



Bitlis Eren Üniversitesi
Fen Bilimleri Dergisi

Bitlis Eren University
Journal of Science

ISSN : 2147-3129
e-ISSN : 2147-3188

Cilt / Volume: 11

Sayı / Number: 1

Yıl / Year: 2022

Yazışma Adresi

Bitlis Eren Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE
Tel: 0 (434) 2220071

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlisfen>



BEU FBD

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi

Bitlis Eren University Journal of Science

Yıl/Year: 2022 - Cilt/Volume: 11 - Sayı/Number: 1

Sahibi / Owner

Prof. Dr. Necmettin ELMASTAŞ

Sorumlu Müdür / Director

Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL

Baş Editör / Editor in Chief

Dr. Öğr. Üyesi Ufuk KAYA

Editörler / Editors

Dr. Öğr. Üyesi Yunus SAYAN

Dr. Öğr. Üyesi Nuray YAVUZKANAT

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AVCIL

Arş. Gör. Dr. Mehmet Akif YERLİKAYA

Dil Editörleri / Language Editors

Dr. Öğr. Üyesi Murat PARLAKPINAR (Türkçe)

Öğr. Gör. Murat ÇAN (İngilizce)

Dizgi / Typographic

Arş. Gör. Dr. Yaprak DERİCİOĞLU

Arş. Gör. Neslihan SEL ÖZBEY

Dergi Sekreteri / Journal Secretary

Ahmet UĞUR

Editör (Yayın) Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Zekeriya YERLİKAYA	Kastamonu Üniversitesi
Doç. Dr. Ali ÇAKMAK	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Engin YILMAZ	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Kesran AKIN	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Tuncay TUNÇ	Mersin Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşegül Demir YETİŞ	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Ramazan KATIRCI	Sivas Bilim ve Teknoloji Üniversitesi
Dr. Sajad KHORSANDROO	North Carolina Agricultural and Technical State University
Dr. Öğr. Üyesi Zehra Nur KULUÖZTÜRK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Halil YETGİN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erdal AKIN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Faruk ORAL	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Necla ÖZDEMİR	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Nadjet LAOUE	Constantine 1 University
Arş. Gör. Dr. İsmet SÖYLEMEZ	Abdullah Gül Üniversitesi

Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Atilla ARSLAN	Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Nurtaç ÖZ	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Saim ÖZDEMİR	Sakarya Üniversitesi
Prof. Dr. Soner ÖZGEN	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Hasan SEVGİLİ	Ordu Üniversitesi
Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA	Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Esvet AKBAŞ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Mikail ET	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Özdemir ADIZEL	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Orhan Taner CAN	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Bayram GÜNDÜZ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Doç. Dr. Sait İZGİ	Siirt Üniversitesi
Doç. Dr. Murat ÇELTEK	Trakya Üniversitesi
Doç. Dr. Cem KOŞAR	Gaziantep Üniversitesi
Doç. Dr. Tarkan YORULMAZ	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI	Batman Üniversitesi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, mühendislik ve temel bilimler alanlarındaki gelişmeleri ve yenilikleri takip etmek, meslek kuruluşlarının, araştırmacıların ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda elektronik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Fen Bilimleri Dergisi, Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü yayını olup, 2012 yılından bu yana ücretsiz ve açık erişimli olarak yayın hayatına devam etmektedir. Mühendislik ve temel bilimlerin bilgi tabanına ve teknolojik gelişmelere ışık tutması amacıyla bu alanlarda yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan özgün araştırma makalelerine yer verilmektedir. Dergiye gönderilen çalışmaların benzerlik oranı %15'i geçmemelidir. Yazım kurallarına uymayan makaleler, hakemlere gönderilmeden önce düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir. Bu nedenle, derginin yazım kuralları dikkate alınmalıdır. Ayrıca, editörlerden yazarlara iletilen düzeltmelere veya taleplere 30 gün içerisinde cevap verilmediği takdirde ilgili makaleler reddedilir. Makaleler şekiller ve tablolar dâhil 20 sayfayı geçmemelidir. Dergiye yayın için gönderilen makaleler en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Yazarlardan hakem önerisi talep edilmemektedir. Makalelerin dergide yayımlanabilmesi için hakemler tarafından olumlu görüş bildirilmesi gerekmektedir. Dergi Editör Kurulu, hakem raporlarını (*en aziki hakemin değerlendirmeleri geldikten sonra*) dikkate alarak makalelerin yayımlanmak üzere kabul edilip edilmemesine karar verir. Fen Bilimleri Dergisi, yılda dört defa (*Mart, Haziran, Eylül, Aralık*) yayımlanmaktadır. **Dergimiz Tübitak-Ulakbim Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı Dergi Listesinde taranmaktadır.**

B.E.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 11(1), 2022 / B.E.U. Journal of Science 11(1), 2022
İÇİNDEKİLER / CONTENTS

1. **Android based Mobile Application Software for Foreign Language Learning in Vocational Higher Schools: Vocational English** 1-12
V. Sözeri, C. Harmanşah, V. Usanmaz
2. **Determining the Renewable Energy System Cost of an Apartment Using HOMER Pro** 13-20
M. Yalılı Kılıç, S. Adalı
3. **Examination of the Production Technique Specified in TS EN 196-1 Standard** 21-28
Y. T. Altuncı, C. Öcal
4. **Sigmoid-Gumbel: A New Hybrid Activation Function** 29-45
M. Kaytan, İ. B. Aydılek, C. Yeroğlu, A. Karıcı
5. **Directional Energy Functionals Through Anholonomic Coordinates** 46-60
R. C. Demirkol
6. **Effect of Heat Treatment on Interface and Mechanical Properties of AISI 430/AI 1050/AISI 304 Layered Composites Joined by Rolling** 61-70
H. Demirtaş, A. İncesu
7. **Combined Effect of Cryogenic and Aging Treatments on Wear Behavior of Ti-6Al-4V α/β Alloy for Biomedical Applications** 71-78
N. Yumak
8. **Condition Factor, Length-Weight and Length-Length Relationships of *Capoeta banarescui* living in Kurtuluş Stream (Perşembe-Ordu)** 79-87
D. Bostancı, S. Yedier, N. Polat
9. **Fall Detection Using Unsupervised Anomaly Detection Approach** 88-98
A. T. Sözer
10. **Hydrogen Production from Sawdust Pyrolysis Catalysed by TiO₂ Impregnated Al₂O₃ Nanoparticles** 99-105
S. Kaskun Ergani
11. **Analysis of Relations Between Countries Based on News** 106-118
B. Diri, A. B. Uzun, A. Özer
12. **Dynamic Analysis of Yedikardeş Bastion** 119-130
R. İzgi Yöntem, M. E. Öncü, M. Cebe
13. **Bioecology of *Nannospalax xanthodon* (Nordmann, 1840) in Bitlis Province (Mammalia: Rodentia)** 131-139
K. Toyran, E. Şengül
14. **Seismic Assessment of Damaged Buildings after 24 January 2020 Elazığ Earthquake** 140-155
R. A. Oyguc
15. **Determining of Biological Activity of *Stachys macrantha* (K.Koch) Stearn** 156-163
K. Özcan, T. Acet
16. **Detection of Mammographic Mass Class with Machine Learning Techniques** 164-175
Ö. Eriş, S. Bulut Eriş, M. R. Bozkurt
17. **Organic Barley and Wheat Production Forecast: The Case of Ağrı Province** 176-184
A. N. Şahin Demirel

18. **Investigation of The Gelation Properties of *L*-Isoleucine Based Chiral Amide** 185-193
D. Barış Cebe
19. **Comparison with Classification of 1D and 2D Signals for Neonatal Seizure Detection Using Convolutional Neural Network EEG Signals** 194-202
M. Açıkoğlu, S. Arslan Tuncer
20. **Detection of Disease of Rice Plant with Convolutional Neural Network** 203-217
İ. Ökten, U. Yüzgeç
21. **Comparison of Bioactive Compounds, Antioxidant, Antibacterial and Mutagenic Features of Different *Crataegus* Species Grown in Elazığ** 218-226
Z. T. Murathan, N. Erbil, M. Arslan
22. **Factors Associated with Match Result and Number of Goals Scored and Conceded in the English Premier League** 227-236
G. Bilek, B. Aygün
23. **Evaluation of Genetic Diversity and Population Structure of Some *Paratanytarsus dissimilis* (Diptera: Chironomidae) Populations in Turkey** 237-248
A. Sarı
24. **Evaluation of Global Food Security Index Indicators with 2020 COVID-19 Period Data and Country Comparisons** 249-268
G. Özkaya, G. Uçak Özkaya
25. **Physical and Mechanical Properties of Mortars Containing Polypropylene Fiber Reinforced Pumice Powder** 269-277
A. Coşkun, A. Sarıışık
26. **Digital Forensic Analysis of Wallpop Application on Android Operating System** 278-293
E. İpek, E. Akbal
27. **Spinor Q-Equations in Lorentzian 3-space \mathbb{E}_1^3** 294-300
D. Ünal
28. **Failure-Based Maintenance Planning Using Bayesian Networks: A Case Study Hydraulic Turbine** 301-312
G. Kahraman, M. Yücesan
29. **The Effect of Nitrogen / Phosphorus (N/F) Ratio on Nitrate Removal in Sulfur Based Mixotrophic Denitrification Process** 313-321
A. Öztürk
30. **Numerical Modelling of Anti-icing System on Underground Car Park Road Surfaces Using Hydronic Heating Pavement** 322-334
N. Kayacı
31. **On Delta Sets of Some Pseudo-Symmetric Numerical Semigroups with Embedding Dimension Three** 335-343
M. Süer, Ö. Çelik
32. **Effects of Lattice Frequency on Vacancy Defect Solitons in a Medium with Quadratic Nonlinear Response** 344-351
M. Bağcı

33. **Classification of Citrus Diseases with Convolutional Neural Network Based Deep Learning Model** 352-368
H. Çetiner, İ. Çetiner
34. **Designing and Manufacturing of a Creep Testing Machine** 369-376
Ö. Karabey, A. Akkuş
35. **Determination of Preferences and Priorities of Traditional Housing Users in Kilis Urban Protected Area** 377-389
S. Taşçıoğlu
36. **Correction to: Effect of Combustion Chamber Elements on the Cr3C2 Coated Exhaust Pipe of a Boron-Coated Diesel Engine** 390-392
New title: The Effect of a Coated Diesel Engine on Combustion Chamber Elements on Exhaust Pipe with Cr3C2 Coating
S. Şap, H. Hazar, E. Şap
-



Meslek Yüksekokullarında Yabancı Dil Öğrenimi için Android Tabanlı Mobil Uygulama Yazılımı: Vocational English

Volkan SÖZERİ¹, Coşkun HARMANŞAH^{1*}, Volkan USANMAZ¹

¹Ege Üniversitesi, Ege Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Programcılığı, 35100, İzmir

(ORCID: [0000-0002-8454-9388](https://orcid.org/0000-0002-8454-9388)) (ORCID: [0000-0003-4946-8344](https://orcid.org/0000-0003-4946-8344)) (ORCID: [0000-0002-0794-3082](https://orcid.org/0000-0002-0794-3082))



Anahtar Kelimeler: Mobil yabancı dil öğrenme yazılımı, Bireysel yabancı dil öğrenme, Android.

Öz

Uzaktan eğitim ve e-öğrenmenin ortak bir sonucu olan mobil öğrenme, öğrenenin eğitim içeriğine zaman ve mekandan bağımsız erişebildiği hızlı bir öğrenme şeklidir. Eğitimde, mobil öğrenmenin öne çıktığı ve yoğun olarak kullanıldığı alanlardan biri de yabancı dil eğitimidir. Bu çalışmada, Meslek Yüksekokullarının eğitim planlarında yer alan Yabancı Dil ve Mesleki Yabancı Dil derslerini ayrıca bireysel yabancı dil öğrenimini desteklemek amacıyla Vocational English mobil uygulaması geliştirilmiştir. Uygulamayı kullananlara, birden fazla yabancı dil becerisini kazandırmak için mobil uygulamada her konu içerisinde metin temelli açıklamalar, örnekler ve sesli anlatım araçları bulunmaktadır. Mobil uygulamanın değerlendirilmesi ve yabancı dil öğrenimine etkisini ortaya çıkarmak amacıyla meslek yüksekokulu öğrencilerine bir anket uygulanmıştır. Anket sonuçları, geliştirilen mobil uygulamayı kullanan öğrencilerin; konu anlatım, örnek açıklamalar ve test modüllerin değerlendirilmesine yönelik anket sorularına ortalama %70 oranında ve uygulamanın amacına uygun hazırlandığına yönelik soruya %86 oranında olumlu görüş bildirdiklerini ortaya koymaktadır.

Android based Mobile Application Software for Foreign Language Learning in Vocational Higher Schools: Vocational English

Keywords: Mobile foreign language learning software, Self-study foreign language learning, Android.

Abstract

Mobile learning is a common result of distance education and e-learning, which the learner can access learning content regardless of time and place. Foreign Language education has an intensively used and grants a prior rank in distance learning. A Vocational English mobile application was developed in order to support the Foreign Language, Vocational Foreign Language courses included in the education plan of Vocational Schools as well as individual foreign language learning. In order to gain more skills to the learners, there are text-based with explanations, examples and audio narration tools within each subject in the mobile application. A questionnaire survey is conducted with the students at Higher Vocational School to examine and to evaluate for mobile application and its effects of learning of foreign language. The results of the survey, the %70 of students using this mobile application answered that the test modules, the topics and the examples are appropriate and %86 expressed the application is prepared in accordance with the purpose.

*Sorumlu yazar: coskun.harmansah@ege.edu.tr

Geliş Tarihi: 04.12.2020, Kabul Tarihi: 15.12.2021

1. Giriş

Bilgisayar destekli öğretim (BDÖ) kapsamında geliştirilen eğitim-öğretim yazılımları öğretim sürecini desteklemekte, öğrenenin motivasyonunu güçlendirmekte ve dolayısıyla öğrenme hızını artırmaktadır. 2000'li yıllarda bilişim alanında yaşanan gelişmeler ile teknoloji destekli öğrenmenin (TDÖ) okul ve öğretmen merkezli eğitim-öğretim faaliyetleri üzerindeki etkileri önemli değişimlere yol açmış ve farklı öğrenme modelleri ortaya çıkmıştır [1-4]. Teknoloji destekli öğrenme ortamları öğrenenlerin değişen koşullara uyum becerilerini geliştirmelerine ve öğrenmelerine katkı sağlamaktadır. Bu süreçte bilgisayar destekli öğretimde eğitimin farklı alanları ve düzeyleri için çok sayıda masaüstü eğitim yazılımı geliştirilirken internet teknolojilerinin uygulama alanlarının artması ile web tabanlı eğitim yazılımları geliştirilmeye başlanmıştır. Aynı zamanda, mobil aygıtlar günlük hayat içerisinde yer almaya başlamış ve hızla yaygınlaşmıştır. Bu durum mobil aygıtları tahmin edilenin ötesinde hemen her alanda yürütülen faaliyetlerin önemli bir bileşeni haline getirmiştir. Yaşanan bu değişim ve dönüşüm mobil öğrenme (Mobile Learning, M-Learning) kavramının ortaya çıkmasını sağlamıştır [5-10]. Bu dönüşüm mevcut eğitim-öğretim faaliyetlerine doğrudan veya dolaylı olarak yansarak öğretmen, öğrenen, öğrenme süreci kavramlarına yeni anlamlar katmış, öğretmen ve öğrenen açısından beklentilerin değişmesine neden olmuştur. Mobil öğrenme, uzaktan eğitim ve e-öğrenmenin ortak bir sonucu olup öğrenenin eğitim içeriğine zaman ve mekandan bağımsız erişebildiği hızlı bir öğrenme şeklidir. Bu bağlamda, eğitim-öğretim faaliyetleri ve eğitim yazılımları açısından mobil aygıtlar önemli rol oynamaktadır [8, 11-17].

Son on yılda, eğitim yazılımları alanında mevcut masaüstü ve web tabanlı yazılımlar mobil cihazlara uyarlanmıştır ve mobil aygıtlar için geliştirilen uygulama sayısı hızla artmaktadır [9, 18-20]. Wu ve arkadaşları [21] mobil aygıtların kullanıldığı öğrenme aktivitelerine ilişkin yaptıkları çalışmada, yükseköğretimde bilimsel yayın sayısının 2006 yılında 1 iken 2010 yılında sayının 50 olduğunu ortaya koymuşlardır. Aynı çalışmada ilköğretimde mobil aygıtların kullanıldığı öğrenme aktivitelerine ilişkin bilimsel yayın sayısının 2009 yılında 2 iken 2010 yılında 26 olduğu görülmektedir. Günümüzde formal

eğitimde; fen ve edebiyat, sosyal bilimler, mühendislik, eğitim bilimleri ve iletişim alanlarında, aynı zamanda non-formal eğitimde de kişisel ve mesleki gelişim amacıyla farklı meslekler için mobil öğrenme kapsamında geliştirilen mobil eğitim uygulamaları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Farklı eğitim düzeylerinde çeşitli disiplinler için ders materyali veya bireysel öğrenmeyi desteklemek amacıyla mobil uygulamalar geliştirilmekte ve bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Aktaş ve arkadaşları [22] yaptıkları çalışmada, ilköğretim düzeyinde doğal sayılarda dört işleme yönelik geliştirdikleri mobil uygulamanın, öğrencilerin tahmin etme ve zihinden işlem yapma becerilerine olumlu etkilerini ortaya koymuşlardır. Öğrencilerin mobil uygulamaya yönelik olumlu tutum sergiledikleri, işlem yapma hızlarının ve derse karşı olan ilgi ve motivasyonlarının arttığına yönelik bulgular elde etmişlerdir. Bunun doğal bir sonucu olarak mobil uygulamanın kalıcı öğrenmeye katkı verdiği görülmüştür. Literatürdeki diğer bir çalışmada, organik kimya dersine ait seçilen bazı kavramların öğretiminde kullanılmak üzere lise öğrencilerine yönelik mobil bir uygulama geliştirilmiştir. Etkileşimli çizim aracına sahip bir mobil uygulama aracılığı ile öğrencilerin uzamsal yeteneklerinin geliştirilmesi hedeflenmiştir [23]. Bu uygulamayı kullanan öğrencilerin %90'ı, uygulamanın ders ile ilgili kavramların anlaşılmasına olumlu yönde katkı sağladığını belirtmişlerdir. Önlisans düzeyinde yapılan bir çalışmada ise; Solmaz ve arkadaşları [24], Grafik Animasyon 1 dersi için oyunlaştırma temelli öğretime dayalı olarak Pixofun tarafından geliştirilen QuizGame mobil uygulamasına, ders konusunda uzman görüşleri dikkate alınarak, derse ait sorular eklenmiş ve öğrencilerin uygulamaya yönelik görüşleri değerlendirilmiştir. Burada gittikçe yaygınlaşan mobil uygulamalarda öğrenme süreci ve öğrencinin derse karşı motivasyonu üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, mobil uygulama üzerinden, eğitimin sunulmasının rekabet ortamı oluşturduğu, öğrenciler tarafından ilginç ve dikkat çekici bulunduğu ve derse karşı motivasyon bakımından da olumlu etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır. Lisans düzeyinde yapılan bir çalışmada ise; bilgisayar bilimlerindeki derslere ait konu ve kavramları desteklemek ve öğrenme sürecini iyileştirmek amacıyla Utku ve arkadaşları [25] mobil bir uygulama geliştirmişlerdir. Öğrenciler, mobil uygulama ile ders içeriğindeki bilgilerini geliştirmek amacıyla üç boyutlu animasyonları, videoları ve artırılmış gerçeklik araçlarını kullanmıştır. Böylece,

öğrencilerin mobil uygulamanın sağladığı avantajları kullanarak sanal ve gerçek ortam arasındaki etkileşimler ile etkili bir öğrenme deneyimine sahip olmaları hedeflenmiştir. Elde edilen bulgular, öğrencilerin öğrenme süreçlerini etkin ve yüksek bir performans ile desteklediğini ve mobil uygulamanın diğer yaklaşımlara göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Eğitimde, mobil öğrenmenin öne çıktığı alanlardan biri de yabancı dil eğitimidir. Mobil cihazların okul ve okul dışı alanlarda kullanılabilirliği, bireysel öğrenmeyi destekleyici olması ve öğretmen merkezli öğretimi öğrenci merkezli öğrenmeye dönüştürme yeteneği gibi özellikleri mobil öğrenmenin sunduğu önemli avantajlardandır. Mobil cihaz destekli dil öğrenimi (Mobile Device Assisted Language Learning - MALL) yeni bir araştırma konusu olarak dil öğrenme ve öğretme süreçlerini bir araya getirmektedir [26]. Yabancı dil öğretimi için geliştirilen yazılımlar özellikle öğretim sürecini destekleyerek, öğrenen kişinin motivasyonunu ve dolayısıyla başarısını artırmaktadır [27, 28].

