio-political divisions. Through conceptual analysis and interpretation of contemporary housing and urban design approaches, the research examines the relationship between private and public space, physical and digital interaction, and individual and collective lifestyles. Particular emphasis is placed on hybrid spatial forms that combine living, working, social, and cultural functions within integrated urban environments.

The findings suggest that hybrid living environments encourage adaptability and strengthen community resilience during periods of uncertainty and transformation. Flexible spatial arrangements, mixed-use environments, and shared urban facilities contribute to more inclusive and socially connected forms of habitation. At the same time, the study highlights challenges related to identity, social inequality, and the preservation of meaningful human interaction within technologically mediated environments.

The research concludes that hybrid living represents an important framework for future urban and architectural thinking. Adaptive design strategies can support sustainable lifestyles while responding to the evolving social realities of contemporary cities. The study contributes to discussions on urban resilience, social integration, and the future of habitation in rapidly changing global contexts.

Keywords: Hybrid Living, Urban Resilience, Contemporary Housing, Social Interaction, Adaptive Architecture

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

CORPORATE GOVERNANCE STRUCTURES AND OVERLAPPING DIRECTORATES IN THE CZECH REPUBLIC

Assis. Prof. Dr. Ondřej Nowak
Department of Economics and Management, Faculty of Business Administration, University of Economics Prague, Czech Republic

ABSTRACT

Corporate governance structures play a central role in shaping organizational accountability, strategic decision-making, and economic performance. In recent years, increasing attention has been directed toward overlapping directorates, where individuals simultaneously hold positions on multiple corporate boards. This study examines corporate governance structures and overlapping directorates in the Czech Republic and explores their implications for organizational networks, management practices, and institutional relationships.

The research investigates how overlapping directorates influence communication, corporate coordination, and governance dynamics within the Czech business environment. Using a qualitative and analytical approach, the study evaluates organizational structures, board relationships, and institutional interactions among corporations operating in different sectors. The research also considers the historical and economic context of corporate governance development in post-transition economies.

The findings indicate that overlapping directorates can strengthen inter-organizational cooperation, facilitate information exchange, and contribute to strategic alignment between companies. At the same time, excessive concentration of board memberships may create governance risks associated with reduced transparency, conflicts of interest, and limited managerial independence. The study highlights the importance of balanced governance frameworks capable of promoting accountability while supporting effective corporate collaboration.

Furthermore, the research emphasizes the role of regulatory structures, institutional culture, and governance standards in shaping corporate board practices within the Czech Republic. The study concludes that transparent governance systems and clearly defined board responsibilities are essential for maintaining organizational trust and long-term economic sustainability. The research contributes to broader discussions on corporate governance and institutional transformation in Central European economies.

Keywords: Corporate Governance, Board Structures, Overlapping Directorates, Czech Republic, Organizational Networks

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SHED SNAKE SKINS: A NATURAL RESOURCE FOR BIOMIMETIC MEMBRANES – ADVANCING PERMEATION STUDIES AND DRUG DELIVERY APPLICATIONS

Emma Grigoryan – Department of Pharmaceutical Biotechnology, Faculty of Pharmacy, Yerevan State Medical University, Armenia
Ashot Khachatryan – Institute of Biomaterials and Biomedical Engineering, National Polytechnic University of Armenia, Armenia
Karapet Flora Avjyan Savchenko – Department of Molecular Biology and Bioengineering, Faculty of Applied Sciences, Russian-Armenian University, Armenia

ABSTRACT

The growing interest in sustainable biomaterials has accelerated research into naturally derived membranes for biomedical and pharmaceutical applications. Among these materials, shed snake skins have emerged as an innovative and environmentally friendly resource with significant potential for biomimetic membrane development. The present study explores the structural, biochemical, and functional properties of naturally shed snake skins and evaluates their suitability for permeation studies and advanced drug delivery systems. Due to their unique layered morphology and selective permeability characteristics, shed snake skins provide an attractive alternative to synthetic membranes commonly used in pharmaceutical research.

This research focuses on the ability of these biological membranes to mimic human skin behavior during transdermal permeation studies. The natural keratinized structure of snake skin demonstrates remarkable similarities to mammalian epidermal barriers, making it a promising model for evaluating drug transport and diffusion mechanisms. In addition, the study examines the mechanical stability, hydration behavior, and compatibility of shed snake skin membranes under different laboratory conditions relevant to pharmaceutical testing.

The findings indicate that shed snake skins possess excellent flexibility and reproducibility for experimental applications. Their natural microstructure supports controlled permeation while maintaining membrane integrity during prolonged analysis. Furthermore, the biodegradable and renewable nature of this material contributes to the development of greener pharmaceutical technologies and reduces dependence on synthetic laboratory membranes.

The study concludes that shed snake skins can serve as a valuable platform for biomimetic membrane engineering and transdermal drug delivery investigations. Their integration into pharmaceutical and biomedical research may support the design of safer, cost-effective, and more sustainable drug evaluation systems. Future research may further expand their applications in tissue engineering, nanomedicine, and bioinspired therapeutic technologies.

Keywords: biomimetic membranes, shed snake skin, drug delivery, permeation studies, sustainable biomaterials

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

PRECISION DRUG DELIVERY OF GLIBENCLAMIDE: EXPLORING THE IMPACT OF POLYVINYL PYRROLIDONE AND ETHYL CELLULOSE CONCENTRATION ON RELEASE PROFILES AND KINETICS

Dr. Stepan Arakelova – Department of Pharmaceutics and Drug Delivery Systems, Faculty of Pharmacy, Armenian Medical Institute, Armenia
Assis. Prof. Dr. Lilia Arsenyan – Institute of Pharmaceutical Technology, Faculty of Biomedical Sciences, Eurasia International University, Armenia

ABSTRACT

Controlled drug delivery systems have become increasingly important in modern pharmaceutical sciences due to their ability to improve therapeutic efficiency and patient compliance. The present study investigates the formulation and release behavior of glibenclamide using polymeric systems composed of polyvinyl pyrrolidone and ethyl cellulose. The research focuses on understanding how variations in polymer concentration influence drug release profiles and kinetic behavior in precision drug delivery applications.

Glibenclamide is widely used in the management of metabolic disorders and requires carefully regulated release characteristics to maintain therapeutic stability. In this study, polymer matrices were designed to evaluate the interaction between hydrophilic and hydrophobic excipients in controlling drug diffusion. Polyvinyl pyrrolidone was selected due to its excellent solubility and film-forming capacity, while ethyl cellulose was incorporated for its sustained-release properties and mechanical stability. The balance between these polymers played a critical role in determining the overall performance of the drug delivery system.

The investigation demonstrated that polymer concentration significantly affected swelling characteristics, matrix integrity, and release dynamics. Increased levels of ethyl cellulose contributed to prolonged drug release, whereas higher concentrations of polyvinyl pyrrolidone enhanced hydration and facilitated faster diffusion. The release kinetics suggested that the prepared formulations could achieve controlled and predictable therapeutic delivery under simulated physiological conditions.

The study highlights the importance of polymer optimization in the design of advanced pharmaceutical formulations. By carefully adjusting polymer composition, it becomes possible to tailor release behavior according to specific therapeutic requirements. The findings support the growing application of precision medicine approaches in pharmaceutical development and provide valuable insight into the engineering of sustained-release oral dosage systems.

Future investigations may focus on the incorporation of biodegradable polymers, nanocarrier systems, and personalized pharmaceutical technologies to further improve drug targeting and therapeutic outcomes.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: glibenclamide, controlled release, polyvinyl pyrrolidone, ethyl cellulose, pharmaceutical technology

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

INVESTIGATING THE EFFECTS OF AMINOPOLYETHER ON 18F-FDG PROPERTIES AND ITS IMPLICATIONS FOR PET IMAGING APPLICATIONS

Dr. Sunil Kamboj –Dr. Vipin Saini – Lecture Gaurav Bala

– Department of Pharmaceutical Chemistry and Imaging Technologies, Faculty of Applied Medical Sciences, Punjab Technical University, India

ABSTRACT

Positron emission tomography imaging has become an essential diagnostic tool in modern medicine, particularly in oncology, neurology, and metabolic disease evaluation. Among the radiopharmaceuticals used in PET imaging, fluorodeoxyglucose labeled with fluorine remains one of the most widely utilized compounds due to its effectiveness in detecting abnormal metabolic activity. The present study investigates the influence of aminopolyether compounds on the physicochemical properties of fluorodeoxyglucose and examines the potential implications for PET imaging applications.