Yabancı dil öğrenme; dilbilgisi, okuma ve kelime bilgisi, yazma ve konuşma becerilerinin kazanılması veya edinilmesi süreci olarak tanımlanmaktadır [29-31]. Yabancı dil öğrenme becerileri birbirleri ile ilişkili olmakla birlikte ayrı süreçler içerdiğinden yazılım geliştiriciler bu becerilerin edinimleri için farklı türde yazılımlar tasarlamaktadır. Bu noktada bazı mobil uygulamalar bir beceriyi geliştirme odaklı iken bazıları ise birden fazla beceriyi geliştirmeye odaklanmıştır. Birden fazla beceriyi geliştirmeyi hedefleyen yazılımların, bir beceriyi geliştirmeye hedefleyen yazılımlardan daha olumlu etkileri olmaktadır [26]. Geliştirilen mobil uygulamaların bir kısmı yabancı dil öğretiminde bir ders materyali olarak, bir kısmı ise bireysel yabancı dil öğrenmeyi destekleyici araçlar olarak kullanılmaktadır. Mobil cihaz destekli dil öğrenimi sürecinde dilbilgisi öğreniminde [32], okuma ve kelime bilgisi [33-35], yazma [36, 37], konuşma [38] becerilerinin edinimi amacıyla çok sayıda mobil uygulama geliştirilmiş, kullanımı ve öğrenen kişi açısından etkileri araştırılmıştır. Literatürde yapılan bir çalışmada, Çevik ve Koçer [39] tarafından geliştirilen mobil tabanlı yabancı dilde kelime öğrenme uygulaması ile kullanıcının seçimine göre belirli periyotlarda veya sürekli olarak, kullanıcıya uygulama

veritabanı içerisinden rastgele seçilen yabancı dilde kelimenin Türkçe karşılığını yada Türkçe kelimenin yabancı dildeki karşılığı sorulmaktadır. Mobil uygulama ile çoktan seçmeli veya yazılı soru türünde sorular oluşturulabilmektedir. Kullanıcının mobil uygulamanın veritabanına erişerek kelime düzenleme (ekleme, silme, değiştirme) seçenekleri bulunmaktadır. Böylece, yabancı dil öğreniminin önemli becerilerinden birisi olan kelime bilgisinin kazanılması hedeflenmiştir.

Mobil cihaz destekli bireysel dil öğrenmeyi desteklemek amacıyla mobil uygulama marketlerinde (AppStore, Playstore vb) sözlük, dilbilgisi, okuma, yazma ve konuşma becerilerini geliştirmeye yönelik farklı birçok uygulama bulunmaktadır. Mobil uygulama marketlerinde eğitim kategorisinde yer alan uygulamalar içerisinde dil öğrenimine yönelik uygulamalar fazla sayıda yer almaktadır. Literatürde ise bireysel yabancı dil öğrenmeyi desteklemek üzere araştırmacılar; dilbilgisi, okuma ve kelime bilgisi, yazma ve konuşma becerilerinin kazanılması başlıklarını dikkate alarak çeşitli mobil uygulamalar geliştirmişlerdir. Yapılan literatür araştırması sonucunda meslek yüksekokullarının eğitim planlarında bulunan Yabancı Dil ve Mesleki Yabancı Dil derslerini desteklemek amacıyla Vocational English mobil uygulaması tasarlanmış ve bu doğrultuda geliştirilmiştir. Literatürde araştırmacılar tarafından geliştirilen mobil uygulamalar ile Vocational English uygulaması kullanım ve içerik özelliklerine göre Tablo 1'de karşılaştırılmıştır.

Geliştirilen Vocational English mobil uygulaması Konu ve Quiz olmak üzere iki modülden oluşmaktadır. Konular modülünde her konu içerisinde metin temelli açıklamalar, örnekler ve sesli anlatım araçları bulunmaktadır. Öğrencilerin birden çok duyusuna hitap eden uygulamaların kullanılması öğrenmeyi desteklemekte ve dolayısıyla dil öğretimini kolaylaştırmaktadır. İyi tasarlanmış, birden çok duyuya hitap eden yazılımlar dil öğretimini destekler ve öğrenmenin kalıcılığını artırır [43]. Vocational English mobil uygulamasına, yabancı dil öğrenimini güçlendirmek ve ilgili derslere katkı sağlamak için sesli anlatım aracı eklenmiştir. Quiz modülünde, Konular modülünün içeriğe uygun olarak farklı soru teknikleri ile hazırlanmış sorular bulunmaktadır.

Tablo 1. Vocational English ve Benzer Çalışmaların Karşılaştırma tablosu

Çalışma / Uygulama Adı	Üyelik Sistemi	Çevrimiçi/Çevrimdışı Çalışma	Uygulama İçeriği	Sesli Anlatım	Test (Quiz/Exam)
SOS Tablosu [40]	Var	Çevrimiçi	Zamanlar	Yok	Var
My Word [41]	Var	Çevrimiçi	Kelime Cümle Yapıları	Yok	Yok
Mobil İngilizce Öğrenme Uygulaması [42]	Var	Çevrimiçi	Yok	Var	Var
Vocational English	Yok	Çevrimdışı	Zamanlar, Sıfatlar, Zarflar, Önek, Sonek, Aktif/Pasif Yapılar, Yan Cümle Yapıları	Var	Var

2. Vocational English Mobil Uygulama Yazılımı

Vocational English mobil uygulama yazılımı, meslek yüksekokullarında Yabancı Dil ve Mesleki Yabancı Dil derslerini desteklemek ve öğrencilerin derse karşı motivasyonunu artırmak amacıyla hazırlanmıştır. Bu çalışmada geliştirilen mobil uygulama Android Studio platformunda Java programlama dili kullanılarak tasarlanmıştır. Vocational English mobil uygulaması Konu ve Quiz modüllerinden oluşmaktadır. Bu iki modül, derslerin içeriğine uygun olarak seçilen zaman, sıfat, zarf, önek-sonek, edilgen yapılar ve basit-birleşik cümle yapılarının öğrenilmesini destekleyecek modüller şekilde tasarlanmıştır.

Mobil uygulama yazılımı içerisinde yer alan her bir Konu modülü; metin temelli anlatım, örnekler ve sesli anlatım şeklinde sunulmaktadır. Quiz modülünde farklı soru teknikleri ile hazırlanmış sorular yer almaktadır. Quiz modülünün diğer önemli bir bileşeni ise quiz değerlendirme ekranıdır. Şekil 1’de mobil uygulama yazılımı giriş ekranı ve programın modüler yapısı görülmektedir.



Şekil 1. Vocational English mobil uygulama yazılımı giriş ekranı ve modülleri

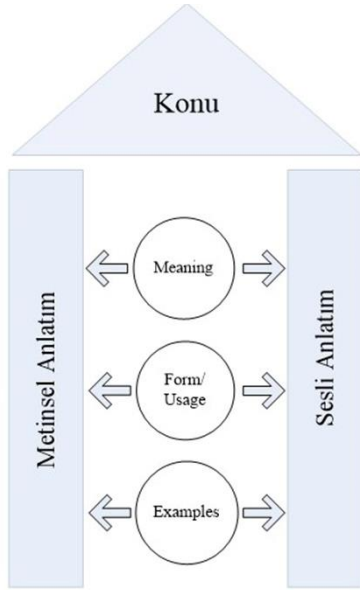
2.1. Uygulama Yazılımının Modülleri

Vocational English mobil uygulama yazılımı giriş ekranında (Şekil 1) Konu modülü “*Touch Here To Start Learning*” seçimi yapıldıktan sonra metin temelli ve sesli anlatımlar içeren konu listesi ekranda görüntülenir (Şekil 2). Konu modülünde yer alan konular, yabancı dil derslerinin (Yabancı Dil I-II ve Mesleki Yabancı Dil I-II) içeriğinden, dersleri veren öğretim elemanları ile görüşülerek seçilmiş ve uygulama içeriğine eklenmiştir.



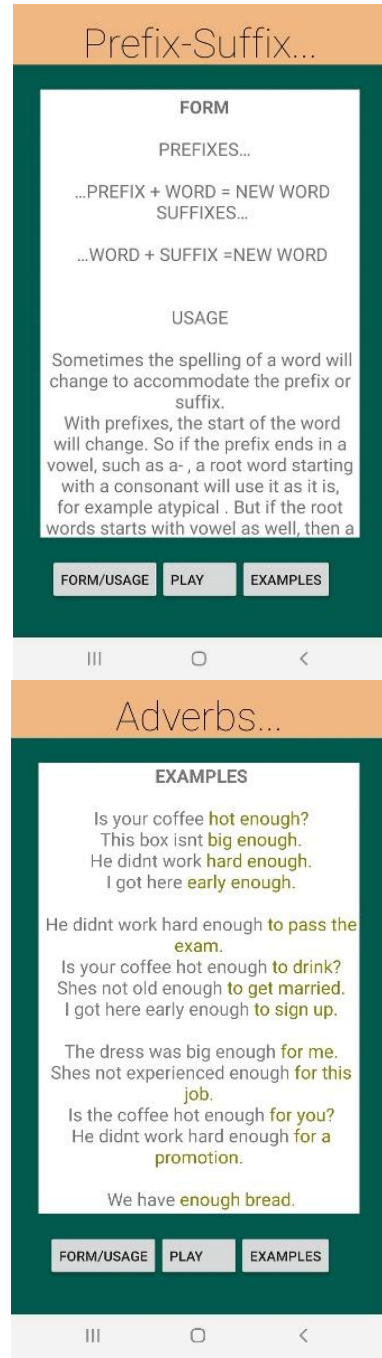
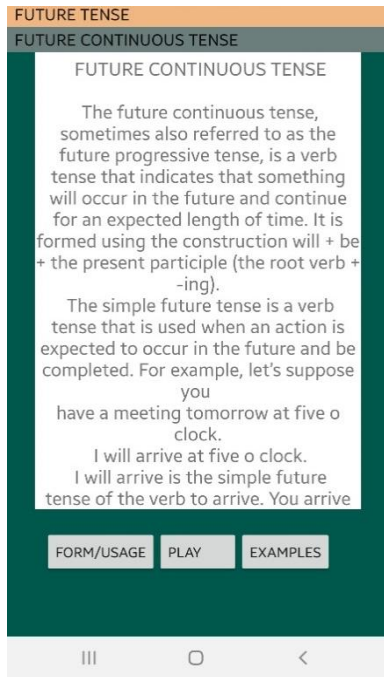
Şekil 2. Vocational English Konu ekranı

Bu çalışmada geliştirilen mobil uygulamanın Konu modülünün yapısı ve işleyişi Şekil 3’te görülmektedir. Öğrenci bir konu seçtiğinde konunun anlatımı “*Meaning*”, uygulama ekranında görüntülenmektedir. Bununla birlikte, ekranda seçilen konunun dilbilgisi (gramer) kurallarına “*Form/Usage*” butonu ve konuya ilişkin örneklere “*Examples*” butonu ile erişilebilmektedir.



Şekil 3. Konu modülü, yapısı ve işleyişi

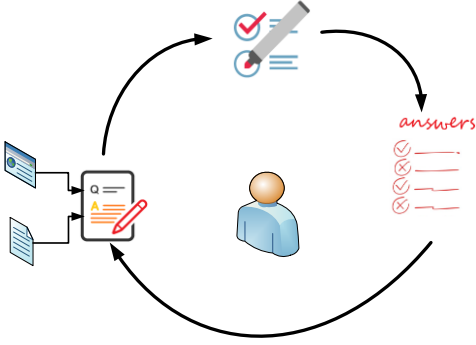
Öğrenci, Konu modülünün içerisinde “*Meaning*”, “*Form/Usage*” ve “*Examples*” (Şekil 4) alt modüllerinde yer alan metinsel anlatımları istediği zaman uygulama ekranının alt kısmında bulunan “*Play*” butonuna basarak sesli anlatımı dinleyebilmektedir. Vocational English mobil uygulama yazılımında yer alan tüm konular için yapısal ve işleyiş olarak aynı tasarım gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Vocational English mobil uygulama yazılımı “*Meaning*”, “*Form/Usage*” ve “*Examples*” ekranları

Vocational English mobil uygulama yazılımının Quiz modülünün işleyişi Şekil 5’te görülmektedir. Quiz modülünde, Konular modülünün içeriğe uygun olarak farklı soru teknikleri ile hazırlanmış sorular bulunmaktadır. Geliştirilen uygulamada çoktan seçmeli ve sıralama soru tekniklerinde hazırlanmış sorular bulunmaktadır. Öğrenci istediği konuya ait quiz seçimini yaptıktan sonra sorular sırası ile ekranda görüntülenecektir. Yapılan her quiz denemesinde

sorular rastgele sıra ile soru havuzundan seçilmektedir.



Şekil 5. Quiz modülü, yapısı ve işleyişi

Öğrencilerden, çoktan seçmeli soru türünde doğru şıkkı seçmeleri istenmektedir. Uygulamada, aynı konu testinin farklı denemelerinde bir sorunun şıklarının sıralamasının aynı şekilde olmaması için yerleri rastgele olarak belirlenmektedir. Öğrenci quiz denemesinde “Previous” ve “Next” butonları ile istediği zaman sorudan soruya geçebilmektedir. Quiz denemesinde eğer istenirse daha önce cevap verilen sorunun yanıtı değiştirilebilmektedir. Öğrenci quiz tamamladıktan sonra uygulama ekranının altında yer alan “Result” butonuna basarak her sorunun doğru veya yanlış olarak değerlendirmesini ve uyguladığı quiz için toplam doğru cevap sayısını görebilmektedir. Ayrıca ilgili konudaki quiz için bir önceki denemede yaptığı doğru cevap sayısı ve en yüksek doğru cevap soru sayısı listelenmektedir (Şekil 6). Bu, öğrencinin seçtiği konuda yaptığı quiz denemelerinde verdiği doğru cevap sayısını bilmesini, o konudaki kazanımlarını görmesini sağlayacak, öğrencinin derse ve konuya ilişkin öğrenme motivasyonunu olumlu yönde etkileyebilecektir.

Result ekranı kapatıldıktan sonra öğrenci quiz denemesindeki sorular arasında “Previous” ve “Next” butonları ile gezilebilmekte, doğru ve yanlış cevaplarını görüntüleyebilmektedir (Şekil 6). Burada görsel olarak daha kolay ayırt edilebilmesi amacıyla doğru cevaplar yeşil, yanlış cevaplar kırmızı yazı renginde görüntülenmektedir.

Quiz...

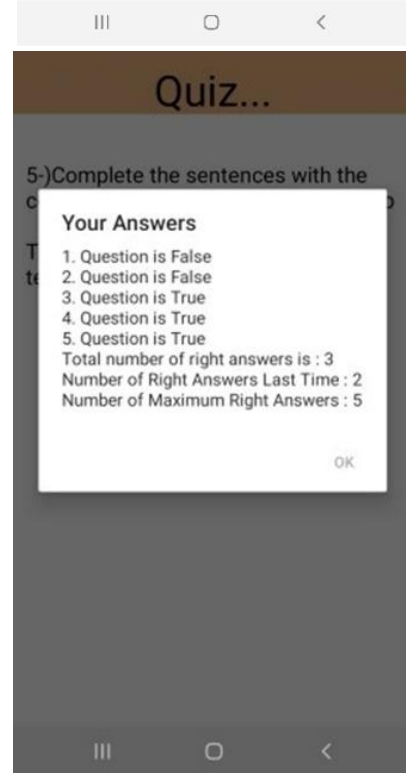
4-) Fill in the blank with correct suffix
The phone call qual(.....)
depends on bandwidth.

- ive
- able
- hood
- al
- ity

PREVIOUS

CHECK

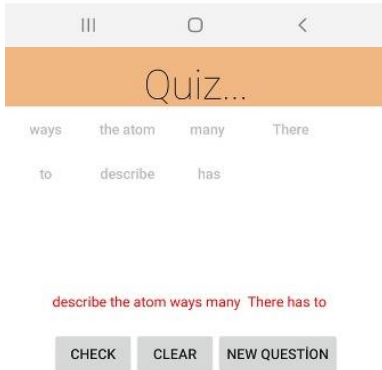
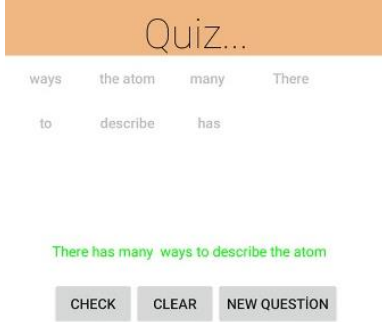
NEXT



Şekil 6. Vocational English mobil uygulama çoktan seçmeli soru ve result ekranı

Sıralama soru türünde, uygulama ekranının üst kısmında karışık olarak verilen kelimeler kullanılarak, dilbilgisi kurallarına uygun olarak doğru sıra ile cümle oluşturulması istenmektedir. Bu soru türünde, ilgili kelime seçildiğinde cevap için ayrılan alana sol baştan itibaren sıra ile yerleştirilmektedir. Kelime seçimi ve sonrasında

“Clear” butonuna basılarak seçilen kelimeler cevap alanından silinmektedir. Soruda verilen tüm kelimeler seçildikten sonra “Check” butonuna basıldığında eğer cevap doğru ise cümle yeşil yazı renginde, cevap yanlış ise cümle kırmızı yazı renginde görüntülenmektedir (Şekil 7). “New Question” butonuna basıldığında ekranda yeni bir sıralama sorusu görüntülenecektir.



Şekil 7. Vocational English mobil uygulama sıralama soru ekranı

3. Yöntem

3.1. Evren ve Örneklem

Araştırmanın evreni, Ege Meslek Yüksekokulu’nda Mesleki Yabancı Dil I, Mesleki Yabancı Dil II derslerini alan Elektronik ve Bilgisayar grubunda okuyan 2. Sınıf öğrencilerinden oluşmaktadır. Örneklem, Vocational English Mobil Uygulamasını kullanan 50 öğrenciden oluşmaktadır.

3.2. Veri Toplama Araçları ve Verilerin Toplanması

Nicel verileri toplamak için moodle eğitim yönetim sisteminde Mesleki Yabancı Dil I dersine anket etkinliği eklenmiştir. Vocational English Mobil Uygulamasını telefonlarına kuran ve kullanan öğrencilerden mobil uygulamayı değerlendirmeleri için 10 soru sorulmuştur (Tablo 2).

3.3. Veri Toplama Araçları ve Verilerin Toplanması

Anket etkinliğinden, ankete verilen yanıtlar bilgisayarda MS EXCEL programıyla değerlendirilmiştir. Anketten alınan sonuçlara bağlı olarak yapılan değerlendirmelerden elde edilen bulgular tablo biçiminde sunulmuştur.

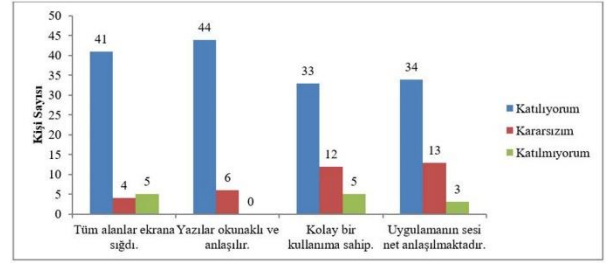
3.4. Bulgular

Tablo 2. Vocational English mobil uygulaması anket sonuçları

Sorular	Katılıyorum (Kişi)	Kararsızım (Kişi)	Katılmıyorum (Kişi)
Tüm alanlar ekrana sığıdı.	41	4	5
Yazılar okunaklı ve anlaşılır.	44	6	0
Kolay bir kullanıma sahip.	33	12	5
Uygulamanın sesi net anlaşılmaktadır.	34	13	3
Amacına uygun hazırlanmış.	43	6	1
Arkadaşlarıma tavsiye ederim.	30	15	5
Konu anlatım modülü yeterlidir.	35	14	1
Örnek açıklamalar modülü yeterlidir.	37	11	2
Test modülü yeterlidir.	33	16	1
Mobil uygulama yabancı dil öğrenimime katkı sağlar.	34	14	2

Anket sonuçlarının değerlendirilmesini kolaylaştırmak ve daha anlaşılır kılmak amacıyla sorular; “uygulamanın kullanılabilirliği”, “amacına uygunluğu ve tavsiye edilebilirliği”, “modüllerin değerlendirilmesi” ve “yabancı dil öğrenimine katkısı” olarak 4 başlıkta değerlendirilmiştir.

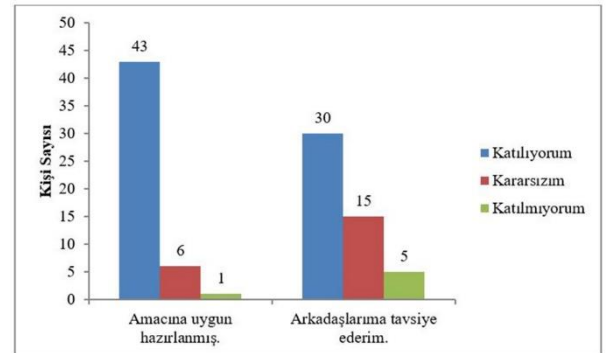
Anket etkinliği kapsamında “uygulamanın kullanılabilirliği” başlığında, uygulamayı kullanan 50 öğrenci “Tüm alanlar ekrana sığıdı.” sorusuna; öğrencilerin %82’si katılıyorum cevabı verirken, %8’i kararsızım cevabı, %10’u ise katılmıyorum cevabı vermiştir. “Yazılar okunaklı ve anlaşılır.” sorusunu; öğrencilerin %88’i katılıyorum, %12’si kararsızım şeklinde yanıtlamışlardır. Verilen yanıtlar öğrencilerin uygulamadaki yazıların okunaklı ve anlaşılır olması konusunda yüksek oranda olumlu görüşte olduklarını ortaya koymaktadır. “Kolay bir kullanıma sahip.” olmasına yönelik soruya, öğrencilerin %66’sı katılıyorum cevabı verirken, %24’ü kararsızım olarak cevaplamış ve %10’u ise katılmıyorum şeklinde cevap vermiştir. Bu başlıktaki son soru olan “Uygulamanın sesi net anlaşılmaktadır.” sorusuna öğrencilerin %68’i katılıyorum, %26’sı kararsızım ve kalan %6’sı ise katılmıyorum yanıtı vermiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Uygulamanın kullanılabilirliği sorularına verilen yanıtların dağılımı

“Uygulamanın Kullanılabilirliği” başlığında sorulan anket sorularına öğrencilerin büyük bir kısmı uygulamanın kullanılabilirliği konusunda olumlu görüş bildirmişlerdir.

Anket çalışması kapsamında “amacına uygunluğu ve tavsiye edilebilirliği” başlığında, uygulamanın “Amacına uygun hazırlanmış.” olup olmadığına ilişkin soruyu öğrencilerin %86’sı katılıyorum, %12’si kararsızım, %2’si ise katılmıyorum şeklinde cevaplandırmıştır (Şekil 9). Öğrenciler uygulamayı “Arkadaşlarıma tavsiye ederim.” sorusuna %60’ı katılıyorum, %30’u kararsızım, %10’u ise katılmıyorum cevabını vermiştir.

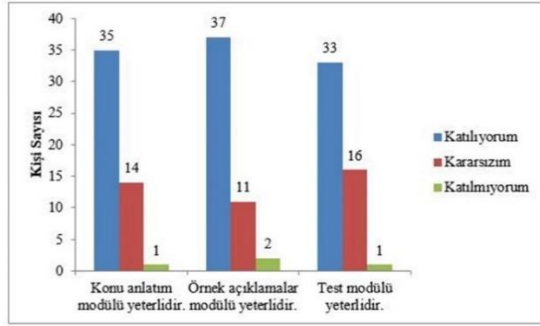


Şekil 9. Amacına uygunluğu ve tavsiye edilebilirliği sorularına verilen yanıtların dağılımı

“Amacına uygunluğu ve tavsiye edilebilirliği” başlığında sorulan anket sorularından “amacına uygun hazırlanmış” sorusuna çok büyük oranda olumlu, “Arkadaşlarıma tavsiye ederim.” sorusuna ise öğrencilerin yarısından fazlası olumlu görüş bildirmişlerdir.

Anket etkinliğinin “Modüllerin Değerlendirilmesi” başlığında, öğrencilerden uygulamayı oluşturan konu, örnek ve test modüllerini ayrı ayrı değerlendirmeleri istenmiştir (Şekil 10). Ankete katılan 50 öğrenciye “Konu anlatım modülü yeterlidir.” sorusu sorulmuştur. Öğrencilerin %70’i konu anlatım modülünün yeterli olduğuna katıldıklarını, %28’i ise kararsız

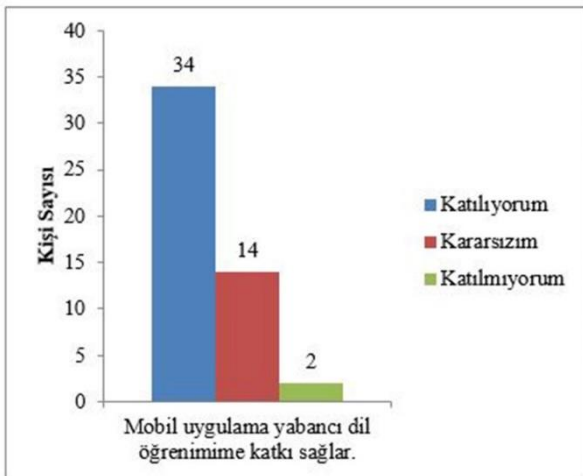
olduklarını ve %2'si ise konu anlatım modülünün yeterli olduğuna katılmadıklarını belirtmişlerdir. "Örnek açıklamalar modülü yeterlidir." sorusuna öğrencilerin %74'ü katıldıklarını, %22'si kararsız olduklarını ve %4'ü ise katılmadıklarını belirtmişlerdir. Uygulama içerisinde yer alan test modülünün yeterliliğini tespit etmek için sorulan "Test modülü yeterlidir." sorusuna öğrencilerin %66'sı katılıyorum, %32'si kararsızım ve %2'si ise katılmıyorum cevabını vermiştir.



Şekil 10. Modüllerin değerlendirilmesi sorularına verilen yanıtların dağılımı

"Modüllerin Değerlendirilmesi" başlığında sorulan anket sorularına öğrenciler, örnek ve test modüllerinin yeterliliği konusunda büyük oranda olumlu görüş bildirirken olumsuz görüş bildirimlerinin çok küçük bir oranda kaldığı görülmüştür.

Öğrencilerden mobil uygulamanın "Yabancı dil öğrenimine katkısı" başlığında sorulan "Mobil uygulama yabancı dil öğrenimime katkı sağlar." sorusuna %68'i katılıyorum, %28'i kararsızım ve kalan %4'ü ise katılmıyorum şeklinde cevaplamıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Yabancı dil öğrenimine katkısı sorusuna verilen yanıtların dağılımı

"Yabancı dil öğrenimine katkısı" başlığında sorulan anket sorusuna öğrenciler büyük oranda olumlu görüş bildirirken çok küçük bir oranda olumsuz görüş bildirmişlerdir.

4. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde okul ve okul dışı eğitimde mobil cihazlar bireysel öğrenmeyi desteklemek ve öğrenenin motivasyonu artırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu kapsamda eğitimde, mobil öğrenmenin öne çıktığı alanlardan biri yabancı dil eğitimidir. Yabancı Dil ve Mesleki Yabancı Dil eğitimi; dilbilgisi, okuma ve kelime bilgisi, yazma ve konuşma becerilerinin kazanılması sürecinden oluştuğu için mobil yazılımlar bu becerilerden biri veya birkaçını kazandırmaya yönelik olarak tasarlanmaktadır. Yabancı dil öğreniminde, birden çok beceri geliştirmeyi hedefleyen yazılımların daha etkili olduğu bilinmektedir. Bu perspektifte, çalışma kapsamında, meslek yüksekokullarının eğitim planlarında yer alan Yabancı Dil ve Mesleki Yabancı Dil derslerini ve bireysel yabancı dil öğrenimini desteklemek amacıyla Vocational English mobil uygulamasında birden fazla dil becerisinin kazanılmasını sağlamak için her konu içerisinde metin temelli açıklamalar, örnekler ve sesli anlatım araçları bulunmaktadır.

Diğer taraftan, Quiz modülünde Konular modülünün içeriğine uygun olacak şekilde farklı soru teknikleri ile hazırlanmış sorulara yer verilmiştir. Öğrenci quizi tamamladıktan sonra sorulara verdiği yanıtların değerlendirmesini ve uyguladığı quiz için toplam doğru cevap sayısını görebilmektedir. Öğrencinin verdiği yanıtların daha kolay ayırt edilebilmesi için doğru cevaplar yeşil yazı renginde, yanlış cevaplar kırmızı yazı renginde gösterilmiştir. Ayrıca aynı quiz için bir önceki denemede yaptığı doğru cevap sayısı ve en yüksek doğru cevap sayısı da listelenmektedir. Sonuç olarak, öğrencin o konudaki kazanımlarını görmesinin konuya ilişkin öğrenme motivasyonunu olumlu yönde etkileyebileceği düşünülmektedir.

Ege Meslek Yüksekokulu'nda öğrenim gören ve Vocational English mobil uygulamasını kullanan öğrencilerden uygulamayı değerlendirmeleri ve uygulamanın yabancı dil öğrenimine etkisini ortaya çıkarılması amacıyla bir anket uygulanmıştır.

Elde edilen bulgulara göre, uygulamanın kullanılabilirliği kapsamında katılımcılar en az %66, en çok %88 oranında olumlu görüş

bildirmişlerdir. Bu oranlar uygulamanın ergonomik olduğunu göstermektedir. Uygulama yazılımının hedeflerini belirlemek açısından sorulan “Amacına uygunluğu ve tavsiye edilebilirliği” başlığındaki sorulara öğrencilerin en az %60’ı en çok %86’sı olumlu görüş bildirmişlerdir. Uygulama modüllerinin değerlendirilmesine yönelik olarak sorulan “Modüllerin Değerlendirilmesi” başlığındaki anket sorularına konu anlatım için %70, örnek açıklamalar için %74 ve test için %66 oranında olumlu görüş bildirmişlerdir. Uygulamanın yabancı dil öğrenimlerine katkısını değerlendirmek amacıyla sorulan soruya öğrenciler sadece %4 oranında olumsuz görüş bildirmişlerdir. Bu oran, Vocational English mobil uygulamasının meslek yüksekokulu öğrencilerinin yabancı dil öğrenimlerine yaptığı katkıyı ortaya koymaktadır.

Vocational English uygulamasının en önemli özelliklerinden biri olan sesli anlatım özelliğinin Konu anlatım ve Örnek açıklamalar modülü’ne ek olarak Quiz modülüne ve yeni modüllere eklenmesi hedeflenmektedir. Anket sonucunda elde edilen bulgular uygulamanın

geleceğe yönelik nasıl şekilleneceğini göstermesi açısından önemlidir. Uygulamanın kendisi ve uygulamayı oluşturan alt modüllerde ileriye dönük yapılacak güncellemeler ve eklenecek yenilikler ile öğrencilerden alınan geri dönüşler doğrultusunda yazılımın yeni sürümünün hazırlanması planlanmaktadır.

Yazarların Katkısı

Çalışmaya tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] C. Graham and R. Robinson, “Realizing the Transformational Potential of Blended Learning: Comparing Cases of Transforming Blends and Enhancing Blends in Higher Education,”. in *Blended Learning: Research Perspectives*, A. G. Picciano & C. Dzuiban, Eds., Needham, MA: The Sloan Consortium, 2007, pp. 83-110.
- [2] G. Salomon, “Technology and Pedagogy: Why don’t We See the Promised Revolution?” *Educational Technology*, vol. 42, no. 2, pp. 71–75, 2002.
- [3] M. Kerres and C. D. Witt, “A didactical framework for the design of blended learning arrangements,” *J. Educ. Media*, vol. 28, no. 2–3, pp. 101–113, 2003.
- [4] H. Ünsal, “Web destekli eğitim, elektronik öğrenme ve web destekli öğretim programlarındaki çeşitli ders modelleri,” *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi*, vol. 2, no. 3, pp. 375-388, 2004.
- [5] P. Seppala and H. Alamaki, “Mobile learning in teacher training. *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 19, pp. 330-335, 2003.
- [6] S. Bull and E. Reid, “Individualised revision material for use on a handheld computer,” in *Mobile Learning Anytime Anywhere. London: Learning and Skills Development Agency*, J. Attewell and & C. Savill-Smith, Eds. 2004, pp. 35–42.
- [7] M. Virvou and E. Alepis, “Mobile educational features in authoring tools for personalized tutoring,” *Computers and Education*, vol. 44, pp. 53–68, 2005.
- [8] D. Mcconatha *et al.*, “Mobile learning in higher education: An empirical assessment of a new educational tool,” *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 15-21, 2008.
- [9] C. C. Yi *et al.*, “Acceptance of mobile learning: A respecification and validation of information system success,” *International Journal of Human and Social Sciences*, vol. 5, no. 7, pp. 477-481, 2010.
- [10] P. Rosman, “M-learning-as a paradigm of new forms in education,” *E+M Ekonomie a Management*, vol. 1, pp. 119-125, 2008.
- [11] K. Ellis, “Moving into M-learning,” *Training*, vol. 40, no. 10, pp. 12-15, 2003.
- [12] D. Laurillard and N. Pachler, “Pedagogical Forms of Mobile Learning: Framing Research Questions,” in *Mobile Learning: Towards a Research Agenda*, N. Pachler, Ed. London: WLE Centre, IOE, 2007, pp. 33–54.