The study focuses on the interaction between aminopolyether molecules and radiopharmaceutical formulations during preparation and stabilization processes. Aminopolyethers are known for their complexation ability and chemical versatility, which may contribute to enhanced molecular stability and improved radiotracer performance. This research evaluates how these interactions affect parameters such as radiochemical purity, stability, diffusion behavior, and imaging reliability under laboratory conditions.

The findings suggest that aminopolyether incorporation may positively influence the structural consistency and preservation of radiotracer properties. Improved stability during storage and transport could contribute to enhanced imaging quality and reduced degradation-related variability in clinical applications. In addition, the interaction between aminopolyether compounds and fluorodeoxyglucose may support more efficient biodistribution characteristics and facilitate improved diagnostic interpretation.

This study also discusses the broader significance of chemical optimization in radiopharmaceutical development. As imaging technologies continue to evolve, the need for stable and high-performance radiotracers becomes increasingly important in clinical diagnostics and precision medicine. The integration of functional polymers and stabilizing agents may therefore represent an important advancement in next-generation PET imaging systems.

Overall, the research demonstrates that aminopolyether compounds possess promising potential in improving radiopharmaceutical formulation strategies and may contribute to the development of safer, more reliable, and diagnostically effective PET imaging applications.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: PET imaging, fluorodeoxyglucose, aminopolyether, radiopharmaceuticals, molecular imaging

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ENDOPHYTES AS A NEW SOURCE OF BIOACTIVE COMPOUNDS: ISOLATION AND IDENTIFICATION OF FIBRINOLYTIC PROTEASE-PRODUCING FUNGI FROM HIBISCUS LEAVES

Assoc. Prof. Dr. Suman Sharma – Department of Microbiology and Biotechnology, Faculty of Life Sciences, Himachal State University, India

ABSTRACT

Endophytic microorganisms have attracted considerable scientific attention due to their ability to produce diverse bioactive compounds with important pharmaceutical and industrial applications. Among these microorganisms, fungal endophytes associated with medicinal plants represent a promising source of enzymes and secondary metabolites with therapeutic value. The present study investigates the isolation and identification of fibrinolytic protease-producing fungi obtained from hibiscus leaves and evaluates their potential as novel biological resources for biomedical applications.

Endophytes inhabit internal plant tissues without causing visible damage and often establish beneficial interactions with their host plants. In this research, fungal strains isolated from hibiscus leaves were screened for their ability to produce fibrinolytic proteases, enzymes known for their potential role in dissolving fibrin and supporting cardiovascular health research. The isolation procedures were carried out under controlled laboratory conditions to ensure purity and reproducibility of the fungal cultures.

The identified fungal isolates demonstrated significant enzymatic activity and revealed promising characteristics for biotechnological utilization. Morphological and biochemical analyses indicated the presence of metabolically active strains capable of producing extracellular proteases with potential therapeutic relevance. The study further emphasizes the importance of medicinal plants as reservoirs of unique microbial diversity and highlights the untapped potential of endophytic fungi in pharmaceutical discovery.

In addition to their biomedical significance, fibrinolytic enzymes derived from endophytes may offer advantages related to cost-effective production, environmental sustainability, and reduced dependence on synthetic compounds. The findings contribute to the growing body of research focused on natural bioactive compounds and microbial biotechnology.

The study concludes that hibiscus-associated endophytic fungi may serve as valuable candidates for future enzyme production and pharmaceutical development. Further molecular characterization and large-scale fermentation studies may enhance understanding of their therapeutic applications and industrial potential.

Keywords: endophytes, fibrinolytic protease, hibiscus, fungal biotechnology, bioactive compounds

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

FROM CONCEPT TO REALITY: THE DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MECHANICAL FORCE GAUGE FOR SQUARE WATERMELON MOLDING

Dr. Bedi Neayti Singh – Department of Agricultural Engineering and Design Technologies, Faculty of Mechanical Systems, Punjab Agricultural University, India
PhD. Candidate Balvinder Thakur – Institute of Industrial Product Development, Faculty of Engineering and Applied Sciences, Himachal Technical University, India

ABSTRACT

Innovative agricultural engineering technologies continue to transform modern farming practices by improving productivity, product quality, and market value. One of the most distinctive examples of agricultural product innovation is the cultivation of square watermelons, which requires specialized molding systems capable of controlling fruit shape during growth. The present study describes the design and development of a mechanical force gauge intended to support square watermelon molding processes through precise pressure monitoring and structural assessment.

The research focuses on the engineering principles involved in developing a reliable and practical force measurement device suitable for agricultural environments. During watermelon growth, external pressure exerted by molding containers may significantly influence fruit development, structural integrity, and final product quality. Therefore, accurate measurement of mechanical force becomes essential in optimizing molding efficiency while preventing physical damage to the fruit.

The proposed mechanical force gauge was designed with considerations related to durability, ease of operation, and adaptability to different molding systems. The study evaluated the device under controlled agricultural conditions and examined its effectiveness in monitoring force distribution during fruit expansion. The results demonstrated that the gauge provided stable and consistent measurements, allowing growers to better manage molding pressure and improve shape uniformity.

In addition to its agricultural applications, the project highlights the importance of interdisciplinary collaboration between mechanical engineering, industrial design, and precision farming technologies. The integration of simple yet effective mechanical monitoring systems may contribute to more sustainable agricultural production and enhanced commercialization of specialty crops.

The study concludes that the developed force gauge represents a practical tool for square watermelon cultivation and may support future advancements in agricultural automation and smart farming technologies. Further development may include digital monitoring systems and sensor-based agricultural engineering applications.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: agricultural engineering, force gauge, square watermelon, precision farming, mechanical design

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

THE ROLE OF EXERCISE IN IMPROVING SEXUAL PERFORMANCE AND SEMEN QUALITY OF SAHIWAL BULLS: A PRACTICAL GUIDE FOR BREEDERS

Assis. Prof. Dr. Rathapon Sorrachaitawatwong –

Department of Animal Reproduction and Veterinary Sciences, Faculty of Veterinary Medicine, Chiang Mai Agricultural University, Thailand
Nardauma Pouthai

Institute of Livestock Production and Breeding Technologies, Faculty of Agricultural Sciences, Khon Kaen University, Thailand

ABSTRACT

Animal reproductive efficiency is one of the most significant factors influencing livestock productivity and breeding success. In cattle breeding programs, the reproductive performance of breeding bulls directly affects herd quality, genetic improvement, and long-term agricultural sustainability. The present study examines the role of exercise in improving sexual performance and semen quality in Sahiwal bulls and provides practical guidance for breeders seeking to enhance reproductive management strategies.

Sahiwal cattle are widely recognized for their adaptability, heat tolerance, and reproductive value in tropical agricultural systems. However, environmental stress, limited mobility, and inadequate management practices may negatively influence semen characteristics and breeding efficiency. This study evaluates the relationship between structured physical activity and reproductive health parameters in breeding bulls under controlled farm conditions.

The findings indicate that regular exercise contributes positively to overall physiological condition, muscular development, circulation, and behavioral activity. These improvements were associated with enhanced reproductive responsiveness and better semen quality characteristics. Exercise also appeared to support stress reduction and metabolic balance, factors that are essential for maintaining reproductive performance in breeding animals.

The research highlights the importance of integrating physical conditioning programs into livestock management systems. In addition to nutritional and veterinary care, exercise-based management approaches may provide breeders with practical and low-cost methods for improving reproductive efficiency and animal welfare. The study further emphasizes the need for holistic breeding strategies that combine environmental, behavioral, and physiological considerations.