- [13] P.-L. P. Rau *et al.*, “Using mobile communication technology in high school education: Motivation, pressure, and learning performance,” *Comput. Educ.*, vol. 50, no. 1, pp. 1–22, 2008.
- [14] F. Ozdamli and N. Cavus, “Basic elements and characteristics of mobile learning,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 28, pp. 937-942, 2011.
- [15] S.-S. Liaw *et al.*, “Investigating acceptance toward mobile learning to assist individual knowledge management: Based on activity theory approach,” *Comput. Educ.*, vol. 54, no. 2, pp. 446–454, 2010.
- [16] H. Ogata *et al.*, “Supporting classroom activities with the BSUL system,” *Educational Technology and Society*, vol. 11, no. 1, pp. 1–16, 2008.
- [17] L. F. Motiwalla, “Mobile learning: A framework and evaluation,” *Computers and Education*, vol. 49, no.3, pp. 581-596, 2007.
- [18] P.-H. Wu *et al.*, “An expert system-based context-aware ubiquitous learning approach for conducting science learning activities,” *Educational Technology & Society*, vol. 16, no. 4, pp. 217–230. 2013.
- [19] C.-K. Looi *et al.*, “Anatomy of a mobilized lesson: Learning my way,” *Comput. Educ.*, vol. 53, no. 4, pp. 1120–1132, 2009.
- [20] A. Ahmad Zaki and M. Md Yunus, “Potential of mobile learning in teaching of ESL academic writing,” *Engl. Lang. Teach.*, vol. 8, no. 6, 2015.
- [21] W. H. Wu *et al.*, “An expert system-based context-aware ubiquitous learning approach for conducting science learning activities,” *Educational Technology & Society*, vol. 16, no. 4, pp. 217-230, 2012.
- [22] M. Aktaş *et al.*, “Dört işleme yönelik geliştirilen mobil oyunun 6. sınıf öğrencilerinin zihinden işlem yapma becerisine etkisi,” *Eğitim ve Toplum Araştırmaları Dergisi*, vol. 5, no. 2, pp. 90-100, 2018.
- [23] J. Winter, M. Wentzel, and S. Ahluwalia, “Chairs!: A mobile game for organic chemistry students to learn the ring flip of cyclohexane,” *J. Chem. Educ.*, vol. 93, no. 9, pp. 1657–1659, 2016.
- [24] M. İ. Solmaz, A. K. Uğur, and M. Özönur, “Grafik ve Animasyon 1 Dersinde Kullanılan Mobil QuizGame Uygulamasına Yönelik Öğrenci Görüşleri,” *Kuramsal Eğit.*, pp. 507–521, 2018.
- [25] U. Kose, D. Koc, and S. A. Yucesoy, “An augmented reality based mobile software to support learning experiences in computer science courses,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 25, pp. 370–374, 2013.
- [26] Y.-T. Sung, K.-E. Chang, and J.-M. Yang, “How effective are mobile devices for language learning? A meta-analysis,” *Educ. Res. Rev.*, vol. 16, pp. 68–84, 2015.
- [27] R. K. Agca and S. Özdemir, “Foreign language vocabulary learning with mobile technologies,” *Procedia Soc. Behav. Sci.*, vol. 83, pp. 781–785, 2013.
- [28] Q. Wu, “Designing a smartphone app to teach English (L2) vocabulary,” *Comput. Educ.*, vol. 85, pp. 170–179, 2015.
- [29] U. Serengil, “Yabancı dil öğrenmenin önemi ve gerekliliği,” *ABMYO Dergisi*, vol. 7, pp. 65-80, 2007.
- [30] Ö. Çelik and F. Yavuz, “An extensive review of literature on teaching vocabulary through mobile applications,” *Bilecik Şeyh Edebali University Journal of Social Sciences Institute*, vol. 3, no.1, pp. 56-91, 2018.
- [31] G. Chinnery, “Emerging technologies – Going to the MALL: Mobile assisted language learning,” *Language Learning & Technology*, vol. 10. no. 1, pp. 9–16, 2006.
- [32] N. Önal, K. K. Çevik, and V. Şenol, “The effect of SOS Table learning environment on mobile learning tools acceptance, motivation and mobile learning attitude in English language learning,” *Interact. Learn. Environ.*, pp. 1–14, 2019.
- [33] C.-K. Hsu, G.-J. Hwang, and C.-K. Chang, “A personalized recommendation-based mobile learning approach to improving the reading performance of EFL students,” *Comput. Educ.*, vol. 63, pp. 327–336, 2013
- [34] C.-C. Lin, “Learning English reading in a mobile-assisted extensive reading program,” *Comput. Educ.*, vol. 78, pp. 48–59, 2014.
- [35] Y.-H. Wang, “Integrating self-paced mobile learning into language instruction: impact on reading comprehension and learner satisfaction,” *Interact. Learn. Environ.*, vol. 25, no. 3, pp. 397–411, 2017.
- [36] A. Ahmad Zaki and M. Md Yunus, “Potential of mobile learning in teaching of ESL academic writing,” *Engl. Lang. Teach.*, vol. 8, no. 6, 2015.
- [37] Y. Chen, C. L. Carger and T. J. Smith, “Mobile-assisted narrative writing practice for young english language learners from a funds of knowledge approach,” *Language Learning & Technology*, vol. 21. no. 1, pp. 28-41, 2017.

- [38] K. Segaran, A. Z. M. Ali, and T. W. Hoe, “Usability and user satisfaction of 3D talking-head mobile assisted language learning (MALL) app for non-native speakers,” *Procedia Soc. Behav. Sci.*, vol. 131, pp. 4–10, 2014.
- [39] K. K. Çevik and H. E. Koçer, “Mobil cihaz tabanlı yabancı dilde kelime öğrenme uygulaması,” *Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, vol. 11. no. 2, pp. 60-70, 2012.
- [40] K. Çevik, N. Önal and V. Şenol, “Zamanlar bağlamında ingilizce öğretimi için bir mobil uygulama tasarımı: SOS tablosu,” *AJIT-e: Bilişim Teknolojileri Online Dergisi*, vol. 9, no. 32, pp. 73-86, 2018.
- [41] L. Qing. 2017. “Application of mobile learning in english teaching in higher vocational colleges. presented at the 3rd International Conference on Management Science and Innovative Education, Zurich, Jul. 8-10, 2017.
- [42] E. Güngör, S. Ak and Z. Orman, “Makine öğrenmesine dayalı mobil ingilizce öğrenme uygulaması,” *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, vol. 1, no. 2, pp. 58-65, 2021.
- [43] E. Kuşçu, “Yabancı dil öğretimi/öğreniminde görsel ve işitsel araçları kullanmanın önemi. *The Journal of Academic Social Science*, vol. 5, no. 43, pp. 213-224, 2017.

Bir Apartmanın Yenilenebilir Enerji Sistem Maliyetinin HOMER Pro Kullanılarak Belirlenmesi

Melike YALILI KILIÇ^{1*}, Sümeyye ADALI²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Nilüfer/Bursa

²Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
(ORCID: [0000-0001-7050-6742](https://orcid.org/0000-0001-7050-6742)) (ORCID: [0000-0002-5077-7358](https://orcid.org/0000-0002-5077-7358))



Anahtar kelimeler:
Güneş enerjisi, Fotovoltaik teknoloji, Elektrik, Homer pro, Apartman.

Özet

Dünya genelinde son yüzyılda yaşanan gelişmeler enerji kaynağı olarak fosil yakıtların yoğun olarak kullanılmasına neden olmuştur. Günümüzde yaşanan çevresel sorunların önemli bir nedenini teşkil eden fosil yakıtların yerine, çevreye daha az zararlı olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, çevre ve insan refahının sağlıklı bir şekilde sürdürülmesi için önem arz etmektedir. Bu çalışmada, Bursa'nın merkez ilçelerinden biri olan Osmangazi'de yer alan üç katlı bir apartmanın elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla 2020 yılı elektrik tüketim verileri kullanılarak, HOMER Pro programında şebekeye bağlı fotovoltaik enerji sistem tasarımı gerçekleştirilmiştir. Ayrıca enerji sisteminin yapılan maliyet analizi sonucunda, enerji maliyeti 0,562 TL/kWh, 25 yıllık proje ömrü için sistemin net şimdiki maliyeti 49405,97 TL (5974,12 \$) olarak hesaplanmıştır.

Determining the Renewable Energy System Cost of an Apartment Using HOMER Pro

Keywords: Solar energy, Photovoltaic technology, Electricity, Homer Pro, Apartment.

Abstract

Developments in the last century around the world have caused the intensive use of fossil fuels as an energy source. The use of renewable energy sources, which are less harmful to the environment, instead of fossil fuels, which constitute an important cause of environmental problems today, is important for maintaining a healthy environment and human welfare. In this study, grid-connected photovoltaic energy system design was carried out in the HOMER Pro program, using the electricity consumption data of 2020 in order to meet the electricity needs of a three-storey apartment building in Osmangazi, one of the central districts of Bursa. In addition, as a result of the cost analysis of the energy system, the energy cost was calculated as 0.562 TL/kWh, and the net current cost of the system for the 25-year project life was 49405.97 TL (\$ 5974.12).

1. Giriş

Yaşamın sürdürülmesinde ana girdi olan enerji, temel yaşam ihtiyaçlarının karşılanmasından ülkelerin ekonomik kalkınmasına kadar birçok alanda yer alan önemli bir olgudur [1]. Enerji elde etmek amacıyla kullanılan başlıca

kaynaklar olan fosil yakıtların dünya üzerinde kısıtlı olması nedeniyle ülkelerin büyük bir bölümü tarafından ithal edilmesi, bu yakıtların tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalması ve çevre üzerinde meydana getirdiği tahribat enerji alanında sürdürülebilir bir yaklaşım izlenmesini gerekli kılmaktadır [2]. Bu doğrultuda hareket eden

*Sorumlu yazar: myalili@uludag.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.05.2021, Kabul Tarihi: 27.12.2021

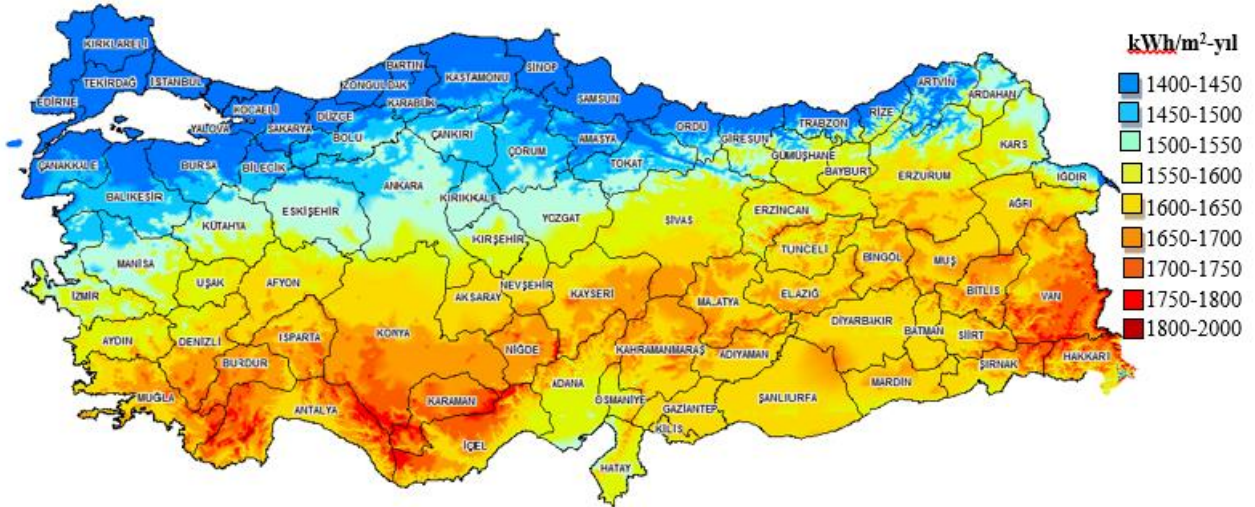
ülkelerde fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ön plana çıkmaktadır [3].

Dünya genelinde mevcut olan başlıca yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş, rüzgar, biyokütle, hidrolik, jeotermal, dalga ve hidrojen enerjisi yer almakta olup, bu kaynaklardan yararlanma oranı ülkeden ülkeye değişiklik gösterebilmektedir. Bu kaynaklar arasında özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarla büyük bir gelişim imkanı bulan güneş enerjisi, diğer enerji türlerine kıyasla önemli üstünlükler barındırmaktadır [4, 5]. Alternatif enerji kaynağı olarak sahip olduğu enerji potansiyeliyle ilk sırada yer alan güneş enerjisi, basit teknolojisi, yenilenebilir kaynak olarak uygulanabilirlik, kapasite ve verimlilik açısından uygun özelliklere sahip oluşu, yerli ve çevre dostu olması nedeniyle dünya genelinde yoğun olarak tercih edilmektedir [6-8].

Termonükleer bir reaktör olan güneşten birim alanda ve birim zamanda çeşitli dalga boylarında 62 MW/m² enerji yayılmakta olup, güneşin bütün yüzeyinden yayılan enerjinin

sadece iki milyarda biri yeryüzüne ulaşmaktadır. Bir yıllık süreçte güneşten yeryüzüne yayılan enerji, dünya enerji tüketiminin milyonlarca katına tekabül etmektedir [4]. 1973'te yaşanan petrol krizinden sonra ülkemizde ve dünyada güneş enerjisinden yararlanma konusundaki çalışmalar hız kazanmış, teknolojik ilerlemelere paralel olarak enerji sistem maliyetleri düşüş göstermiştir. Uluslararası Enerji Ajansı, önümüzdeki 10 yıl içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynakları olacağını, 2050 yılında güneş enerjisinin elektrik üretimindeki payının %11'e ulaşacağını öngörmektedir [9].

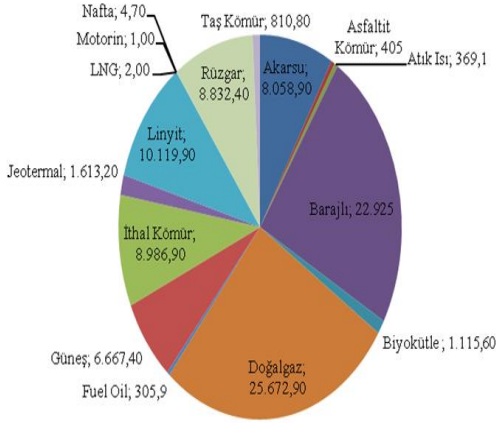
Ülkemiz, coğrafi konumu itibarıyla güneş enerjisinden yararlanma bakımından yüksek potansiyel barındırmaktadır [10]. Şekil 1'de verilen Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası'na göre, ülkemizin başta güney bölgeleri olmak üzere tüm şehirlerin güneşten enerji eldesinde yüksek potansiyele sahip olduğu görülmektedir. Bu potansiyelden maksimum derecede faydalanmak için ülke genelinde yenilenebilir enerji yatırımlarının artırılması önem arz etmektedir.



Şekil 1. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) [11]

Ülkemizde 2020 yılında enerji kaynaklarının elektrik üretimine katkısı incelendiğinde, en büyük payın doğalgaza (%26,77) ait olduğu görülmektedir (Şekil 2). Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimine katkısı incelendiğinde, barajlar 22925 MW ile ilk sırada yer alırken; barajları sırasıyla rüzgar, akarsu ve güneş enerjisi izlemektedir. Güneşten elektrik eldesi amacıyla kullanılan fotovoltaik sistemlerin kullanımında dünya genelinde son yıllarda önemli ölçüde artış yaşanmaktadır.

Avrupa ülkeleri, Çin, Japonya ve Amerika başta olmak üzere birçok ülke bu alanda büyük yatırımlar gerçekleştirmektedir. Yapılan yatırımlar ve enerji sistemlerinde yaşanan teknolojik gelişmelere paralel olarak fotovoltaik sistemler yenilenebilir enerji kaynakları arasında en yaygın kaynak durumuna gelmiştir. Sistemin şebeke bağlantısının bulunması, enerjinin depolanmasına gerek kalmadan sürekliliğinin sağlanması açısından önem arz etmektedir [13].



Şekil 2. Türkiye 2020 Yılı Elektrik Kurulu Gücü (MW) [12]

Literatür incelendiğinde güneşten elektrik enerjisi eldesi amacıyla yapılmış birçok çalışmanın mevcut olduğu görülmektedir. Filistin'in Gazze şehrinde bulunan bir hastane binasının 24 saatlik enerji ihtiyacını karşılayacak şekilde şebekeye bağlı jeneratör-fotovoltaik hibrit güç sistemlerinin enerji depolama üniteleri ile birlikte HOMER programı kullanılarak enerji sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir [13]. Bir ada yerleşkesi için batarya depolamalı bağımsız özellikte hibrit güneş-rüzgar enerji sisteminin teknik ve ekonomik analizi HOMER yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir [14]. İran'da konut dışı elektrik tüketimi için hibrit dizel-fotovoltaik-rüzgar enerji sisteminin şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız tasarımı HOMER Pro yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş; elde edilen sonuçlar birim enerji maliyeti, yenilenebilir enerji kullanım oranı açısından karşılaştırılmıştır [15]. Burdur ilinde yer alan bir eğitim binası için güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinin yer aldığı şebeke bağlantılı hibrit enerji sistemi HOMER Pro programı kullanılarak tasarlanmıştır [16]. İzmir ilinde fotovoltaik panel ile desteklenmiş şebekeye bağlı bir elektrikli araç şarj istasyonunun enerji modellemesi MATLAB\Simulink programı kullanılarak oluşturulmuş ve 25 yıllık süreç için maliyet analizi gerçekleştirilmiştir [17]. Türkiye'de farklı bölgelerde yer alan Balıkesir, Samsun ve Konya illeri için evsel elektrik ihtiyacının fotovoltaik ve rüzgar türbini içeren hibrit sistemlerle karşılanabilmesi amacıyla HOMER programı kullanılarak şebeke bağlantısına sahip yenilenebilir enerji sistemlerinin elektriksel ve ekonomik analizleri yapılmıştır [18]. Manisa ilinin Gördes ilçesinde 40 haneden oluşan bir topluluğun evsel elektrik ve ısıl yük ihtiyacının

karşlanması amacıyla HOMER programı kullanılarak şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemi tasarlanmış; sistemin kurulum maliyeti 215958 \$, operasyon maliyeti 18029 \$, sistemin net bugünkü maliyeti 598958 \$ olarak belirlenmiştir [19]. Hesaplanan maliyetin bu çalışmada bulunan maliyetten daha yüksek olması, enerji ihtiyacının karşılanacağı nüfusun daha fazla olması ve sistemin farklı kombinasyonda oluşumudur. Yapılan bir başka çalışmada, örnek olarak belirlenen 10 adet evin elektrik tüketimi ortalaması model yük kabul edilerek bir evin elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla PV-Rüzgar hibrit enerji sisteminin uygulanabilirliği Homer programıyla araştırılmış ve sistemin kurulum maliyeti 48052 \$, enerji birim maliyeti ise 0,851 \$/kWh olarak belirlenmiştir [20].

Bu çalışmada, Bursa ilinin Osmangazi ilçesinde yer alan üç katlı bir apartmanın elektrik enerjisi ihtiyacının karşılanmasını sağlamak amacıyla HOMER Pro programı kullanılarak fotovoltaik enerji sistemi tasarlanmış ve bu sistemin maliyet analizi yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Marmara Denizi'nin güneydoğusunda 40° boylam ve 28 – 30° enlem daireleri arasında yer alan Bursa ili, genellikle ılıman bir iklimle sahiptir. İlin en sıcak ayları temmuz – eylül, en soğuk ayları ise şubat – mart'tır. Yıllık ortalama yağış miktarı 706 mm'dir. İlin ortalama bağıl nemi %69 civarındadır. Toplam yüzölçümü 10819 km² olan Bursa ili topraklarının %17'sini ovalar oluşturmaktadır [21]. 2020 yılında il nüfusu 3101833'e ulaşmıştır [22]. Bu çalışmada, Bursa'nın merkez ilçelerinden biri olan Osmangazi'de Gündoğdu mahallesinde yer alan bir apartmanın elektrik ihtiyacının yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılanmasını sağlamak amacıyla HOMER Pro programı kullanılarak şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem tasarımı ve tasarlanan sistemin maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan apartman üç katlı, üç daireli, 180 m² alan üzerine kurulu olup, kullanılabilir çatı alanı 100 m²'dir. Apartmanda sürekli ikamet eden yedi kişi bulunmaktadır.

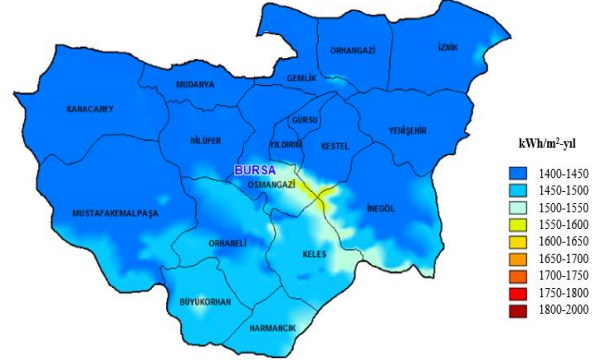
ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı (NREL) tarafından geliştirilen HOMER yazılımı, küçük ölçekteki şebekelerin ve dağıtılmış güç sistemlerinin tasarım ve uygulanmasına yardımcı olmaktadır. Yazılımda farklı şekillerde oluşturulan sistemler için teknoloji maliyetleri, elektrik yükü ve enerji kaynak

kullanımı hesaplanabilmektedir. HOMER yazılımıyla enerji sistemlerinin simülasyon, optimizasyon ve duyarlılık analizi gerçekleştirilmektedir [6]. Simülasyon adımında tasarlanan enerji sisteminin performansı yılın her bir saati için modellenmekte ve sistemin maliyeti hesaplanmaktadır. Optimizasyon adımında teknik kriterler ışığında en düşük maliyeti sağlayacak tasarımı tespit etmek üzere farklı birçok sistemin simülasyonu yapılmaktadır. Duyarlılık analizi aşamasında farklı giriş verilerindeki belirsizliklerin etkisini ortaya koymak için, kullanıcı tarafından girilen veriler sonucunda çoklu optimizasyon işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu adımda kullanıcıya, sistemi oluşturan bileşenlerin düzeni, miktarı ve büyüklüğü konusunda değişiklik yapabilme olanağı sağlanmaktadır [7].

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında örnek olarak incelenen apartmanda bulunan dairelere ait 2020 yılı elektrik tüketim değerleri Tablo 1’de yer almaktadır. Tablo 1’e göre, çalışma alanını oluşturan apartmanın toplamında en yüksek elektrik tüketimi 603 kWh ile Mayıs ayında; en düşük elektrik tüketimi ise 452 kWh ile Mart ayında gerçekleşmiştir. Apartmana ait günlük ortalama elektrik tüketim değeri 18 kWh olarak belirlenmiştir. Çalışmada ortalama elektrik tüketim değeri dikkate alınarak güneş enerjisinden yararlanılacak enerji sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Bursa ili güneş enerjisi potansiyel atlası incelendiğinde, Osmangazi ilçesinin güneş enerji potansiyelinin diğer ilçelerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 3). Bu nedenle çalışma alanı olarak Osmangazi ilçesi tercih edilmiştir.

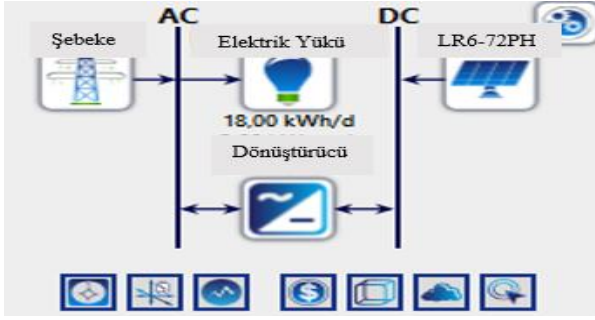


Şekil 3. Bursa İli Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA) [23]

GEPA’ya göre Osmangazi ilçesinde güneşlenme süresi 10,88 saatle en fazla Temmuz ayında yaşanırken, 3,35 saatle en düşük aralık ayında yaşanmaktadır [23]. Osmangazi ilçesi için maksimum enerji eldesinde kullanılacak fotovoltaik panel tipinin monokristalin silikon olduğu, güneşlenme süresinin kış aylarında büyük oranda düşüş gösterdiği görülmektedir. Kış aylarında güneşlenme süresinin nispeten düşük oluşu, enerji sürekliliğinin sağlanması amacıyla şebeke bağlantısını gerekli kılmaktadır. Apartman için tasarlanan enerji sistemi modelinde ana elemanlar elektrik şebekesi, fotovoltaik sistem ve dönüştürücüden oluşmaktadır (Şekil 4).

Tablo 1. Apartmanda bulunan dairelere ait 2020 yılı elektrik tüketim değerleri

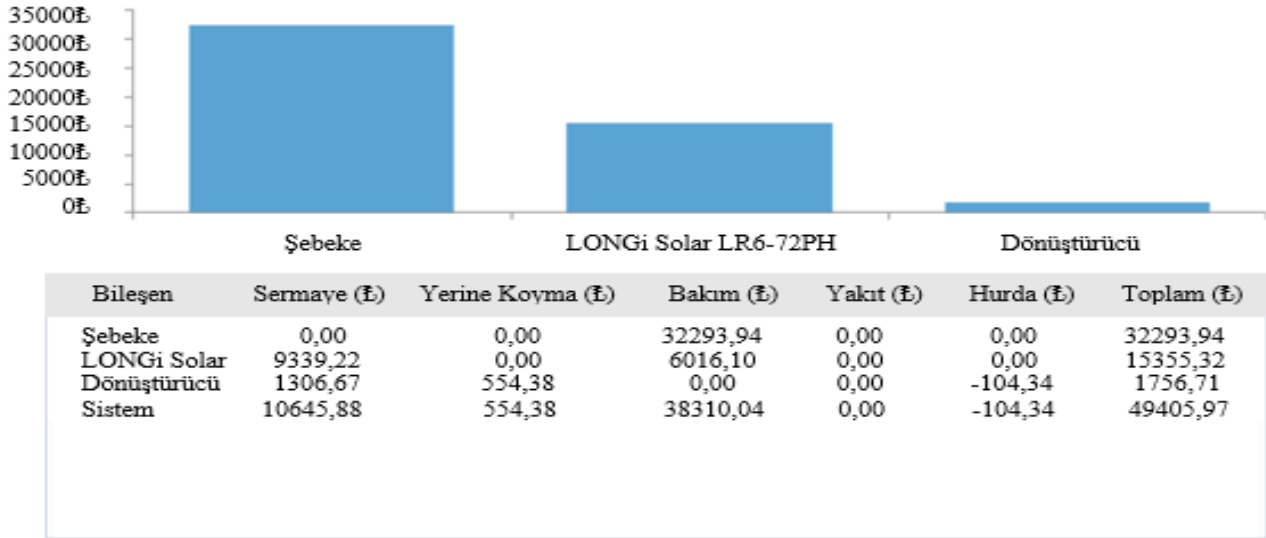
Ay	Daire 1 (kWh)	Daire 2 (kWh)	Daire 3 (kWh)	Toplam Tüketim (kWh)	Ortalama Tüketim (kWh/Gün)	Tutar (TL)
Ocak	183	175	155	513	16,55	294,65
Şubat	140	168	160	468	16,14	268,75
Mart	130	165	157	452	14,58	260,60
Nisan	210	178	164	552	18,40	316,80
Mayıs	248	180	175	603	19,45	345,15
Haziran	175	178	184	537	17,90	353,30
Temmuz	235	155	160	550	17,74	315,00
Ağustos	230	148	162	540	17,42	309,35
Eylül	210	185	177	572	19,07	327,70
Ekim	221	193	188	602	19,42	364,25
Kasım	188	183	196	567	18,90	343,05
Aralık	212	188	190	590	19,03	357,05
Toplam	2382	2096	2068	6546	214,6	3810,65



Şekil 4. Apartman için tasarlanan enerji sistemi modeli

HOMER Pro programında şebekeye bağlı olarak tasarlanan sisteme ait simülasyon sonuçları Tablo 2-5'te yer almaktadır. Tasarlanan sistem için 2020 yılı verilerine göre, şebekeden çekilen elektrik maliyeti 0,54 TL/kWh; şebekeye satılan elektrik maliyeti 0,31TL/kWh olarak HOMER Pro programına girilmiştir [24]. Sistemin ömür süresi 25 yıl olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. Enerji sistem bileşenlerine ait maliyet değerleri



Tablo 3. Enerji sistemi kaynaklı emisyon değerleri

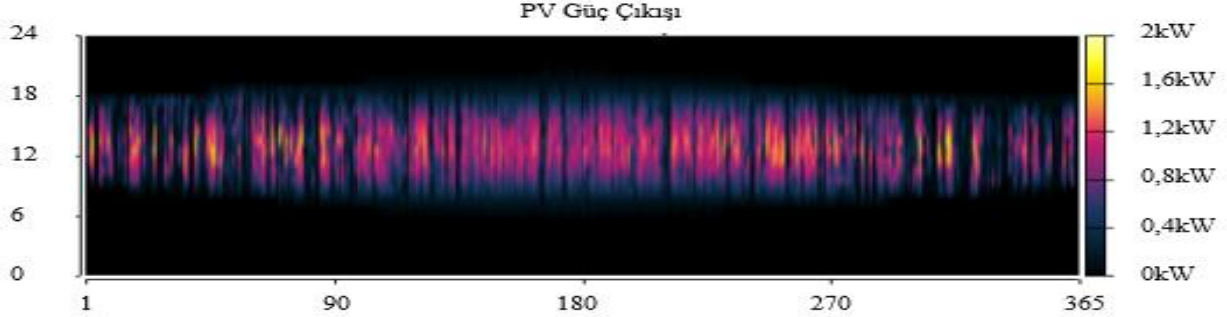
Nicelik	Değer	Birim
Karbon dioksit	3009	kg/yıl
Karbon monoksit	0	kg/yıl
Yanmamış hidrokarbonlar	0	kg/yıl
Partikül madde	0	kg/yıl
Sülfür dioksit	13,0	kg/yıl
Azot oksitler	6,38	kg/yıl

Hassasiyet analizine göre yenilenebilir fraksiyonun oranı %30 olarak belirlenmiştir. Enerji sisteminin toplam yıllık maliyetinin yıllık üretim enerjisine oranı olarak ifade edilen enerji maliyeti 0,562 TL/kWh, sistem kurulumu sonrasında kullanım süresi boyunca yapılacak tüm harcamaları içeren işletme maliyeti 2998,26 TL, enflasyon etkisinden arındırılmamış olan nominal

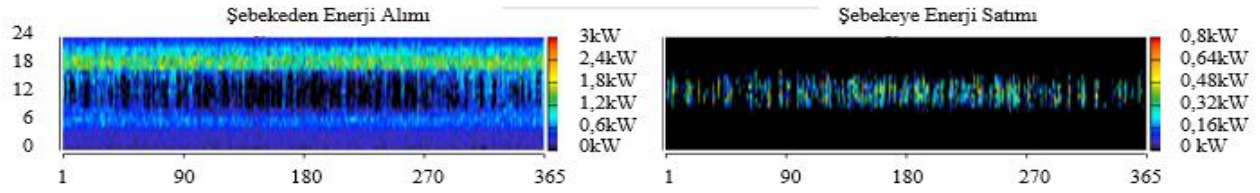
faiz oranı %8, enflasyon etkisinden arındırılmış olan reel faiz oranı %5,88, 25 yıllık proje ömrü için yatırımın sağladığı getirinin bugünkü değerinden yatırım giderlerinin bugünkü değerinin çıkarılması ile elde edilen sistemin net şimdiki maliyeti 49405,97 TL (5974,12 \$) olarak hesaplanmıştır [25]. Şebekeye bağlı olarak üretim yapan panellerden elde edilebilecek yıllık toplam enerji üretim miktarı 2175 kWh olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Fotovoltaik panel güç çıkış değerleri

Nicelik	Değer	Birim	Nicelik	Değer	Birim
Kapasite	1,72	kW	Minimum Çıkış	0	kW
Ortalama Çıkış	0,248	kW	Maksimum Çıkış	1,64	kW
Ortalama Çıkış	5,96	kWh/g	PV Penetrasyon	33,1	%
Kapasite Faktörü	14,4	%	Çalışma Saati	4391	sa/yıl
Toplam Üretim	2175	kWh/yıl	Enerji Maliyeti	0,546	₺/kWh

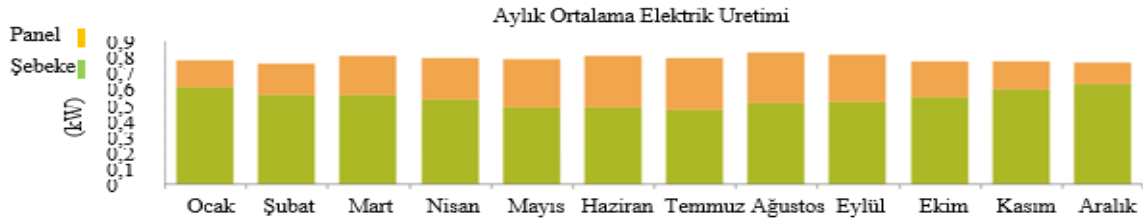
**Tablo 5.** Şebekeden çekilen ve şebekeye satılan enerji miktarı

Aylar	Alınan Enerji (kWh)	Satılan Enerji (kWh)	Net Alım (kWh)	Pik Talep (kW)	Enerji Ücreti (₺)	Talep Ücreti (₺)
Mayıs	361	26	335	2	186,66	0
Haziran	351	25	326	2	181,83	0
Temmuz	349	28	321	2	179,69	0
Ağustos	380	25	356	2	197,84	0
Eylül	372	27	345	2	192,70	0
Ekim	407	16	391	2	214,84	0
Kasım	433	14	419	3	229,44	0
Aralık	470	9	460	2	250,74	0
Yıllık	4761	235	4526	3	2498,08	0



Şekil 5'te sistemin üreteceği elektrik miktarlarının aylara göre değişimi verilmiştir.

Üretim	kWh/yıl	%	Tüketim	kWh/yıl	%	Nicelik	kWh/yıl	%
LONGi Solar	2175	31,4	AC Birincil Yük	6570	96,5	Fazla Elektrik	23,2	0,335
Şebeke Alımları	4761	68,6	DC Birincil Yük	0	0	Karşılansız Elektrik Yükü	0	0
Toplam	6936	100	Şebeke Satışları	235	3,45	Kapasite Sıkıntısı	0	0
			Toplam	6805	100			

**Şekil 5.** Sistemin elektrik üretiminin aylara göre değişimi

Eşitlik 1-3'te maliyet hesaplamalarında kullanılan formüller yer almaktadır [26].

$$i = \frac{i'f}{1+f} \quad (1)$$

i: gerçek faiz oranı

i': nominal faiz oranı

f: yıllık enflasyon oranı

$$\text{Net Şimdiki Maliyet} = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (2)$$

B_t: t yılındaki nakit girişi

C_t: t yılındaki nakit çıkışı

n: yıl

$$\text{Enerji Maliyeti} = \frac{C_{\text{tot}}}{E_{\text{tot}}} \quad (3)$$

C_{tot} sistemin tüm parçalarıyla birlikte yıllık toplam maliyeti

E_{tot} yıllık üretilen enerji

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, evsel elektrik ihtiyacının karşılanması amacıyla Bursa ili Osmangazi ilçesinde yer alan 180 m² alana sahip üç katlı bir apartmana kurulacak fotovoltaik sistem tasarımı HOMER Pro programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin maliyet değeri 49405,97 TL (5974,12 \$), enerji maliyeti 0,562 TL/kWh olarak hesaplanmıştır. Kurulan sistemin yıllık enerji tüketim maliyeti 2498,08 TL'ye (302,07 \$) tekabül etmekte olup, 2020 yılı için

Kaynaklar

- [1] M. Şengöz, "Ulusal Enerji Yönetimi," *Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi*, vol. 7, no. 1, pp. 73-85, 2021.
- [2] C. Karaca ve A. Bingül, *Türkiye'de Fosil Enerji Bağımlılığının Neden Olduğu Ekonomik ve Çevresel Maliyetler. Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Kongresi*, 2-4 Mayıs. Şirnak, 2019.
- [3] H. Kaya ve Y. Bayraktar, "Kamu Teşvik Mekanizmalarının Yenilenebilir Enerji Kaynakları Üzerine Etkisi: AB Ülkeleri ve Türkiye'de Güneş Enerjisine Yönelik Dinamik Panel Veri Analizi," *Sosyoekonomi*, vol. 29, no. 48, pp. 181-204, 2021.
- [4] M.C. Doğan, Güneş Enerjisi Yardımıyla Gerçekleştirilen Isıtma Sistemlerinin Kocaeli Bölgesi İçin Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, pp. 1-173, 2006.
- [5] Anonim, 2021a. Yenilenebilir Enerji Kaynakları. <https://eusolar.ege.edu.tr/tr-3482/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.html> (Erişim Tarihi: 8.05.2021).
- [6] M. Habibullah, "Rüzgar- Fotovoltaik- Biyogaz Hibrit Güç Sistemlerinin Akıllı Mikro Şebekelerde Kullanımının Kontrol ve Dizaynı." Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, pp. 1-66, 2016.
- [7] F. Özkan, "Yenilenebilir Enerji Destekli Ters Ozmos Deniz Suyu Desalinasyon Sistemlerinin Tekno-Ekonomik Analizi." Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, pp. 1-83, 2019.

3810,65 TL (460,78 \$) olarak hesaplanan enerji tüketim maliyetinden 1312,57 TL (158,72 \$) tasarruf edilebileceği; bu veriler ışığında sistemin yenilenebilir enerji maliyetlerinin kendisini 13 yılda amorti edebileceği belirlenmiştir.