The conclusions of this research may support sustainable livestock breeding programs and contribute to improved reproductive management in tropical cattle farming systems. Future investigations may focus on long-term reproductive monitoring, breed-specific exercise protocols, and advanced reproductive biotechnology applications.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: Sahiwal bulls, semen quality, animal reproduction, livestock management, exercise physiology

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

INVESTIGATING THE IMPACT OF DIETARY HERBAL SEED SUPPLEMENTATION ON CARCASS CHARACTERISTICS, IMMUNE RESPONSE, AND ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS

Sirijit Tipchuwong – Department of Poultry Science and Animal Nutrition, Faculty of Agricultural Technology, Kasetsart University, Thailand
Chayanid Asasutjarit – Institute of Veterinary Biosciences and Livestock Research, Faculty of Animal Sciences, Mahasarakham University, Thailand

ABSTRACT

The increasing demand for sustainable poultry production has encouraged researchers to explore natural feed additives capable of improving animal health and production performance. Herbal seed supplementation has emerged as a promising alternative to synthetic growth promoters due to its nutritional, antioxidant, and immunomodulatory properties. The present study investigates the effects of dietary herbal seed supplementation on carcass characteristics, immune response, and antioxidant status in broiler chickens.

Herbal seeds contain a variety of biologically active compounds, including phenolic substances, essential oils, and natural antioxidants that may positively influence poultry metabolism and physiological health. In this study, broiler chickens were provided with nutritionally balanced diets enriched with selected herbal seed supplements in order to evaluate their impact on growth performance and physiological responses.

The results demonstrated that herbal supplementation contributed to improvements in carcass quality and overall physiological condition. Enhanced immune response and antioxidant activity were also observed, suggesting that herbal compounds may support the natural defense mechanisms of poultry under production conditions. In addition, the use of plant-based dietary additives may contribute to healthier poultry production systems by reducing oxidative stress and supporting metabolic stability.

The study emphasizes the growing importance of natural feed strategies in modern animal agriculture. Consumer demand for safer and environmentally sustainable poultry products has increased interest in replacing synthetic additives with plant-derived nutritional supplements. Herbal seed supplementation may therefore represent a valuable strategy for improving productivity while supporting animal welfare and food quality standards.

The findings of this research contribute to the advancement of sustainable poultry nutrition and highlight the potential of herbal bioactive compounds in livestock production systems. Future research may further explore optimal supplementation combinations and their long-term effects on poultry health and production efficiency.

Keywords: broiler chickens, herbal supplementation, antioxidant activity, poultry nutrition, immune response

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ASYMPTOTIC ANALYSIS OF NONLINEAR DYNAMICAL SYSTEMS IN PHYSICAL MODELLING

Dr. Lilit Harutyunyan –

Department of Applied Mathematics, Faculty of Physics and Mathematics, Yerevan State University, Armenia

Prof. Dr. Vahan Manukyan

Institute of Mathematical Sciences, National Polytechnic University of Armenia, Armenia

ABSTRACT

Nonlinear dynamical systems have become increasingly significant in the interpretation of physical phenomena characterized by instability, complexity, and long-term evolution. The present study investigates asymptotic analysis as an effective mathematical framework for understanding the qualitative and quantitative behaviour of nonlinear systems arising in physical modelling. The research focuses on the asymptotic properties of solutions associated with differential equations that describe oscillatory systems, fluid interactions, wave propagation, and energy transfer processes. In many branches of theoretical and applied physics, the prediction of system behaviour over extended periods remains a challenging issue because nonlinear interactions often generate irregular and highly sensitive structures. For this reason, asymptotic methods provide an important bridge between analytical mathematics and realistic physical interpretation.

The study discusses the role of perturbation techniques, stability criteria, and asymptotic expansions in simplifying nonlinear models while preserving their essential physical properties. Particular attention is given to the interpretation of equilibrium states, bifurcation structures, and attractor dynamics in physical systems subjected to varying external conditions. The findings demonstrate that asymptotic approaches can contribute to the identification of dominant patterns and the reduction of computational complexity in mathematical modelling. Furthermore, the study highlights the interdisciplinary value of nonlinear analysis in connecting mathematical theory with practical scientific applications.

The paper also emphasizes the growing relevance of asymptotic analysis in modern computational physics and engineering sciences, where accurate modelling is essential for predicting complex system behaviour. By integrating theoretical analysis with physical interpretation, the research contributes to a deeper understanding of nonlinear dynamical processes and offers a valuable perspective for future developments in applied mathematics and physical sciences.

Keywords: Nonlinear Dynamical Systems, Asymptotic Analysis, Physical Modelling, Differential Equations, Stability Theory

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

RECENT METHODS IN ALGEBRAIC NUMBER THEORY: APPLICATIONS TO CRYPTOGRAPHY

Prof. Dr. Priya Deshpande – Department of Pure Mathematics, Faculty of Science, University of Mumbai, India
Dr. Nikhil Raman – Institute of Computational Mathematics, Indian Institute of Technology Madras, India
Prof. Dr. Anjali R. Mehta – School of Mathematical Sciences, Jawaharlal Nehru University, India

ABSTRACT

Algebraic number theory has gained renewed importance in recent years because of its strong relationship with contemporary cryptographic systems and information security technologies. This study examines recent developments in algebraic number theory and evaluates their applications within modern cryptographic frameworks. The increasing dependence on digital communication, electronic transactions, and secure data transmission has intensified the demand for mathematically reliable encryption techniques. In this context, algebraic structures such as prime ideals, finite fields, modular arithmetic, and lattice-based systems have become central elements in the design of advanced cryptographic algorithms.

The paper presents a theoretical discussion of current methods in algebraic number theory and explains how these methods support secure encryption protocols against evolving computational threats. Particular attention is devoted to the mathematical foundations of public-key cryptography, factorization problems, and discrete logarithm structures. The study also addresses the significance of algebraic approaches in the development of post-quantum cryptographic models, which have emerged as a major research area due to advances in quantum computing technologies.

Furthermore, the research explores the interdisciplinary relationship between pure mathematics and computer science by emphasizing how abstract algebraic concepts can be transformed into practical digital security applications. The findings indicate that algebraic number theory not only contributes to theoretical mathematical knowledge but also provides innovative tools for safeguarding information systems in contemporary society. The paper argues that future cryptographic developments will continue to depend heavily on mathematical creativity and the expansion of algebraic methodologies.

Overall, this study contributes to the broader understanding of the interaction between mathematical theory and cybersecurity applications while encouraging further research into algebraic techniques capable of addressing emerging technological challenges.

Keywords: Algebraic Number Theory, Cryptography, Public-Key Encryption, Post-Quantum Security, Computational Mathematics

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ADVANCES IN MACHINE LEARNING APPROACHES FOR MATHEMATICAL OPTIMIZATION

Dr. Suresh Chandrasekhar – Department of Computer Science and Artificial Intelligence, Faculty of Engineering, Anna University, India

ABSTRACT

Mathematical optimization has experienced significant transformation with the integration of machine learning techniques into analytical and computational processes. This study investigates recent advances in machine learning approaches for solving complex optimization problems encountered in engineering, economics, logistics, and scientific computation. Traditional optimization methods often face limitations when dealing with large-scale data structures, nonlinear constraints, and highly dynamic environments. Consequently, machine learning models have emerged as effective tools for improving adaptability, prediction accuracy, and computational efficiency in optimization tasks.

The paper examines the relationship between optimization theory and machine learning algorithms by discussing neural networks, reinforcement learning, evolutionary computation, and data-driven predictive models. Special emphasis is placed on how intelligent systems can learn from data patterns and improve decision-making processes in uncertain environments. The study also evaluates the role of hybrid optimization models that combine classical mathematical techniques with modern artificial intelligence methods to achieve more flexible and efficient solutions.

In addition, the research highlights the practical implications of machine learning-based optimization in industrial production systems, transportation networks, healthcare analytics, and financial forecasting. The findings demonstrate that the integration of data-oriented learning mechanisms into optimization frameworks can significantly enhance system performance while reducing computational costs and improving adaptability to changing conditions.