Fotovoltaik sistemlerden enerji eldesi, güneş enerjisinden yararlanma açısından yüksek potansiyel taşıyan ülkemiz için enerji arz güvenliğinin sağlanması, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve istihdam olanaklarının artırılması bakımından önemli avantajlar barındırmaktadır. Enerji tüketiminin büyük oranda konutlarda olduğu düşünüldüğünde, ülkemizde fotovoltaik teknolojisinin konut bazlı kullanımının artırılmasının, kaynak tasarrufu ve enerjinin verimli kullanımı açısından değer taşıdığı düşünülmektedir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

- [8] M.İ. Özkoca, “Kojenerasyon ve Güneş Enerjisinin Bütünleştirildiği Hibrit Sistemin Ekonomik ve Emisyon Analizi.” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, pp. 1-63, 2019.
- [9] F.Ç. Kılıç, “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri,” *Mühendis ve Makina*, cilt. 56, no. 671, pp. 28-40, 2015.
- [10] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2021. Güneş. <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes> (Erişim Tarihi: 8.05.2021)
- [11] Anonim, 2021b. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/> (Erişim Tarihi: 7.05.2021)
- [12] TEİAŞ, 2020. Kurulu Güç Raporu- Aralık 2020. Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı.
- [13] M. Çınar, “Gazze’de Şebekeye Bağlı Dizel Jeneratör-Fotovoltaik Hibrit Güç Sisteminin Enerji Depolama Üniteleri ile Birlikte Tasarımı.” Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, pp. 1-92, 2019.
- [14] T. Ma, H. Yang and L. Lu, “A Feasibility Study of a Stand-Alone Hybrid Solar–Wind– Battery System for a Remote Island,” *Applied Energy*, vol. 121, pp.149-158, 2014.
- [15] M. Baneshi and F. Hadianfard, “Techno-Economic Feasibility of Hybrid Diesel/PV/Wind/Battery Electricity Generation Systems for Non-Residential Large Electricity Consumers Under Southern Iran Climate Conditions,” *Energy Conversion and Management*, vol. 127, pp. 233-244, 2016.
- [16] İ. Kırbaş ve T. Kocakulak, “Hibrit Sistemler ile Enerji Üretimi: MAKU-TBMYO Örneği,” *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 12, no. 1, pp. 127-135, 2021.
- [17] A. Çobanoğlu, G. Demirkıran ve M. Güneş, “İzmir İlinde Elektrikli Kara Araçları için Güneş Enerjisi Destekli Bir Şarj İstasyonunun Tasarlanması,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no. 21, pp. 635-648, 2021.
- [18] F. Bulut, “Türkiye’nin Teşvik Uygulamalarının Ekonomik Analiz ile Rüzgar ve Güneş Enerji Sistemlerine Etkisi.” Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, pp. 1-126, 2018.
- [19] S. Türkoğan, M.T. Mercan ve T. Çatal, “Şebekeden Bağımsız Hibrit Enerji Sistemleri Kullanılarak 40 Hanelik Bir Topluluğun Elektrik ve Termal Yük İhtiyacının Karşıllanması: Teknik ve Ekonomik Analizleri,” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, no.18, pp. 476-485, 2020.
- [20] M. Engin, “Bornova için Güneş-Rüzgar Hibrit Enerji Üretim Sistemi Tasarımı,” *Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu Teknik Bilimler Dergisi*, vol. 2, no. 13, pp. 11-20, 2010.
- [21] Anonim, 2021c. Bursa Nüfus, Konum, İklim ve Coğrafya. <https://www.bursa.com.tr/tr/sayfa/nufus-konum-iklim-ve-cografya-47/> (Erişim Tarihi: 7.05.2021)
- [22] Anonim, 2021d. Bursa 2020 Nüfusu. <https://www.nufusu.com/il/bursa-nufusu> (Erişim Tarihi: 7.05.2021).
- [23] Anonim, 2021e. Bursa Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası (GEPA). <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/16.aspx> (Erişim Tarihi: 7.05.2021).
- [24] Anonim, 2020. Devlete Elektrik Satış Fiyatı 2020. <https://www.powerenerji.com/devlete-elektrik-satis-fiyati-2020.html#:~:text=Ekim%202020%20d%C3%B6nemi%20ulusal%20tarife,edildi%C4%9Finde%20%2C7511%20kuru%C5%9F%20olmaktad%C4%B1r.> (Erişim Tarihi:10.05.2021).
- [25] Anonim, 2021f. Güncel Dolar Kuru. <https://www.trthaber.com/haber/ekonomi/dolar-ne-kadar-euro-kac-lira-10-mayis-2021-guncel-dolar-kuru-dolartl-579692.html> (Erişim Tarihi: 10.05.2021)
- [26] N. Çağlayan, “Bir Sera İşletmesi için Şebekeye Bağlı ve Şebekeden Bağımsız Rüzgâr, Fotovoltaik ve Jeneratör Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirmesi,” *Mediterranean Agricultural Sciences*, vol. 32, no. 2, pp. 175-184, 2019.

TS EN 196-1 Standardında Belirtilen Üretim Tekniğinin İrdelenmesi

Yusuf Tahir ALTUNCI^{1*}, Cenk ÖCAL²



¹Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Bölümü, Isparta

²Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fak., İnşaat Müh. Bölümü, Isparta
(ORCID: [0000-0002-5418-7742](https://orcid.org/0000-0002-5418-7742)) (ORCID: [0000-0002-1407-7637](https://orcid.org/0000-0002-1407-7637))

Anahtar kelimeler:

Çimento harcı,
Fiziksel özellikler,
Mekanik özellikler.

Öz

TS EN 196-1 standardında belirtilen çimento üretim tekniği ile çalışmamızda önerilen 6 farklı üretim tekniğinin karşılaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmada; 3 farklı firmadan temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimento, kum ve suyun karışımına girme sıraları değiştirilerek ve aynı standart da belirtilen süreçler baz alınarak üretimler yapılmıştır. Üretilen örneklerin TS EN 1015-3 standardına göre yayılma değerleri, TS EN 12350-6 standardına göre taze yoğunlukları, TS EN 196-1 standardına göre 2, 7 ve 28 günlük dayanım özellikleri, TS EN 12390-7 standardına göre sertleşmiş yoğunlukları, Arşimet prensibine göre su emme yüzdeleri ve porozite değerleri belirlenmiştir. Çalışmanın sonucunda en uygun üretim tekniğinin TS EN 196-1 standardında belirtilen üretim tekniği olduğu sonucuna varılmıştır.

Examination of the Production Technique Specified in TS EN 196-1 Standard

Keywords:

Cement mortar,
Physical properties,
Mechanical properties.

Abstract

In this study, which was carried out to compare the cement production technique specified in TS EN 196-1 standard and 6 alternative production techniques, productions have been made based upon the processes specified in the same TS EN 196-1 standard by changing the admitting order of CEM I 42.5 R-type cement obtained from 3 different firms into the mixing container. The distribution values of the produced samples according to TS EN 1015-3 standard; their fresh density according to EN 12350-6 standard; their strength features for 2, 7, and 28 days according to TS EN 196-1 standard; their hardened density according to TS EN 12390-7 standard; their water absorption percentages and porosity values according to Archimedes' principle have been identified. At the end of the study, it has been concluded that the most feasible production technique is the one specified in the TS EN 196-1 standard.

1. Giriş

Dünya üzerinde artan nüfusla birlikte yapılaşma gereksinimi doğmakta, dolayısıyla yapılaşma için en temel malzeme olan çimentoya olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Çimento üretimi sırasında açığa çıkan CO₂ gazı, çevre

kirliliğinin en önemli sebeplerinden biri [1] olmasına rağmen toplumsal ihtiyaç bu malzemenin üretimini her geçen gün arttırmaktadır.

Uluslararası piyasada önemli bir ticaret ürünü olan çimentonun akreditasyonu sağlanmakta ve ülkelerarası çimento alışverişi sıklıkla yapılmaktadır. Birçok ülke bu akreditasyonu

*Sorumlu yazar: yusufaltunci@isparta.edu.tr

Geliş Tarihi: 16.06.2021, Kabul Tarihi: 13.12.2021

sağlarken EN standartlarından yararlanarak [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11] TS EN, BS EN, DIN EN gibi kendi standartlarını oluşturmuş ve güncellemelerini yine EN standartlarına göre yapmaktadırlar. Bunların içerisinde inşaat endüstrisi tarafından, çimentonun karışım yöntem ve tekniğinin belirtilmesi amacıyla sıklıkla kullanılan standart EN 196-1'dir. Bu standarda göre; çimento harcı üretimi için üretim kabına önce su konulur, daha sonra çimento eklenerek 30 s düşük hızda çalıştırılır, sonraki 30 s lik sürede CEN standart kum ilavesi yapılır, karıştırıcı 30 s yüksek hızda çalıştırılır, 90 s sonra cihaz durdurularak kabın içerisine yapışan harç temizlenerek karışıma ilave edilir ve üretime 60 s yüksek hızda devam edilerek üretim süreci tamamlanır [2].

Diğer harç ve beton üretim yöntemleri ile ilgili literatür bilgileri ise şu şekildedir: Kagir harcı üretimi için EN 998-2 (2016) 'Specification for mortar for masonry - Part 2: Masonry mortar' standardına göre üretim süresi, bütün bileşenler karışıma girdikten sonra ölçülmeye başlanmalıdır şeklinde tanımlanmaktadır [12]. Şap harcı üremi için EN 13892-1 (2002) 'Methods of test for screed materials - Sampling, making and curing specimens for test' standardına göre; üretim işlemi, belirtilen miktarda su veya sıvı bileşen kullanarak, imalatçının talimatlarına titizlikle uyulmak suretiyle gerçekleştirilmesi gerektiğini, su veya sıvı ilavesi için bir değer aralığı verildiyse, ortalama değer kullanarak üretimin yapılması gerektiği şeklinde belirtilmiştir [13]. Beton üretimi için EN 206-1 (2000) 'Concrete - Part 1: Specification, performance, production and conformity' standardına göre betonun ana bileşenlerinin karıştırılması işleminden sonra ilave edilen bileşenler tüm harmanda veya yükte tamamen dağılıncaya ve bir kimyasal katkı ilave edilmesi durumunda bu katkı tamamen etkili hale gelinceye kadar beton tekrar karıştırılmalıdır ifadesi yer almaktadır [14]. Kendiliğinden yerleşen beton için; Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) (2002) "Specification and Guidelines for Self Compacted Concrete", Efnarc Association, Fernham UK, 2002. tarafından; çökme-yayıma, V hunisi, U kutusu, L kutusu ve doldurma kutusu deneyleri için sınır değerler belirlenmiştir fakat kendiliğinden yerleşen beton üretimi için sabit bir üretim tekniği belirlenmemiştir [15].

Harç ve beton üretim yöntem ve tekniklerindeki bu farklılıklar, her parametre

için ayrı ayrı irdeleme yapmaya olanak sağlamaktadır. Bu sebeple çalışmamızda TS EN 196-1 standardında belirtilen üretim tekniği ile diğer tekniklerin karşılaştırılarak, üretim tekniklerinin irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada; su, çimento ve kumun karışıma girme sıraları değiştirilerek TS EN 196-1 standardında belirtilen malzemeler ve süreler baz alınarak 3 farklı firmadan temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimento için 6 farklı tekniğe göre üretimler yapılmıştır. Üretilen örneklerin ilgili standartlara göre yayılma tablası yayılma değerleri, taze birim hacim ağırlıkları, sertleşmiş birim hacim ağırlıkları, su emme yüzdeleri, porozite değerleri ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile literatüre harç ve beton üretim tekniği açısından katkı sağlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çimento harcı üretimlerinde TS EN 196-1 standardında belirtilen su, çimento (3 farklı firmadan temin edilen CEM I 42.5 R tipi) ve CEN standart kum kullanılmıştır.

2.1.1. Su

Deneysel çalışmalarda Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Batı Yerleşkesindeki, içilebilir temizlikteki şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1.2. Çimento

Deneysel 3 farklı firmadan temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento torbalarının hava geçirimsiz olarak paketlenmesine ve taze olmasına ayrıca dikkat edilmiştir. Kullanılan çimentolara ait kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan çimentolara ait fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Çimento	A	B	C
SiO ₂	21.12	20.49	19.2
Al ₂ O ₃	6.03	4.11	4.99
Fe ₂ O ₃	3.2	3.41	4.11
CaO	62.11	64.36	63.16
MgO	2.2	1.76	1.45
SO ₃	2.69	2.55	2.85
Na ₂ O	0.35	0.19	0.19
K ₂ O	1.1	0.51	0.81
Cl ⁻	0.0068	0.0049	0.0047
Kızdırma kaybı	2.79	2.7	4.01
Serbest CaO	0.6	1.8	1.01
Özgül ağırlık g/cm ³	3.08	3.13	3.14
Özgül yüzey (Blaine) cm ² /g	3526	3910	3715
Elek üstü (% >40)	15.6	16	17.1
Elek üstü (% >90)	7.9	8.2	9

2.1.3. CEN Standart Kum

Üretimlerde kullanılan CEN standart kumu, 2.56 g/cm³ yoğunluğunda ve TS EN 196-1 standardına uygundur. CEN Standart kumunun granülometrisi Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. CEN standart kum granülometrisi

Elek açık. (mm)	2	1.6	1	0.5	0.16	0.08
Kümülatif kalan (%)	0	8	34	68	82	100

2.2. Metot

2.2.1. Karışım

Tüm örnekler için, TS EN 196-1 standardında belirtildiği şekilde; 225 g su, 450 g çimento ve 1350 g CEN standart kum kullanılmıştır [16]. Bununla birlikte çimento (3 farklı firmadan temin edilen CEM I 42.5 R tipi), su ve kumun karışıma girme sıraları değiştirilerek TS EN 196-1 standardında belirtilen süreçler ve miktarlar baz alınarak 6 farklı üretim tekniğine göre üretimler yapılmıştır. Üretim tekniklerine ve örneklere ait notasyonlar Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Üretim tekniklerine ve örneklere ait notasyon

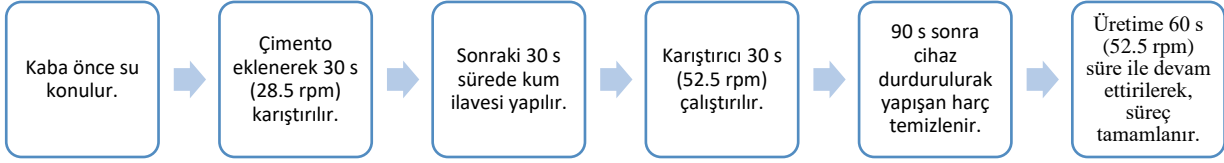
Üretim Tekniği	A Firması	B Firması	C Firması
1	ASÇK	BSÇK	CSÇK
2	ASKÇ	BSKÇ	CSKÇ
3	AÇSK	BÇSK	CÇSK
4	AÇKS	BÇKS	CÇKS
5	AKÇS	BKÇS	CKÇS
6	AKSÇ	BKSÇ	CKSÇ

3 farklı firmadan temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimentolar notasyonda A, B ve C harfleri ile ifade edilmiştir. Notasyonlar belirlenirken, üretim tekniğinde karışıma girme sıralamasına uyulmuştur. 1 nolu üretim tekniği için; TS EN 196-1 standardında belirtilen su - çimento - kum sıralamasına göre SÇK ifadesi, 2 nolu üretim tekniği için; su - kum - çimento sıralamasına göre SKÇ ifadesi, 3 nolu üretim tekniği için; çimento - su - kum sıralamasına göre ÇSK ifadesi, 4 nolu üretim tekniği için; çimento - kum - su sıralamasına göre ÇKS ifadesi, 5 nolu üretim tekniği için; kum - çimento - su sıralamasına göre KÇS ifadesi, 6 nolu üretim tekniği için; kum - su - çimento sıralamasına göre KSÇ ifadesi oluşturulmuştur. Örneğin; su - A firmasından temin edilen çimento - kum sıralamasıyla yapılan üretim için notasyon ASÇK şeklini almıştır.

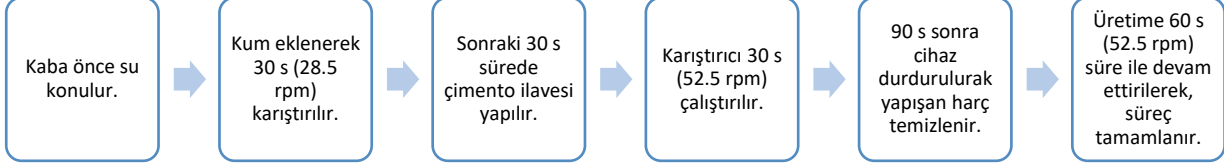
2.2.2. Üretim Tekniği

TS EN 196-1 standardında belirtilen üretim tekniği ile diğer üretim tekniklerinin karşılaştırılarak en doğru tekniğin belirlenmesi amacıyla yapılan bu çalışma da TS EN 196-1 standardında belirtilen süreçler referans alınarak ve sadece kullanılan malzemelerin yerleri değiştirilerek 6 farklı üretim tekniği oluşturulmuştur. Oluşturulan 6 üretim tekniği için işlem basamakları şu şekildedir:

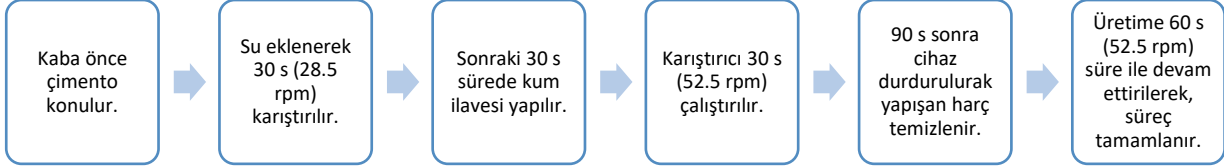
1. Üretim tekniği: Su – Çimento – Kum karışımları için (TS EN 196- 1)



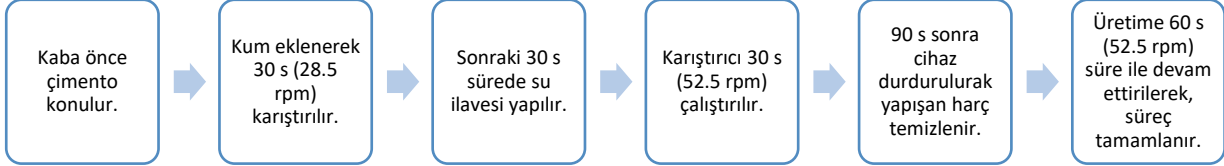
2. Üretim tekniği: Su – Kum – Çimento karışımları için



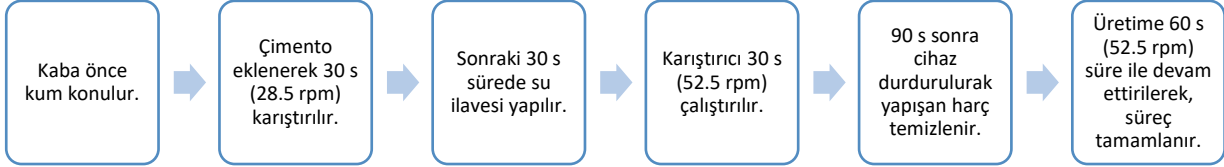
3. Üretim tekniği: Çimento – Su - Kum karışımları için



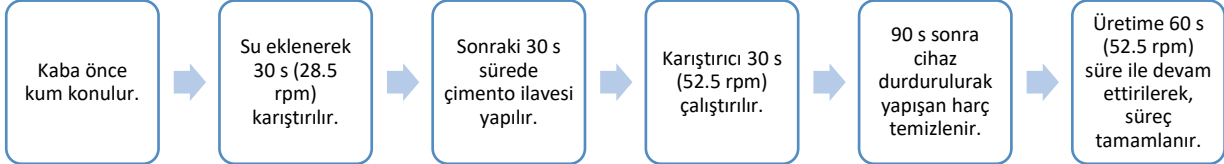
4. Üretim tekniği: Çimento – Kum - Su karışımları için



5. Üretim tekniği: Kum – Çimento – Su karışımları için



6. Üretim tekniği: Kum - Su – Çimento karışımları için



Çalışma kapsamındaki tüm üretimlerde 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik çelik kalıplar kullanılmıştır. Mekanik deneylerde; 1 tip çimentonun, 6 adet üretim tekniği ve 3 zamanı (2,7 ve 28 gün için 9 adet) için 54 adet, 3 farklı çimentonun mekanik deneyleri için 162 adet; fiziksel deneyler için ise 1 tip çimentonun 6 adet üretim tekniği için 3'er adetten 18 adet, 3 farklı tip çimentonun fiziksel özellikleri için de 54 adet üretim olmak üzere toplamda 216 adet üretim yapılmıştır.