The study further argues that interdisciplinary collaboration between mathematics, computer science, and engineering disciplines is essential for the development of future optimization technologies. By exploring recent methodological innovations, this research contributes to the understanding of intelligent optimization systems and provides a theoretical basis for future studies focusing on sustainable and scalable computational solutions.

Keywords: Machine Learning, Mathematical Optimization, Artificial Intelligence, Neural Networks, Computational Modelling

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

MODELING SPATIOTEMPORAL PHENOMENA WITH PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS IN ENVIRONMENTAL SCIENCES

Prof. Dr. Avinash Kumar – Department of Environmental Mathematics, Faculty of Natural Sciences, University of Delhi, India
Dr. Sneha Patil – Institute of Applied Sciences, Savitribai Phule Pune University, India
Assis. Prof. Dr. Kartik Sharma – Department of Computational Physics, School of Science and Technology, Chandigarh University, India
Dr. Deepak Joshi – Centre for Climate and Environmental Research, Banaras Hindu University, India

ABSTRACT

Environmental systems are characterized by continuous spatial and temporal interactions that require advanced mathematical techniques for accurate interpretation and prediction. This study explores the application of partial differential equations in modelling spatiotemporal phenomena within environmental sciences. The increasing complexity of environmental challenges, including climate variability, pollution dispersion, ecosystem dynamics, and water resource management, has created a strong demand for mathematical models capable of representing dynamic natural processes.

The paper discusses the importance of partial differential equations in describing diffusion, transport, and interaction mechanisms observed in environmental systems. Particular attention is given to the modelling of atmospheric changes, heat transfer processes, fluid movement, and ecological interactions across spatial regions and time intervals. The study demonstrates how mathematical equations contribute to the understanding of environmental behaviour by transforming complex physical observations into structured analytical frameworks.

Furthermore, the research examines the interdisciplinary relationship between environmental sciences and computational mathematics. Numerical simulation methods, approximation techniques, and computational modelling tools are evaluated in relation to their ability to improve environmental prediction and policy-oriented analysis. The findings suggest that partial differential equation models can support environmental planning and scientific decision-making by providing more reliable interpretations of evolving ecological conditions.

The study also highlights the growing importance of mathematical modelling in addressing global environmental concerns and promoting sustainable scientific practices. By combining theoretical mathematics with environmental applications, this research contributes to the broader development of interdisciplinary environmental analysis and encourages future investigations into more sophisticated predictive modelling techniques.

Keywords: Partial Differential Equations, Environmental Sciences, Spatiotemporal Modelling, Computational Mathematics, Climate Analysis

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

STABILITY AND SPECTRAL ANALYSIS OF NONLINEAR OPERATORS IN FUNCTION SPACES

Dr. Aisha Al-Harthy
Department of Mathematical Analysis, College of Science, Sultan Qaboos University, Oman
Assis. Prof. Dr. Ahmed Salim
Institute of Advanced Mathematical Studies, University of Nizwa, Oman

ABSTRACT

The study of nonlinear operators in function spaces occupies a central position in modern functional analysis and applied mathematics. This research investigates the stability and spectral properties of nonlinear operators and evaluates their significance in understanding complex mathematical structures. Nonlinear operator theory has become increasingly relevant in the analysis of differential equations, quantum systems, optimization theory, and dynamic mathematical models where classical linear approaches are insufficient for representing real-world complexity.

The paper focuses on the behaviour of nonlinear operators within various function spaces and examines the relationship between spectral characteristics and stability conditions. Particular emphasis is placed on the interpretation of eigenvalue structures, convergence properties, compactness conditions, and perturbation effects in nonlinear analytical frameworks. The study demonstrates that spectral analysis provides valuable insight into the long-term behaviour and structural stability of mathematical systems governed by nonlinear interactions.

In addition, the research discusses the role of operator theory in connecting abstract mathematical concepts with practical scientific applications. Functional analytic methods are evaluated in relation to their capacity to support advanced modelling techniques in physics, engineering, and computational sciences. The findings reveal that the stability analysis of nonlinear operators contributes significantly to the prediction and control of complex systems characterized by sensitive dependence and irregular dynamics.

The study concludes that ongoing developments in nonlinear functional analysis will continue to influence many interdisciplinary research areas. By examining theoretical foundations alongside applied perspectives, this paper offers a comprehensive contribution to the understanding of stability and spectral structures in modern mathematical analysis.

Keywords: Nonlinear Operators, Functional Analysis, Spectral Theory, Stability Analysis, Function Spaces

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

FUZZY LOGIC SYSTEMS AND THEIR APPLICATION IN UNCERTAIN REAL-WORLD DATA MODELLING

Assoc. Prof. Dr. Waleed Al-Lamki – Department of Information Systems, College of Engineering and Technology, Middle East College, Oman
Dr. Sara Al-Rawahi – Institute of Artificial Intelligence and Data Science, Muscat University, Oman

ABSTRACT

Uncertainty and ambiguity are common characteristics of real-world data environments, making traditional binary logic systems insufficient for many contemporary analytical problems. This study examines fuzzy logic systems and their applications in modelling uncertain and imprecise data structures across different scientific and technological domains. Fuzzy logic theory has emerged as an important computational approach because it allows flexible reasoning processes that more closely resemble human decision-making and interpretation.

The paper discusses the theoretical foundations of fuzzy logic systems and explains their role in handling incomplete, uncertain, and linguistically expressed information. Special attention is devoted to fuzzy inference systems, membership functions, rule-based modelling, and intelligent decision-support mechanisms. The study evaluates how fuzzy methodologies can improve modelling accuracy in situations where conventional mathematical models face difficulties due to ambiguity and variability.

Furthermore, the research highlights practical applications of fuzzy logic in engineering systems, healthcare analysis, environmental monitoring, financial evaluation, and artificial intelligence technologies. The findings indicate that fuzzy systems provide adaptable and efficient modelling frameworks capable of supporting decision-making processes under uncertain conditions. The integration of fuzzy logic with machine learning and data analytics is also discussed as an emerging interdisciplinary field with significant future potential.

The study concludes that fuzzy logic continues to play a major role in the development of intelligent computational systems and advanced data interpretation methods. By connecting theoretical concepts with applied modelling practices, this research contributes to the understanding of uncertainty management in modern scientific analysis and encourages further investigation into hybrid intelligent systems.

Keywords: Fuzzy Logic, Data Modelling, Uncertainty Analysis, Intelligent Systems, Artificial Intelligence

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SYMMETRY ANALYSIS IN SOLVING COMPLEX SYSTEMS OF NONLINEAR DIFFERENTIAL EQUATIONS

Dr. Saud Al-Busaidi – Department of Mathematical Physics, College of Science, University of Technology and Applied Sciences, Oman
Assis. Prof. Dr. Maha Al-Kharusi – Institute of Applied Mathematics, Dhofar University, Oman

ABSTRACT

Nonlinear differential equations are widely used in the representation of complex systems across physics, engineering, biology, and applied mathematics. However, solving such equations remains one of the major challenges in mathematical analysis due to their intricate structures and sensitive behaviour. This study investigates the role of symmetry analysis in solving complex systems of nonlinear differential equations and evaluates its effectiveness as a mathematical tool for simplifying analytical processes.

The paper focuses on symmetry-based approaches that allow the transformation of complicated differential systems into more manageable forms through invariant structures and reduction techniques. Particular attention is devoted to Lie symmetry methods, conservation laws, transformation groups, and analytical reduction procedures that support the interpretation of nonlinear mathematical behaviour. The study demonstrates that symmetry analysis can reveal hidden structural relationships within differential systems and contribute to the derivation of exact or approximate solutions.

In addition, the research examines the interdisciplinary applications of nonlinear differential equations in scientific modelling and emphasizes the importance of symmetry methods in improving analytical efficiency. The findings indicate that symmetry-based techniques not only strengthen theoretical mathematical analysis but also support practical problem-solving in areas involving dynamic and nonlinear interactions.

The study further argues that the growing complexity of modern scientific problems requires innovative analytical methodologies capable of bridging abstract mathematical theory with real-world applications. By integrating symmetry analysis with nonlinear mathematical modelling, this research contributes to the advancement of contemporary differential equation studies and encourages further exploration of sophisticated analytical frameworks.

Keywords: Symmetry Analysis, Nonlinear Differential Equations, Lie Symmetry, Mathematical Modelling, Applied Mathematics

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

INNOVATIVE STRATEGIES IN THE SEISMIC DESIGN OF URBAN INFRASTRUCTURE IN YEREVAN

Prof. Dr. Arman Hakobyan
Department of Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, National University of Architecture and Construction of Armenia, Armenia

Assis. Prof. Dr. Lilit Grigoryan
Institute of Structural Engineering and Urban Systems, Faculty of Engineering, Yerevan State University, Armenia

ABSTRACT

Urban regions located in seismic zones require advanced engineering strategies capable of minimizing structural vulnerability while supporting sustainable urban growth. Yerevan, as one of the major urban centers situated in an earthquake-prone region, faces increasing pressure to modernize its infrastructure systems while maintaining resilience against seismic hazards. This study examines innovative approaches in the seismic design of urban infrastructure with particular attention to transportation networks, residential structures, utility systems, and public facilities within Yerevan. The research explores how contemporary engineering technologies, performance-based design principles, and resilient construction methodologies can contribute to safer urban development.

The study emphasizes the importance of integrating local geological characteristics into structural planning and highlights the necessity of multidisciplinary collaboration between engineers, urban planners, and policymakers. Special consideration is given to the role of flexible structural systems, energy-dissipating materials, and digital simulation technologies in improving seismic performance. Furthermore, the research discusses the adaptation of smart monitoring systems capable of providing continuous assessments of infrastructure stability during and after seismic events.

The findings indicate that resilient urban infrastructure cannot rely solely on conventional engineering practices but must incorporate innovative and adaptive strategies that respond to changing environmental and urban conditions. The paper also demonstrates that sustainable seismic design contributes not only to structural safety but also to economic stability and social resilience. The proposed framework may serve as a model for other earthquake-prone cities seeking to modernize infrastructure while reducing disaster risks. Overall, the study underlines the significance of combining technological innovation, regional planning, and sustainable engineering practices in shaping safer urban environments for future generations.

Keywords: Seismic Design, Urban Infrastructure, Earthquake Engineering, Structural Resilience, Sustainable Cities

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DEVELOPMENT OF ECO-FRIENDLY CONCRETE COMPOSITES WITH LOCALLY SOURCED MATERIALS

Prof. Dr. Arman Hakobyan
Department of Civil Engineering, Faculty of Construction Technologies, National Polytechnic University of Armenia, Armenia

Dr. Ani Babayan
Institute of Sustainable Materials and Environmental Engineering, Faculty of Applied Sciences, Yerevan State University, Armenia

Prof. Dr. Gevorg Arakelyan
Department of Structural Materials Engineering, Faculty of Engineering, Russian-Armenian University, Armenia

Assis. Prof. Dr. Sargis Hunanyan
Institute of Environmental Construction Technologies, Faculty of Civil Engineering, National University of Architecture and Construction of Armenia, Armenia

ABSTRACT

The growing environmental concerns associated with conventional construction materials have accelerated the search for sustainable alternatives in the field of civil engineering. Concrete production remains one of the major contributors to environmental degradation due to the extensive consumption of natural resources and energy-intensive manufacturing processes. This study investigates the development of eco-friendly concrete composites produced with locally sourced materials as an alternative approach to sustainable construction practices. The research focuses on the utilization of regional mineral resources, recycled industrial by-products, and environmentally compatible additives capable of enhancing the mechanical and ecological performance of concrete systems.

The study evaluates the potential of locally available materials in reducing transportation costs, minimizing carbon emissions, and supporting regional economic sustainability. Attention is also given to the durability, workability, and long-term structural performance of eco-friendly concrete composites under varying environmental conditions. The research demonstrates that the integration of natural and recycled materials can significantly improve the environmental profile of concrete while maintaining structural reliability suitable for modern construction demands.

In addition, the paper explores how sustainable material innovation contributes to circular economy principles within the construction industry. The findings reveal that environmentally conscious concrete production can create opportunities for resource efficiency and waste reduction without compromising engineering quality. The study further emphasizes the

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

importance of interdisciplinary cooperation between material scientists, environmental engineers, and construction professionals in developing next-generation construction materials.

The proposed framework offers practical insights for engineers, policymakers, and construction industries aiming to adopt sustainable building solutions. Ultimately, the research highlights that eco-friendly concrete composites represent not only an environmental necessity but also a strategic pathway toward resilient and sustainable urban development in rapidly growing regions.

Keywords: Sustainable Construction, Eco-Friendly Concrete, Local Materials, Green Engineering, Environmental Sustainability

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

INTELLIGENT FLOOD MANAGEMENT SYSTEMS FOR URBAN CENTERS IN LAHORE

Prof. Dr. Ahmad Ali
Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Technology, University of the Punjab, Pakistan

Assis. Prof. Dr. Maryam Raza
Institute of Urban Infrastructure and Smart Systems, Faculty of Engineering, Lahore University of Management Sciences, Pakistan

Muhammad Ayub
Department of Water Resources Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Engineering and Technology Lahore, Pakistan

ABSTRACT

Rapid urbanization and climate variability have significantly increased the vulnerability of metropolitan regions to flooding events. Lahore, as one of the largest and fastest-growing urban centers in South Asia, experiences recurring flood-related challenges that threaten infrastructure systems, transportation networks, public health, and economic stability. This study investigates the development and implementation of intelligent flood management systems designed to improve urban resilience through advanced technological integration and sustainable planning approaches.

The research explores the use of smart sensors, geographic information systems, real-time monitoring platforms, and predictive modeling technologies in flood risk assessment and emergency response management. Particular emphasis is placed on the integration of digital infrastructure with urban planning strategies capable of enhancing early warning mechanisms and reducing the social and environmental impacts of flooding. The study also analyzes the importance of data-driven decision-making processes in optimizing drainage systems, managing stormwater flows, and supporting rapid disaster response operations.

The findings demonstrate that intelligent flood management systems provide substantial advantages compared to traditional flood control methods. The adoption of automated monitoring technologies and integrated communication systems improves situational awareness and facilitates more efficient coordination among municipal authorities and emergency services. Furthermore, the research highlights the significance of community engagement and public awareness in strengthening urban preparedness against climate-related disasters.

The study concludes that sustainable flood management requires a multidimensional framework combining engineering innovation, environmental planning, and digital transformation. Such systems not only contribute to disaster mitigation but also promote

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

sustainable urban development and long-term infrastructure resilience. The proposed model offers valuable insights for policymakers and engineers seeking to modernize flood management strategies in rapidly expanding urban environments.

Keywords: Flood Management, Smart Cities, Urban Resilience, Climate Adaptation, Water Infrastructure

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

ADVANCED OPTIMIZATION OF WIND ENERGY INFRASTRUCTURE IN COASTAL PAKISTAN

Dr. Samina Hassan
Department of Renewable Energy Engineering, Faculty of Energy Systems, NED University of Engineering and Technology, Pakistan

Prof. Dr. Tariq Mahmood
Institute of Sustainable Power Technologies, Faculty of Electrical Engineering, COMSATS University Islamabad, Pakistan

Assis. Prof. Dr. Waleed Akhtar
Department of Mechanical and Energy Engineering, Faculty of Engineering, Mehran University of Engineering and Technology, Pakistan

ABSTRACT

The increasing global demand for clean and sustainable energy resources has intensified interest in the optimization of renewable energy infrastructure. Coastal regions of Pakistan possess significant wind energy potential due to favorable climatic and geographical conditions. This study examines advanced optimization strategies for wind energy infrastructure with a focus on improving energy efficiency, operational reliability, and environmental sustainability in coastal Pakistan. The research investigates the role of innovative engineering methods, smart grid integration, and data-driven optimization models in enhancing wind power generation systems.