2.2.3. Deneysel Prosedür

Üretim aşaması tamamlanan örneklerin öncelikle TS EN 1015-3 standardına göre yayılma değerleri

ölçülmüştür [17]. Daha sonra TS EN 12350-6 standardına göre hacmi belli olan kabın (V_c) darası alınarak içerisine harç karışımı dökülmek suretiyle harçın ağırlığı (M_f) ölçülmüş ve standartta belirtilen Denklem 1 yardımıyla taze harç yoğunlukları (D_f) belirlenmiştir [18].

$$D_f = M_f / V_c \quad (1)$$

Üretilen harç malzemesi, taze harç özelliklerinin belirlenmesinden sonra kalıplara yerleştirilerek vibrasyon işlemine tabi tutulmuştur ve üretimden 24 saat sonra kalıplardan çıkartılarak kür havuzlarına konulmuştur. Deney süresi gelen örnekler 2, 7 ve 28 günün sonunda kür havuzundan çıkartılarak TS EN 196-1 standardına göre önce

eğilme dayanımı deneyine ardından basınç dayanımı deneyine tabi tutularak mekanik deneyler tamamlanmıştır [16]. Mekanik deneyler tamamlandıktan sonra, sertleşmiş harç örneklerinin havadaki ağırlığı (M_a), su içindeki ağırlığı (M_s) ve suyun 0.998 g/cm^3 olarak kabul edilen yoğunluk değerlerinden (d_s) yararlanılarak ve TS EN 12390-7 standardında belirtilen Denklem 2 yardımıyla sertleşmiş harç örneklerinin hacmi (V_s) belirlenmiş ve yine TS EN 12390-7 standardında belirtilen Denklem 3 yardımıyla sertleşmiş harç örneklerinin yoğunlukları (D_h) hesaplanmıştır [19].

$$V_s = (M_a - M_s) / d_s \quad (2)$$

$$D_h = M_a / V_s \quad (3)$$

Örneklerin, ağırlıkça su emme ve porozite yüzdeleri belirlemek için Arşimet yöntemiyle, etüv kurusu ağırlıklarından (M_k), suya doymuş ağırlıklarından (M_{sd}) ve su içerisindeki ağırlıklarından (M_s) yararlanılarak, Denklem 4 yardımıyla ağırlıkça su emme yüzdeleri (S_a), Denklem 5 yardımıyla da porozite (P) yüzdeleri belirlenmiştir.

$$S_a = \left(\frac{M_{sd} - M_k}{M_k} \right) * 100 \quad (4)$$

$$P = (M_{sd} - M_k) / (M_{sd} - M_s) \quad (5)$$

3. Deneysel Sonuçlar

TS EN 1015-3 standardına göre yapılan yayılma tablası deney sonuçları Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 4. Yayılma tablası deney sonuçları

Örnekler	Yayılma (cm)	Örnekler	Yayılma (cm)
ASÇK	16.00	AÇKS	17.20
BSÇK	16.00	BÇKS	17.40
CSÇK	16.10	CÇKS	17.50
ASKÇ	16.50	AKÇS	17.40
BSKÇ	16.20	BKÇS	17.50
CSKÇ	16.80	CKÇS	17.70
AÇSK	17.50	AKSÇ	18.50
BÇSK	17.00	BKSÇ	18.00
CÇSK	17.60	CKSÇ	18.50

Tablo 4'de verilen yayılma tablası deney sonuçlarına göre; en düşük yayılma değeri ortalamasına sahip üretim tekniği 16.03 cm değeri ile SÇK iken en yüksek yayılma değeri ortalamasına sahip üretim tekniği ise 18.33 cm değeri ile KSC' dir. Yayılma değerlerinin üretim

teknikğine göre sıralaması; $KSC > KCS > CSK = ÇKS > SKÇ > SÇK$ şeklindedir. SÇK üretim tekniği hariç diğer tüm üretim teknikleri ile üretilen harçlarda az da olsa segregasyon gözlemlenmiştir. Bu durum SÇK hariç diğer üretim tekniklerinde meydana gelen çimento hamuru ile kum arasındaki aderansın zayıflığı ile açıklanabilir.

TS EN 12350-6 standardına göre yapılan taze harç yoğunluk deney sonuçları Tablo 5'de verilmiştir.

Tablo 5. Taze harç yoğunluk deney sonuçları

Örnekler	Yoğunluk (g/cm^3)	Örnekler	Yoğunluk (g/cm^3)
ASÇK	2.33	AÇKS	2.33
BSÇK	2.32	BÇKS	2.35
CSÇK	2.33	CÇKS	2.35
ASKÇ	2.31	AKÇS	2.30
BSKÇ	2.31	BKÇS	2.31
CSKÇ	2.32	CKÇS	2.33
AÇSK	2.35	AKSÇ	2.30
BÇSK	2.35	BKSÇ	2.31
CÇSK	2.35	CKSÇ	2.33

Tablo 5'de verilen taze harç yoğunluk deney sonuçlarına göre; en düşük ortalama taze harç yoğunluk değeri 2.31 g/cm^3 ile KÇS ve KSC üretim tekniğine göre üretilen çimento harçlarından ve en yüksek ortalama taze harç yoğunluk değeri ise 2.35 g/cm^3 değeri ile ÇSK üretim tekniğine göre üretilen çimento harçlarından elde edilmiştir. Taze harç yoğunluk değerlerinin üretim tekniğine göre sıralaması; $ÇSK > ÇKS > SÇK > SKÇ = KÇS = KSC$ şeklindedir. Bununla birlikte taze harç yoğunluk değerleri için, virgülden sonraki ikinci hanedeki rakamlar küçük farklar açısından bir anlam ifade etmemektedir.

TS EN 196-1 standardına göre yapılan 2, 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları Tablo 6' da, 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları ise Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 6. 2-7-28 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları

Örnekler	2 günlük eğilme dayanımı (MPa)	7 günlük eğilme dayanımı (MPa)	28 günlük eğilme dayanımı (MPa)
ASÇK	5.11	6.25	8.14
ASKÇ	4.99	5.42	7.59
AÇSK	3.42	3.91	5.89
AÇKS	4.51	4.96	6.99
AKÇS	4.55	5.11	7.06
AKSÇ	4.39	4.85	6.76
BSÇK	5.00	6.29	8.19
BSKÇ	4.65	6.26	8.21
BÇSK	3.11	4.35	6.53
BÇKS	4.12	5.42	7.56
BKÇS	4.42	6.01	7.72
BKSÇ	4.02	5.29	7.42
CSÇK	5.19	6.38	8.30
CSKÇ	4.80	5.63	8.10
CÇSK	3.16	3.87	6.36
CÇKS	4.23	5.05	7.32
CKÇS	4.40	5.16	7.50
CKSÇ	4.10	4.88	7.15

Tablo 7. 2-7-28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları

Örnekler	2 günlük basınç dayanımı (MPa)	7 günlük basınç dayanımı (MPa)	28 günlük basınç dayanımı (MPa)
ASÇK	29.00	38.60	47.90
ASKÇ	28.40	37.90	47.10
AÇSK	19.40	27.20	40.20
AÇKS	25.70	35.50	46.10
AKÇS	25.90	35.80	46.20
AKSÇ	25.10	34.90	45.40
BSÇK	27.20	40.10	52.00
BSKÇ	26.30	39.50	51.50
BÇSK	15.60	28.10	41.80
BÇKS	22.90	36.00	48.80
BKÇS	23.70	36.90	49.10
BKSÇ	21.60	35.10	46.90
CSÇK	26.50	42.20	54.00
CSKÇ	25.20	41.70	53.20
CÇSK	15.10	30.30	42.60
CÇKS	21.00	38.90	49.90
CKÇS	21.20	39.40	50.20
CKSÇ	20.70	37.60	48.50

Tablo 6 ve Tablo 7’de verilen verilere göre; en yüksek eğilme dayanımı ortalaması 2 günlük örneklerde 5.10 MPa, 7 günlük örneklerde 6.31 MPa ve 28 günlük örneklerde ise 8.21 MPa ile SÇK üretim tekniği ile üretilen çimento harçlarından elde edilmiştir. Benzer şekilde 2, 7 ve 28 günlük en yüksek basınç dayanımı ortalamaları

da sırasıyla 27.57 MPa, 40.30 MPa ve 51.30 MPa değeri ile SÇK üretim tekniği ile üretilen örneklerden elde edilmiştir.

2, 7 ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin, üretim tekniğine göre sıralaması; SÇK > SKÇ > KÇS > ÇKS > KSC > ÇSK şeklindedir. Çimento harçlarının üretimi sırasında kaba önce suyun konulması SÇK ve SKÇ karışımlarının daha homojen olmasını sağlamıştır. Geleneksel beton üretim yöntemi olarak bilinen kuru karışımla başlanan karışım yöntemleri (KÇS ve ÇKS) ise en iyi 3. ve 4. dayanım değerlerinin alındığı örnek gruplarıdır. Kum, su ve çimento, su ile başlanan üretim yöntemleri ise dayanım değerlerinin düşük olduğu örnek gruplarını oluşturmuştur. Bu sonuçlara göre hidrasyonun en etkili olduğu üretim yönteminin SÇK üretim yöntemi olduğu söylenebilir.

TS EN 12390-7 standardına göre yapılan sertleşmiş harç yoğunluk deney sonuçları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Sertleşmiş harç yoğunluk deney sonuçları

Örnekler	Yoğunluk (g/cm ³)	Örnekler	Yoğunluk (g/cm ³)
ASÇK	2.29	AÇKS	2.26
BSÇK	2.28	BÇKS	2.27
CSÇK	2.29	CÇKS	2.29
ASKÇ	2.27	AKÇS	2.27
BSKÇ	2.28	BKÇS	2.27
CSKÇ	2.28	CKÇS	2.29
AÇSK	2.25	AKSÇ	2.27
BÇSK	2.26	BKSÇ	2.27
CÇSK	2.26	CKSÇ	2.28

Tablo 8’ de verilen sertleşmiş harç yoğunluk deney sonuçlarına göre; ortalama sertleşmiş harç yoğunluk değerleri sırasıyla SÇK üretim tekniğine göre üretilen çimento harçlarında 2.29 g/cm³, SKÇ ve KÇS üretim tekniğine göre üretilen çimento harçlarında 2.28 g/cm³, ÇKS ve KSC üretim tekniğine göre üretilen çimento harçlarında 2.27 g/cm³ ve ÇSK üretim tekniğine göre üretilen çimento harçlarında ise 2.26 g/cm³ olarak bulunmuştur. Sertleşmiş harç yoğunluk değerlerinin üretim tekniğine göre sıralaması; SÇK > SKÇ = KÇS > ÇKS = KSC > ÇSK şeklindedir. Sertleşmiş harç yoğunluk değeri sıralaması ile taze harç yoğunluk değeri sıralaması arasındaki fark hidrasyona girmeyen önemsenmeyecek miktardaki suyun buharlaşmış olması ile açıklanabilir.

Arşimet yöntemine göre yapılan ağırlıkça su emme deney sonuçları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9. Ağırlıkça su emme deney sonuçları

Örnekler	Ağırlıkça su emme (%)	Örnekler	Ağırlıkça su emme (%)
ASÇK	77.41	AÇKS	78.82
BSÇK	78.28	BÇKS	79.50
CSÇK	78.20	CÇKS	78.80
ASKÇ	78.98	AKÇS	78.68
BSKÇ	78.49	BKÇS	79.05
CSKÇ	78.65	CKÇS	79.25
AÇSK	79.58	AKSÇ	78.11
BÇSK	79.95	BKSÇ	77.88
CÇSK	79.57	CKSÇ	78.26

Tablo 9'daki verilere göre ağırlıkça en yüksek ortalama su emme yüzdesine sahip örnek % 79.70 ile ÇSK üretim tekniğine göre üretilen çimento harcı iken ağırlıkça en az ortalama su emme yüzdesine sahip örnek ise % 77.96 ile SÇK üretim tekniğine göre üretilen çimento harcı örnekleridir. Sertleşmiş harç ağırlıkça su emme ortalamasının üretim tekniğine göre sıralaması; ÇSK > ÇKS > KÇS > SKÇ > KSCÇ > SÇK şeklindedir.

Arşimet yöntemine göre yapılan porozite deney sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Porozite deney sonuçları

Örnekler	Porozite (%)	Örnekler	Porozite (%)
ASÇK	1.00	AÇKS	1.00
BSÇK	1.00	BÇKS	1.01
CSÇK	1.01	CÇKS	1.01
ASKÇ	1.00	AKÇS	1.00
BSKÇ	1.01	BKÇS	1.00
CSKÇ	1.01	CKÇS	1.01
AÇSK	1.00	AKSÇ	1.00
BÇSK	1.01	BKSÇ	1.00
CÇSK	1.00	CKSÇ	1.00

Tablo 10'da verilen porozite deney sonuçlarına göre, üretilen örneklerin üretim tekniği fark etmeksizin, porozite değerlerinin ortalaması % 1.00 olarak bulunmuştur. Porozite ortalamasının üretim tekniğine göre sıralaması; SÇK = SKÇ = ÇSK = ÇKS = KÇS = KSCÇ şeklindedir. Porozite oranları tüm örneklerde % 1 civarında olduğu için ağırlıkça su emmesi düşük olan örneklerde kapalı boşlukların biraz daha fazla olduğu söylenebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

TS EN 196-1 standardında belirtilen üretim tekniği ile diğer alternatif üretim tekniklerinin

karşılaştırılması amacıyla yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Yayılma değerleri içerisinde en küçük değer SÇK (TS EN 196-1) üretim tekniği ile üretilen çimento harçlarından elde edilmiş olsa da sadece SÇK üretim tekniğinde segregasyon oluşmamıştır. Bunun sebebi SÇK üretim tekniği ile üretilen çimento harçlarında, önce su ile çimentonun reaksiyona girerek çimento hamurunu oluşturması ardından karışıma kum ilavesi yapılarak harç içerisindeki aderansın artırılması ile açıklanabilir.
- Taze harç yoğunluk değerlerindeki virgülden sonraki ikinci hanedeki rakamlar küçük farklar açısından bir anlam ifade etmemektedir.
- 2, 7 ve 28 günlük en yüksek eğilme ve en yüksek basınç dayanımı mukavemeti değerleri, TS EN 196-1 standardında belirtilen SÇK üretim tekniği ile üretilen çimento harçlarından elde edilmiştir.
- ÇSK üretim tekniği ile üretilen çimento harçlarının 2 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin, TS EN 196-1 standardında CEM I 42.5 R tipi çimento için belirtilen 2 günlük basınç dayanımı en az 20 MPa ve 28 günlük basınç dayanımı en az 42.5 MPa, olma şartlarını sağlayamadığı sonucuna varılmıştır.
- ÇSK üretim tekniği hariç diğer tüm üretim teknikleri açısından, örneklerin 2 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri TS EN 196-1 standardında CEM I 42.5 R tipi çimento için belirtilen aralıktadır.
- En yüksek sertleşmiş harç yoğunluk değerine sahip örnekler SÇK ve SKÇ üretim tekniğiyle üretilen örneklerden elde edilmiştir.
- Ağırlıkça en az su emme yüzdesine sahip örnek SÇK üretim tekniğiyle üretilen örneklerden elde edilmiştir.
- Bütün örneklerin porozite değerleri % 1 olarak bulunmuştur.

- TS EN 196-1 standardında belirtilen tekniğin (SÇK), çimento harçları için en iyi üretim tekniği olduğu sonucuna varılmıştır.
- Diğer harç ve beton türleri içinde en iyi üretim tekniğinin irdelenmesi için benzer çalışmaların yapılması önerilir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] G. Kara, A. İbiç and E. Yağcıoğlu, “Çimento sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları,” *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, vol. 1, no. 2, pp. 87-90. 2018.
- [2] *Methods of Testing Cement - Part 1: Determination of Strength*, EN 196-1, 2016.
- [3] *Method of Testing Cement - Chemical Analysis of Cement*, EN 196-2, 2013.
- [4] *Methods of Testing Cement - Determination of Setting Times and Soundness*, EN 196-3, 2016.
- [5] *Methods of Testing Cement - Pozzolanicity Test for Pozzolanitic Cement*, EN 196-5, 2011.
- [6] *Methods of Testing Cement - Determination of Fineness*, EN 196-6, 2018.
- [7] *Methods of Testing Cement - Methods of Taking and Preparing Samples of Cement*, EN 196-7, 2007.
- [8] *Methods of Testing Cement - Heat of Hydration - Solution Method*, EN 196-8, 2010.
- [9] *Methods of Testing Cement - Heat of Hydration - Semi-Adiabatic Method*, EN 196-9, 2010.
- [10] *Methods of Testing Cement - Determination of the Water-Soluble Chromium (VI) Content of Cement*, EN 196-10, 2016.
- [11] *Methods of Testing Cement - Heat of Hydration - Isothermal Conduction Calorimetry Method*, EN 196-11, 2018.
- [12] *Specification for Mortar for Masonry - Part 2: Masonry Mortar*, EN 998-2, 2016.
- [13] *Methods of Test for Screed Materials - Part 1: Sampling, Making and Curing Specimens for Test*, EN 13892-1, 2002.
- [14] *Concrete - Part 1: Specification, Performance, Production and Conformity*, EN 206-1, 2000.
- [15] *Specification and Guidelines for Self Compacted Concrete*, Efnarc Association, EFNARC, 2002.
- [16] *Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini*, TS EN 196-1, 2016.
- [17] *Kagir Harcı- Deney Metotları- Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma Tablası ile)*, TS EN 1015-3, 2000.
- [18] *Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 6: Birim Hacim Kütleleri*, TS EN 12350-6, 2019.
- [19] *Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini*, TS EN 12390-7, 2019.

Sigmoid-Gumbel: Yeni Bir Hibrit Aktivasyon Fonksiyonu

Mustafa KAYTAN^{1*}, İbrahim Berkan AYDİLEK², Celaleddin YEROĞLU³,
Ali KARCI⁴



¹Bilgisayar Programcılığı Programı, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü,
Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa

²Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa

³Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya

⁴Yazılım Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İnönü Üniversitesi, Malatya

(ORCID: [0000-0002-8416-6520](https://orcid.org/0000-0002-8416-6520)) (ORCID: [0000-0001-8037-8625](https://orcid.org/0000-0001-8037-8625)) (ORCID: [0000-0002-6106-2374](https://orcid.org/0000-0002-6106-2374))

(ORCID: [0000-0002-8489-8617](https://orcid.org/0000-0002-8489-8617))

Anahtar kelimeler:

Aktivasyon fonksiyonu,
Derin sinir ağı, Derin
öğrenme.