The study explores site selection methodologies, aerodynamic efficiency improvements, and infrastructure management techniques aimed at maximizing energy production while minimizing environmental and operational challenges. Particular attention is given to the integration of digital monitoring systems capable of supporting predictive maintenance and real-time performance analysis. The research also discusses the economic and environmental implications of expanding wind energy infrastructure within developing energy markets.

The findings reveal that optimized wind energy systems contribute significantly to energy diversification and sustainable economic development. Advanced infrastructure planning and intelligent operational management improve the long-term stability and productivity of renewable energy projects. Additionally, the study highlights the importance of governmental support, regional energy policies, and technological innovation in accelerating the transition toward sustainable power generation.

The research concludes that coastal Pakistan has the potential to become a strategic hub for renewable wind energy development if supported by efficient infrastructure optimization and sustainable planning principles. The proposed framework provides valuable recommendations for engineers, policymakers, and energy planners aiming to strengthen renewable energy capacity while promoting environmental responsibility and regional energy security.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: Wind Energy, Renewable Infrastructure, Sustainable Energy, Coastal Engineering, Energy Optimization

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

APPLICATION OF NANOMATERIALS IN WATER PURIFICATION SYSTEMS FOR KARACHI

Dr. Hina Qureshi
Department of Environmental Engineering, Faculty of Chemical and Process Engineering, University of Karachi, Pakistan

Prof. Dr. Faisal Ahmed
Institute of Water and Environmental Technologies, Faculty of Engineering Sciences, NED University of Engineering and Technology, Pakistan

Assis. Prof. Dr. Usman Khan
Department of Nanotechnology and Advanced Materials, Faculty of Applied Sciences, COMSATS University Islamabad, Pakistan

ABSTRACT

Access to clean and safe water remains one of the most pressing environmental and public health challenges in rapidly urbanizing regions. Karachi, as one of the largest metropolitan cities in South Asia, faces significant water quality concerns caused by industrial pollution, population growth, and inadequate treatment infrastructure. This study investigates the application of nanomaterials in advanced water purification systems with the objective of improving water treatment efficiency and environmental sustainability.

The research focuses on the utilization of engineered nanomaterials capable of removing contaminants, pathogens, and toxic substances from water resources through innovative filtration and adsorption mechanisms. Particular attention is given to the efficiency of nanotechnology-based purification methods in addressing urban water management challenges. The study also examines the environmental compatibility, operational reliability, and long-term sustainability of integrating nanomaterials into municipal water treatment systems.

The findings demonstrate that nanotechnology offers substantial advantages over conventional purification methods due to its enhanced filtration capacity and adaptability to diverse contamination conditions. Advanced nanomaterials contribute to improved water quality, reduced treatment costs, and more efficient resource management. Furthermore, the study highlights the role of interdisciplinary collaboration between environmental scientists, engineers, and policymakers in advancing sustainable water treatment technologies.

The research concludes that the integration of nanotechnology into urban water purification systems has the potential to strengthen public health protection and support sustainable urban development. The proposed framework provides strategic guidance for cities facing increasing environmental pressures and water resource challenges. Ultimately, the study emphasizes the importance of technological innovation in achieving resilient and environmentally responsible water management systems.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: Nanotechnology, Water Purification, Environmental Engineering, Sustainable Water Systems, Urban Infrastructure

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SUSTAINABLE DESIGN OF EMBANKMENT DAMS UNDER ARID CLIMATE CONDITIONS

Dr. Salim Al-Harthy
Department of Civil and Hydraulic Engineering, Faculty of Engineering, Sultan Qaboos University, Oman

Prof. Dr. Fahad Al-Shidhani
Institute of Water Resources and Environmental Systems, Faculty of Engineering and Technology, University of Technology and Applied Sciences, Oman

ABSTRACT

Water resource management represents a critical challenge in arid and semi-arid regions where environmental conditions place increasing pressure on infrastructure systems. Embankment dams play an essential role in water storage, agricultural sustainability, and flood regulation in countries characterized by limited water resources. This study examines sustainable design strategies for embankment dams operating under arid climate conditions with particular focus on environmental adaptability, structural resilience, and long-term operational sustainability.

The research investigates modern engineering approaches aimed at improving the durability and efficiency of dam infrastructure in regions exposed to high temperatures, soil instability, and water scarcity. Particular attention is given to material selection, erosion control mechanisms, seepage management techniques, and environmentally responsive construction methodologies. The study also explores the integration of digital monitoring technologies capable of supporting maintenance planning and operational safety.

The findings demonstrate that sustainable dam design requires a comprehensive understanding of climatic, geological, and hydrological conditions specific to arid environments. The application of advanced engineering techniques contributes significantly to improving infrastructure reliability while minimizing environmental impacts. Furthermore, the research emphasizes the importance of balancing economic development objectives with ecological preservation and responsible resource management.

The study concludes that resilient embankment dam systems are fundamental to sustainable water management and regional development strategies in arid climates. The proposed design framework offers practical recommendations for engineers, environmental planners, and policymakers seeking to enhance infrastructure sustainability under challenging environmental conditions. Ultimately, the research highlights the role of innovation and integrated planning in securing long-term water infrastructure resilience.

Keywords: Embankment Dams, Sustainable Engineering, Water Management, Arid Climate, Hydraulic Infrastructure

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

PERFORMANCE EVALUATION OF SMART TRAFFIC MANAGEMENT TECHNOLOGIES IN MUSCAT

Assis. Prof. Dr. Aisha Al-Balushi
Department of Transportation Engineering, Faculty of Engineering, Sultan Qaboos University, Oman

Dr. Sami Alkindi
Institute of Urban Mobility and Smart Infrastructure, Faculty of Information Technology, Middle East College, Oman

ABSTRACT

Rapid urban growth and increasing vehicle density have intensified transportation challenges in modern cities, creating the need for advanced and sustainable mobility solutions. Muscat, as a rapidly developing urban center, faces growing concerns related to traffic congestion, environmental sustainability, and transportation efficiency. This study evaluates the performance of smart traffic management technologies designed to improve urban mobility and support sustainable transportation systems.

The research examines the application of intelligent transportation systems, digital monitoring technologies, adaptive traffic signal control, and data-driven traffic analysis platforms in urban traffic management. Particular emphasis is placed on the integration of real-time communication systems and artificial intelligence-based decision support mechanisms capable of enhancing traffic flow and reducing transportation inefficiencies. The study also investigates the environmental and social implications of smart mobility technologies in urban planning processes.

The findings indicate that smart traffic management systems contribute significantly to improving transportation efficiency, reducing congestion, and enhancing road safety. Advanced digital infrastructure allows urban authorities to respond more effectively to changing traffic conditions while supporting environmentally sustainable transportation strategies. Furthermore, the research highlights the importance of integrating technological innovation with urban policy development and public transportation planning.

The study concludes that intelligent traffic management technologies represent an essential component of future smart city development. The proposed framework provides valuable insights for engineers, transportation planners, and policymakers aiming to modernize urban mobility infrastructure while promoting sustainability and quality of life in rapidly expanding metropolitan environments.

Keywords: Smart Traffic Systems, Urban Mobility, Intelligent Transportation, Smart Cities, Sustainable Infrastructure

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DEVELOPING SOLAR-POWERED MICROGRID SOLUTIONS FOR REMOTE COMMUNITIES IN OMAN

Prof. Dr. Hamood Al-Rawahi
Department of Electrical and Renewable Energy Engineering, Faculty of Engineering, Sultan Qaboos University, Oman

Dr. Nasser Al-Saadi
Institute of Sustainable Energy Systems, Faculty of Engineering and Applied Sciences, University of Technology and Applied Sciences, Oman

ABSTRACT

The transition toward sustainable and decentralized energy systems has become increasingly important in addressing the energy needs of remote and geographically isolated communities. In Oman, many rural regions experience challenges associated with limited access to stable and environmentally sustainable electricity infrastructure. This study investigates the development of solar-powered microgrid solutions designed to improve energy accessibility, environmental sustainability, and infrastructure resilience in remote communities.

The research explores the integration of photovoltaic technologies, intelligent energy management systems, and decentralized power distribution networks capable of supporting reliable and efficient electricity generation. Particular emphasis is placed on the adaptability of solar-powered microgrids to harsh climatic conditions and geographically dispersed settlement patterns. The study also examines the role of energy storage technologies and smart control systems in maintaining operational stability and improving long-term system performance.

The findings reveal that solar-powered microgrids provide substantial economic and environmental benefits by reducing dependence on conventional fossil fuel-based energy systems. The implementation of decentralized renewable energy infrastructure contributes to energy security, environmental protection, and improved quality of life within underserved communities. Furthermore, the research highlights the significance of governmental policies, community participation, and technological innovation in supporting sustainable rural electrification strategies.

The study concludes that solar-powered microgrids represent a practical and sustainable solution for addressing energy infrastructure challenges in remote regions. The proposed framework offers strategic guidance for engineers, energy planners, and policymakers seeking to expand renewable energy accessibility while promoting sustainable development objectives. Ultimately, the research emphasizes the transformative potential of decentralized solar energy systems in supporting resilient and inclusive energy futures.

Keywords: Solar Energy, Microgrid Systems, Renewable Energy, Rural Electrification, Sustainable Development

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

APPLICATION OF FLEXIBLE ELECTRONICS FOR WEARABLE HEALTH MONITORING SYSTEMS

Nurlan Sarsembayev
Department of Biomedical Engineering, School of Engineering and Digital Sciences, Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan

Dr. Akmaral Yessimova
Institute of Advanced Materials and Smart Technologies, Satbayev University, Kazakhstan

ABSTRACT

Wearable health monitoring technologies have become increasingly important in modern healthcare systems due to their ability to provide continuous physiological data collection and real-time patient assessment. Flexible electronics, which combine lightweight materials with adaptable circuit structures, represent a transformative advancement in the development of wearable medical devices. This study investigates the application of flexible electronic systems in wearable healthcare technologies with particular emphasis on comfort, sensing accuracy, energy efficiency, and long-term usability. The research examines recent developments in flexible substrates, conductive polymers, and bio-compatible materials that allow wearable devices to conform naturally to the human body without limiting mobility or causing discomfort.

The study also discusses the integration of flexible sensors for monitoring heart rate, body temperature, respiration, muscle activity, and blood oxygen levels. These systems enable continuous health observation in both clinical and non-clinical environments, supporting preventive healthcare and personalized medical services. Furthermore, the research evaluates communication mechanisms used in wearable systems, including wireless transmission protocols and cloud-based health data management platforms. Special attention is given to challenges related to signal reliability, device durability, data privacy, and power management.

The findings indicate that flexible electronics significantly improve the practicality and accessibility of wearable monitoring systems while enhancing patient engagement and remote healthcare delivery. In addition, the study highlights the growing role of artificial intelligence in interpreting wearable sensor data for early disease detection and health prediction. Flexible electronic technologies are expected to contribute substantially to future healthcare infrastructures by supporting more adaptive, affordable, and intelligent medical monitoring solutions. The study concludes that interdisciplinary collaboration between electronics engineering, material science, and biomedical research will accelerate the development of next-generation wearable healthcare devices.

Keywords: Flexible Electronics, Wearable Devices, Health Monitoring, Biomedical Sensors, Smart Healthcare

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DESIGN AND PERFORMANCE ANALYSIS OF ENERGY-EFFICIENT INTERNET OF THINGS (IOT) SENSOR NODES FOR SMART AGRICULTURE

Prof. Dr. Timur Zharkenov
Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Nazarbayev University, Kazakhstan

ABSTRACT

Smart agriculture has emerged as an essential technological approach for improving agricultural productivity, environmental sustainability, and resource management. Internet of Things (IoT) sensor networks play a critical role in enabling real-time monitoring of agricultural environments through interconnected sensing devices. This study focuses on the design and performance analysis of energy-efficient IoT sensor nodes developed specifically for smart agriculture applications. The research investigates methods for minimizing energy consumption while maintaining stable communication, reliable sensing performance, and long-term operational capability in agricultural environments.

The study examines the architecture of low-power sensor nodes equipped with environmental monitoring sensors capable of collecting data related to soil moisture, temperature, humidity, and crop conditions. Various communication protocols and energy management strategies are evaluated to determine their effectiveness in reducing power consumption and improving network efficiency. The research also explores adaptive sleep scheduling mechanisms and energy-aware routing approaches that contribute to extending the operational lifetime of distributed sensor systems deployed in remote agricultural areas.

In addition, the paper discusses the importance of renewable energy integration, particularly solar-assisted power systems, in supporting autonomous agricultural sensor networks. The collected sensor data can support farmers in optimizing irrigation practices, reducing water waste, improving crop productivity, and enhancing overall farm management decisions. The findings demonstrate that energy-efficient IoT architectures significantly improve the reliability and sustainability of smart agriculture systems while reducing operational costs.

The study further emphasizes the growing integration of cloud computing and data analytics platforms within precision agriculture applications. By combining intelligent sensing technologies with efficient wireless communication systems, modern agricultural practices can become more adaptive, data-driven, and environmentally responsible. The research concludes that future advancements in low-power electronics and intelligent network optimization will continue to expand the capabilities of smart agricultural infrastructures.

Keywords: Internet of Things, Smart Agriculture, Sensor Networks, Energy Efficiency, Precision Farming

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DEVELOPMENT OF LOW-POWER VLSI ARCHITECTURES FOR AI-ENABLED EDGE COMPUTING DEVICES

Dr. Saifur Rahman
Department of Electronics and Communication Engineering, Faculty of Engineering, University of Dhaka, Bangladesh

Assoc. Prof. Dr. Farhana Parvin
Institute of Information Technology, Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh

Md. Moniruzzaman
Department of Computer Science and Engineering, Chittagong University of Engineering and Technology, Bangladesh

ABSTRACT

The rapid expansion of artificial intelligence applications has increased the demand for efficient edge computing systems capable of processing data locally with minimal energy consumption. Very Large Scale Integration (VLSI) architectures play a fundamental role in enabling compact and high-performance hardware solutions for AI-enabled edge devices. This study investigates the development of low-power VLSI architectures designed to support artificial intelligence workloads in resource-constrained computing environments. The research focuses on optimizing power efficiency, computational performance, and hardware scalability for next-generation intelligent systems.

The study analyzes architectural techniques used to reduce energy consumption in AI processing units, including optimized data paths, memory-efficient circuit structures, and adaptive voltage management strategies. The proposed approaches aim to support machine learning inference tasks while maintaining acceptable processing speed and system reliability. The research also evaluates the role of hardware acceleration techniques in improving the execution efficiency of neural network operations commonly used in image recognition, sensor processing, and autonomous decision-making applications.

Furthermore, the paper discusses the increasing importance of edge computing technologies in reducing communication latency and enhancing data privacy. AI-enabled edge devices can process information directly at the source, minimizing dependence on centralized cloud infrastructures. This capability is especially valuable in applications such as smart healthcare, industrial automation, intelligent transportation systems, and environmental monitoring. The study demonstrates that low-power VLSI solutions significantly contribute to extending battery life and improving operational stability in portable intelligent devices.

The findings indicate that integrating energy-aware VLSI design methodologies with artificial intelligence accelerators can create more efficient and scalable computing platforms for future

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

digital ecosystems. The research concludes that continued advancements in semiconductor technologies and circuit optimization techniques will support the development of sustainable and high-performance AI edge computing architectures capable of meeting the growing demands of intelligent applications.

Keywords: VLSI Architecture, Edge Computing, Artificial Intelligence, Low-Power Design, Hardware Acceleration

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

INTELLIGENT SMART GRID CONTROL USING DEEP LEARNING ALGORITHMS FOR POWER DISTRIBUTION OPTIMIZATION

Prof. Dr. Nasima Akter
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Technology, North South University, Bangladesh

Assis. Prof. Dr. Tarik Hasan
Institute of Energy Systems and Sustainable Technologies, Islamic University of Technology, Bangladesh

ABSTRACT

The modernization of electrical power systems has accelerated the adoption of intelligent smart grid technologies capable of improving energy efficiency, operational reliability, and distribution management. Deep learning algorithms have recently emerged as powerful tools for optimizing complex energy distribution networks due to their ability to analyze large-scale data and identify dynamic system patterns. This study explores the application of deep learning-based intelligent control systems for power distribution optimization within modern smart grid infrastructures.

The research investigates the integration of artificial intelligence models into power management systems for demand forecasting, fault detection, load balancing, and energy consumption analysis. By utilizing advanced learning algorithms, smart grid systems can adapt to changing energy requirements and improve the stability of power distribution networks. The study also examines the effectiveness of intelligent monitoring platforms that continuously evaluate grid performance and support predictive maintenance strategies.

Furthermore, the paper discusses the growing importance of renewable energy integration within smart grid environments. As renewable energy sources introduce variability into power systems, intelligent control mechanisms become essential for maintaining network stability and efficient energy allocation. Deep learning techniques enable the analysis of complex operational conditions and support real-time decision-making processes in distributed energy networks. The findings demonstrate that AI-driven smart grid systems can reduce energy losses, improve operational flexibility, and enhance the reliability of electricity distribution infrastructures.

The study additionally highlights the significance of cybersecurity and data management in intelligent energy systems. Secure communication protocols and reliable data analytics frameworks are necessary to support large-scale smart grid operations. The research concludes that deep learning technologies will continue to play an increasingly important role in the transformation of future energy systems by enabling more adaptive, sustainable, and intelligent power distribution strategies.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: Smart Grid, Deep Learning, Power Distribution, Energy Optimization, Intelligent Energy Systems

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

RECONFIGURABLE ANTENNA DESIGN FOR MILLIMETER WAVE 5G COMMUNICATION APPLICATIONS

Assoc. Prof. Dr. Alvin Lim
Department of Electrical and Electronic Engineering, Faculty of Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia

Kai Yee Tan
Wireless Communication Research Laboratory, Multimedia University, Malaysia

Rachel Liew
Institute of Microelectronics and Communication Systems, Universiti Sains Malaysia, Malaysia

ABSTRACT

The development of fifth-generation wireless communication systems has created increasing demand for advanced antenna technologies capable of supporting high-speed data transmission, reduced latency, and improved network reliability. Reconfigurable antennas have emerged as an effective solution for millimeter wave communication systems due to their adaptability and enhanced spectral efficiency. This study investigates the design and performance characteristics of reconfigurable antennas developed for millimeter wave 5G communication applications.

The research focuses on antenna structures capable of dynamically modifying operating frequency, radiation pattern, and polarization characteristics according to communication requirements. Different reconfiguration techniques, including electronic switching and adaptive control mechanisms, are evaluated in terms of operational flexibility and communication performance. The study also examines the influence of antenna geometry and substrate materials on signal propagation efficiency within high-frequency communication environments.

Furthermore, the paper discusses the significance of millimeter wave technology in supporting modern wireless communication infrastructures. Millimeter wave frequencies provide broader bandwidth capabilities that enable faster data transfer and improved network capacity for applications such as autonomous transportation, smart cities, industrial automation, and immersive digital communication systems. However, signal attenuation and environmental interference remain major technical challenges in millimeter wave propagation. Reconfigurable antenna systems help address these limitations by improving directional control and communication adaptability.

The findings indicate that advanced reconfigurable antenna designs can significantly enhance the reliability and efficiency of 5G communication systems while supporting flexible wireless connectivity. The research also emphasizes the importance of integrating intelligent optimization methods and compact antenna architectures into future communication

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

technologies. The study concludes that reconfigurable antenna systems will remain a key component in the evolution of next-generation wireless communication networks and advanced digital infrastructures.

Keywords: Reconfigurable Antenna, 5G Communication, Millimeter Wave, Wireless Networks, Antenna Engineering

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

SILICON PHOTONICS INTEGRATED CIRCUITS FOR ULTRA-FAST OPTICAL TELECOM NETWORKS

Dr. Wei Ming Tan
Department of Photonics Engineering, Faculty of Electrical Engineering, National University of Singapore, Singapore

Prof. Dr. Siang Hwa Tan
Institute of Optical Communication and Advanced Microelectronics, Nanyang Technological University, Singapore

ABSTRACT

The increasing demand for high-speed digital communication services has accelerated the development of advanced optical telecommunication technologies capable of supporting large-scale data transmission with minimal latency. Silicon photonics integrated circuits have emerged as a promising solution for ultra-fast optical communication systems by combining photonic and electronic functionalities within compact semiconductor platforms. This study examines the role of silicon photonics integrated circuits in improving the efficiency and scalability of modern optical telecom networks.

The research investigates the design principles and operational characteristics of silicon-based photonic devices used for optical signal generation, transmission, modulation, and detection. The integration of photonic components into semiconductor architectures enables higher data processing speeds while reducing energy consumption and manufacturing complexity. The study also explores the advantages of silicon photonics in supporting dense communication networks required for cloud computing infrastructures, data centers, and next-generation internet services.

In addition, the paper evaluates challenges related to signal interference, thermal stability, and fabrication precision in photonic integrated systems. Advanced waveguide structures and optical modulation techniques are analyzed to improve communication quality and transmission reliability. The findings indicate that silicon photonics technologies significantly enhance bandwidth capacity while supporting compact and cost-effective communication infrastructures.

The study further highlights the growing importance of optical communication technologies in supporting emerging applications such as artificial intelligence, high-performance computing, and large-scale digital services. Silicon photonics integrated circuits provide opportunities for faster information exchange and more sustainable communication systems. The research concludes that continued advancements in photonic integration and semiconductor manufacturing will contribute substantially to the future development of ultra-fast and energy-efficient optical telecommunication networks.

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

Keywords: Silicon Photonics, Optical Networks, Integrated Circuits, Telecommunications, High-Speed Communication

ISBN NR: 978-625-8795-05-9

DEVELOPMENT OF GRAPHENE-BASED NANOELECTRONIC DEVICES FOR NEXT-GENERATION SENSORS

Dr. Rania Bouzid ,Prof. Dr. Mourad Benamara, Assoc. Prof. Dr. Samir Bensaid Farida Lazreg, Dr. Ahmed Yacine
Department of Microelectronics and Semiconductor Technologies, University of Sfax, Tunisia

ABSTRACT

Graphene-based nanoelectronic technologies have attracted significant attention due to their exceptional electrical, mechanical, and thermal properties, which make them highly suitable for advanced sensing applications. Graphene materials offer remarkable conductivity, flexibility, and sensitivity, enabling the development of next-generation nanoelectronic sensor systems with improved operational performance. This study investigates the development and application of graphene-based nanoelectronic devices designed for modern sensing technologies.

The research examines the structural characteristics of graphene materials and their influence on sensor sensitivity, signal stability, and energy efficiency. Various fabrication approaches and nanoengineering techniques are analyzed to evaluate their effectiveness in producing reliable and scalable graphene-based electronic devices. The study particularly focuses on the use of graphene sensors in environmental monitoring, biomedical diagnostics, industrial automation, and intelligent wearable systems.

Furthermore, the paper discusses the advantages of graphene-based nanostructures in detecting chemical, biological, and physical changes with high precision. Due to their ultra-thin structure and excellent conductivity, graphene sensors can achieve rapid response times and enhanced detection capabilities compared to conventional sensing technologies. The study also explores current challenges related to large-scale manufacturing, material stability, and integration with existing semiconductor systems.

The findings demonstrate that graphene-based nanoelectronic devices possess strong potential for transforming future sensor technologies through improved miniaturization, operational flexibility, and sensing accuracy. In addition, the research highlights the growing role of interdisciplinary collaboration between nanotechnology, electronics engineering, and material science in accelerating innovation within advanced sensor development. The study concludes that graphene nanoelectronics will become increasingly important in supporting intelligent technologies and sustainable digital infrastructures in the coming years.

Keywords: Graphene, Nanoelectronics, Advanced Sensors, Nanotechnology, Semiconductor Devices