Öz

Bu makalede daha önce sunulan aktivasyon fonksiyonlarının olumlu yanlarını birleştiren ve onlardan daha iyi başarımlar sağlayan ve Sigmoid-Gumbel (SG) olarak adlandırılan yeni bir hibrit aktivasyon fonksiyonu önerilmiştir. Önerilen fonksiyonun başarımlarını değerlendirmek için dört uygulama yapılmıştır. Yapılan uygulamalarda karşılaştırma fonksiyonları olarak Sigmoid, Gumbel, ReLU ve Adaptive Gumbel fonksiyonları kullanılmıştır. Uygulamalarda MLP ve CNN sinir ağı modelleri kullanılmıştır. MLP ağı derin öğrenmede ikili sınıflandırma sınıf dengesizliği problemi için kullanılmıştır. CNN ağı ise derin öğrenmede görüntü sınıflandırma uygulamaları yapmak üzere tercih edilmiştir. Birinci uygulamada, önerilen fonksiyonun etkinliğini göstermek için MLP ağına 25 dengesiz veri kümesi kullanılmıştır. En yüksek AUC ortalamasını 0.9013 değeri ile SG elde etmiştir. İkinci uygulamada, önerilen fonksiyon CNN ağına MNIST veri kümesi kullanılarak Sigmoid ve Gumbel fonksiyonlarıyla karşılaştırılmıştır. En yüksek ortalama doğruluk değerini 0.9921 ile SG elde etmiştir. Üçüncü uygulamada, önerilen fonksiyonun üç farklı versiyonu karşılaştırılmıştır. Bunun için Fashion-MNIST veri kümesi CNN ağı üzerinde denenmiştir. En yüksek doğruluğu 0.9351 ortalama değeri ile SGv3 elde etmiştir. Dördüncü uygulamada, önerilen fonksiyon CNN ağına MNIST veri kümesi kullanılarak ReLU ve Adaptive Gumbel fonksiyonlarıyla karşılaştırılmıştır. En yüksek başarımlarını 0.9926 değeri ile SG tarafından elde edilmiştir. Yapılan deney sonuçlarına bakıldığında önerilen aktivasyon fonksiyonunun genel olarak daha başarılı olduğu görülmektedir.

Sigmoid-Gumbel: A New Hybrid Activation Function

Keywords: Activation function, Deep neural network, Deep learning.

Abstract

In this article, a new hybrid activation function called Sigmoid-Gumbel (SG) is proposed, which combines the positive aspects of the previously presented activation functions and performs better than them. Four applications were made to evaluate the performance of the proposed function. In the applications, Sigmoid, Gumbel, ReLU and Adaptive Gumbel functions were used as comparison functions. MLP and CNN neural network models were used in the applications. MLP network is used for binary classification class imbalance problem in deep learning. CNN network is preferred to perform image classification applications in deep learning. In the first application, 25 unbalanced datasets are used in the MLP network to demonstrate the effectiveness of the proposed function. SG had the highest mean AUC with a value of 0.9013. In the second application, the proposed function is compared with the

*Sorumlu yazar: mkaytan@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 03.09.2021, Kabul Tarihi: 04.03.2022

Sigmoid and Gumbel functions using the MNIST dataset in the CNN network. SG obtained the highest average accuracy value of 0.9921. In the third application, three different versions of the proposed function are compared. For this, the Fashion-MNIST dataset has been tested on the CNN network. SGv3 achieved the highest accuracy with an average value of 0.9351. In the fourth application, the proposed function is compared with ReLU and Adaptive Gumbel functions using MNIST dataset in CNN network. The highest performance was obtained by SG with a value of 0.9926. Considering the experimental results, it is seen that the proposed activation function is more successful in general.

1. Giriş

Yapay Sinir Ağları (YSA) tahmin, örüntü tanıma, sınıflandırma, fonksiyon yaklaşımı gibi problemleri farklı disiplinlerde kullanan hesaplamalı modelleme araçlarıdır. YSA'lar, ayarlanabilir parametreleri olan ve nöron olarak adlandırılan basit işlem birimlerinden oluşurlar. Nöronlar, veri işlemede paralel hesaplamaların yapılmasını sağlarlar. Öğrenme, biyolojik nöronlar arasındaki sinaptik bağlantılarla gerçekleştirilir. Yapay öğrenme ise yapay nöronlar arasında yapılan bazı ayarlamalarla gerçekleştirilir. YSA, biyolojik bir sistemin, genelleştirilmiş bulanık mantık, işlem kabiliyeti, öğrenme, hata ve hata toleransı, sağlamlık, yüksek düzeyde paralellik, doğrusal olmama (nonlinear) gibi bilgi işleme özelliklerinden faydalanmaktadır. YSA, çeşitli parametreleri kullanarak ve verilen örneklerden yinelemeler yaparak öğrenen bir matematiksel modelleme yöntemidir.

Sinir ağlarının dikkat çeken bazı yetenekleri şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Genelme: daha önce görmediği veri kümelerinde uygulanabilme
- ✓ Yüksek paralellik: donanım hata toleransını ve hızlı veri işlemeyi sağlayabilme
- ✓ Uyumluluk ve öğrenme: değişken dış ortamlarda iç yapısını güncelleyebilme
- ✓ Doğrusal olmama: veri kümelerine daha iyi uyum sağlayabilme
- ✓ Gürültü duyarsızlığı: ölçüm hatalarını ve belirsiz verileri daha iyi tahmin etme

Modelin öğrenmesi, ağırlık olarak adlandırılan parametrelerin güncellenmesiyle gerçekleştirilir. Modelin önemli hiper parametrelerinden biri, her bir nöronun ayrı ayrı gerçekleştirdiği aktivasyon fonksiyonudur. Modelin doğrusal olmama özelliği aktivasyon fonksiyonu ile gerçekleştirilir. Aktivasyon fonksiyonu seçimi sinir ağının başarımını büyük oranda değiştirebilir.

Standart Derin Sinir Ağı (DSA) modelleri sınıflandırmada çeşitli uygulamalarda başarıyla uygulanmıştır [1]. Ancak, dengesiz verilerden oluşan ve çarpık sınıf dağılımına sahip veri kümeleri standart derin öğrenme mimarilerinde düşük sınıflandırma başarımına sebep olmaktadır [2], [3]. Dengesiz veriler, veri kümesinde azınlık olarak adlandırılan bazı sınıfların çoğunluk olarak adlandırılan diğer sınıflara göre çok az yer alması şeklinde tanımlanabilir. Standart derin öğrenme mimarileri, azınlık örnekleri nadir olduğundan, azınlık sınıfları çoğunluk sınıflara kıyasla yanlış sınıflandırabilmektedir [4], [5].

Sınıf dengesizliği problemi, web reklamcılığı, dolandırıcılık tespiti ve tıbbi teşhis gibi birçok uygulamada görülen yaygın bir problemdir. Standart derin öğrenme yöntemleri, dengeli sınıfların olduğu veri kümelerinde yüksek başarımlar elde edebilmektedir. Ancak bu yöntemlerin başarımlarının dengesiz veri kümeleri söz konusu olduğunda düşük olduğu görülmektedir.

Aktivasyon fonksiyonu seçimi oldukça karmaşık bir süreçtir. Bir DSA'nın doğruluğu ve başarımı üzerinde birçok etkiye sahiptir. Keşfe dayalı basit bir seçim süreci bile yakınsama için kapsamlı deneme yanılma analizine ihtiyaç duyar. Yapılacak analiz sonucu bize yüksek kaliteli bir çözüm bulmayı garanti edemez.

Bu nedenlerden dolayı çalışmamızdaki motivasyon öğrenme eğrisinden yararlı bilgiler çıkarmanın etkili bir yolunu bulmak ve geliştirmektir. Ayrıca daha iyi bir başarımlar oranı sağlayabilecek aktivasyon fonksiyonlarını araştırmak ve tanımlamaktır. Eğitim sırasında temel aktivasyon fonksiyonlarının kombinasyonlarını otomatik olarak öğrenebilen iki yaklaşım incelenmiştir. Konveks kombinasyonu veya afin kombinasyonu olarak adlandırılan yaklaşımlarla aktivasyon fonksiyonları için bir arama uzayının belirlenebilmesi [6] de çalışmamızdaki motivasyonlardandır.

Bu makalede Sigmoid-Gumbel (SG) adlı yeni bir hibrit aktivasyon fonksiyonu önerilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonu, çalışmamızın

etkisini görmek için 4 farklı deneyde kullanılmıştır. Birinci deneyde ikili sınıflandırma sınıf dengesizliği problemi için çeşitli veri kümeleriyle değerlendirmeler yapılmıştır. Bir çok katmanlı algılayıcı (Multi Layer Perceptron-MLP) ağında bazı veri kümeleriyle başarımlar elde edilmiştir. Elde edilen başarımların diğer fonksiyonların başarımlarından daha yüksek olduğu gözlenmiştir. İkinci deneyde bir CNN modelinde MNIST veri kümesi kullanılmıştır. Önerilen aktivasyon fonksiyonu, Sigmoid ve Gumbel ile karşılaştırılmış ve başarımının yüksek olduğu gözlenmiştir. Üçüncü deneyde aynı CNN modelinde Fashion-MNIST veri kümesi kullanılmıştır. Önerilen aktivasyon fonksiyonunun farklı versiyonları olan SGv2, SGv3 ve SGv4 karşılaştırılmıştır. Bazı versiyonların başarımlarının diğerlerine göre yüksek olduğu görülmüştür. Dördüncü deneyde aynı CNN modelinde MNIST veri kümesi kullanılmıştır. Önerilen aktivasyon fonksiyonu, ReLU ve Adaptive Gumbel ile karşılaştırılmış ve başarımının yüksek olduğu gözlenmiştir.

Çalışmanın geri kalan kısımları şu şekilde düzenlenmiştir: Bölüm 2’de önceki çalışmalara yer verilmiştir. Bölüm 3’te derin öğrenme ile ilgili bazı temel bilgiler sunulmuştur. Bölüm 4’te önerilen yeni hibrit SG aktivasyon fonksiyonu anlatılmıştır. Bölüm 5’te materyal ve metot açıklanmıştır. Bölüm 6’da bulgular ve tartışma sunulmuştur. Bölüm 7’de sonuç ve öneriler kısmına yer verilmiştir.

2. Önceki Çalışmalar

Apicella ve arkadaşları [7] tarafından yapılan bir çalışmada yeni bir aktivasyon fonksiyonu oluşturmak için bir ağı az sayıda nöronla yerel alt ağlar ekleyen bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin farklı bir aktivasyon fonksiyonuna ve daha fazla parametreye gerek duyulmadan daha iyi sonuçları olduğu görülmüştür.

Ding ve arkadaşları [8] tarafından yapılan bir çalışmayla yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının durumu ve gelişmeleri incelenmiştir. Aktivasyon fonksiyonlarının sinir ağları üzerindeki etkileri, avantajları ve dezavantajları tartışılmıştır. Farklı aktivasyon fonksiyonlarının başarımını karşılaştırmak için MNIST veri kümesi kullanılmıştır.

Babu ve Edla [9] tarafından sunulan bir çalışmada yeni bir parametrik cebirsel

aktivasyon (Parametric Algebraic Activation-PAA) fonksiyonu önerilmiştir. Önerilen fonksiyon, Elliott aktivasyon fonksiyonunun özel bir durumu olan genelleştirilmiş bir fonksiyon olarak düşünülmüştür. Önerilen fonksiyon, S-şekilli bir eğriler ailesi olan ve aktivasyon fonksiyonlarının tüm önemli özelliklerini karşılayan bir fonksiyon gibi tasarlanmıştır. Önerilen fonksiyonunun başarımı, çeşitli veri kümeleri kullanılarak yaygın olarak kullanılan aktivasyon fonksiyonlarıyla eğitim tur (epoch) sayısı ve test hatası açısından karşılaştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda önerilen fonksiyonun başarılı olduğu gösterilmiştir.

Ramachandran ve arkadaşları [10] tarafından sunulan bir çalışmayla Swish adlı yeni bir aktivasyon fonksiyonu önerilmiştir. Yapılan deneylerle Swish’in bazı veri kümeleri üzerinde daha derin modellerde ReLU’dan daha iyi olduğu gösterilmiştir. ImageNet sınıflandırma doğruluğu için, ReLU birimleri Swish birimleriyle değiştirilip Mobile NASNet-A ve Inception-ResNet-v2’de test edilmiştir. Swish’in basitliği ve ReLU’ya olan benzerliğinden dolayı, herhangi bir sinir ağında ReLU birimlerinin Swish birimleriyle değiştirilmesiyle etkili sonuçların alındığı görülmüştür.

Xu ve arkadaşları [11] tarafından yapılan diğer bir çalışmada yaygın olarak kullanılan iki doymuş fonksiyon olan lojistik sigmoid ve tanh incelenmiştir. Lojistik fonksiyonun orijine yakın eğimi ve sıfır merkezli olmayan özelliği DSA eğitimini zorlaştırmıştır. Lojistik sigmoid doğru bir şekilde yeniden ölçeklendirilerek tanh ile karşılaştırılmıştır. Tanh, aynı yöntem takip edilerek ve negatif kısım cezalandırılarak geliştirilmiştir. Cezalandırılmış tanh’ın derin CNN ağlarında ReLU ve leaky ReLU gibi doymamış fonksiyonlardan daha iyi başarımlar sağladığı gösterilmiştir.

Agostinelli ve arkadaşları [12] tarafından yapılan diğer bir çalışmayla gradyan iniş kullanılarak her nöron için bağımsız öğrenen yeni bir parçalı doğrusal aktivasyon fonksiyonu tasarlanmıştır. Sunulan yeni aktivasyon fonksiyonu ile farklı DSA mimarileri geliştirilmiştir. CIFAR-10 ve CIFAR-100 üzerinde çok iyi başarımlar elde edilmiştir.

Zhou ve arkadaşları [13] tarafından sunulan farklı bir çalışmada Shape Autotuning Activation Function (SAAF) adlı yeni bir aktivasyon fonksiyonu önerilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonu, sigmoid ve tanh gibi pürüzsüz aktivasyon fonksiyonlarının ve ReLU ve çeşitleri gibi parçalı aktivasyon fonksiyonlarının avantajlarını kullanmış ve eksikliklerini gidermiştir. Sunulan aktivasyon fonksiyonu ile negatif bilgileri

yakalanmış ve sıfıra yakın bir ortalama çıktı sağlanmıştır. Bunun için bir uyarlamalı bağımsız eğitilebilir çift parametre ayarlanmıştır. Bu şekilde daha iyi bir başarımla elde edilmiş ve daha hızlı bir öğrenme gerçekleştirilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonu, ağ eğitimi sırasında çıktının daha kararlı bir dağılımını sağlamak için sınırlı çıktılar sunmuştur. Sunulan aktivasyon fonksiyonu, görüntü sınıflandırma, makine çevirisi ve üretken modelleme gibi çeşitli görevlerde uygulanan DSA'larda değerlendirilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonunun yapılan kapsamlı karşılaştırma çalışmasıyla son teknoloji aktivasyon fonksiyonlarından daha üstün olduğu gösterilmiştir.

Farhadî ve arkadaşları [14] tarafından sunulan farklı bir çalışmayla sinir ağının bir şekil parametresi üzerinden eğitilmesi önerilmiştir. Bu sayede her nöronun kendi aktivasyon fonksiyonunu ayarlaması ve nöron eğiliminin daha iyi bir tahmine uyarlanması sağlanmıştır. Bu değişiklik her nöron için geri yayılıma sadece bir denklem daha eklenmiştir. Aktivasyon fonksiyonları ile kümülatif dağılım fonksiyonları arasındaki ilişki incelenmiştir. Aktivasyon fonksiyonlarının eğriliğini ve pürüzsüzlüğünü incelemek için kapsamlı bir aktivasyon fonksiyonu sınıfı araştırması yapılmıştır. Bunun için Gumbel ve Sigmoid arasında bir köprü olarak Adaptive Gumbel aktivasyon fonksiyonu sunulmuştur. Sunulan aktivasyon fonksiyonu, ReLU'nun pürüzsüz bir türünü oluşturmak için önerilmiştir. Önerilen fonksiyon diğer bazı aktivasyon fonksiyonlarıyla karşılaştırılmış ve tahminlerin iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Cai ve arkadaşları [15] tarafından yapılan bir çalışmada bazı yeni tür aktivasyon fonksiyonları önerilmiştir. Sunulan aktivasyon fonksiyonlarına sahip DSA'ların, geleneksel stokastik gradyan iniş (Stochastic Gradient Descent-SGD) ve ortalama normalleştirilmiş SGD ile eğitilebilecekleri belirtilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonlarının sınıflandırma sorunlarını çözümedeki başarımları incelenmiştir. TIMIT veri kümesiyle yapılan deneylerde, konuşma tanıma görevlerinde daha iyi başarımla sağlanmış ve fonem hata oranlarında iyileşme elde edilmiştir. Büyük eğitim kümeleriyle yapılan diğer deneylerde, ortalama normalleştirilmiş SGD ile eğitim süreçlerinin kolaylaştığı görülmüştür. Modeller, eğitim kümesi yeterince büyük olduğunda, ön eğitim

olmadan da doğrudan eğitilebilmiştir. Bunun sonucunda kelime hata oranlarında önemli bir iyileşme sağlanmıştır.

Koçak ve Şiray [16] tarafından yapılan bir çalışmayla bilinen aktivasyon fonksiyonlarının avantajlarını birleştiren ve onlardan daha iyi başarımla gösteren bazı yeni aktivasyon fonksiyonları tanıtılmıştır. Bu amaçla, generalized swish, mean-swish, ReLU-swish, triple-state swish, sigmoid-algebraic, triple-state sigmoid, exponential swish, sinc-sigmoid olarak adlandırılan ve sigmoid'in türevi olan bazı yeni aktivasyon fonksiyonları önerilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonları iyi bilinen ve yakın zamanda önerilen bazı aktivasyon fonksiyonlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu aktivasyon fonksiyonlarının başarımlarını araştırmak için simüle edilmiş veriler (simulated data), optik ara bağlantı ağı verileri (optical interconnection network data), arabaların özellikleri verileri (specifications of cars data) ve ortalama ev maliyetleri verileri (average house costs data) olmak üzere dört farklı veri kümesi kullanılmıştır.

3. Derin Öğrenme

Derin öğrenme, makine öğreniminin bir evrimi olan YSA'dan türemiştir. Derin ağ modelleri farklı katmanlardan oluşur. Derin öğrenme, karmaşık kavramları ve ilişkileri modellemede kullanılan ikiden fazla katmana sahip bir makine öğrenme algoritmasıdır [17]. Derin öğrenme, sosyal ağ filtreleme, görüntü tanıma, konuşma tanıma ve doğal dil işleme gibi farklı kategorilerde araştırılmaktadır. Derin öğrenme algoritmaları, farklı kaynaklardan elde edilen büyük veriler arasında korelasyonlar bulma yeteneğine sahiptir. Ancak, özellik öğrenme ve sınıflandırma veya kümelemeyi eşzamanlı olarak yapma yeteneklerinde farklıdır [18]. Derin öğrenme mimarileri, üretken (generative), ayırt edici (discriminative) ve hibrit (hybrid) mimariler olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir [19].

3.1. Aktivasyon Fonksiyonları

Biyolojik sinir ağında bir nöronun

$$z_i = g(x, w_i)$$

şeklinde yaptığı işlem bir aktivasyon fonksiyonudur. Bu işlemin çıktısı olan ve diğer bir nörona aktarılan genel aktivite ise

$$y_i = f(z_i)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bir nöronun ateşleme oranına göre iki durumu vardır. Nöronu ateşleyebilir veya ateşlemeyebilir. YSA'da bir nöronun önemli bir bileşeni olan aktivasyon fonksiyonu, ağıın başarımını etkiler ve nöronun çıktısını değiştirir. Step, Tanh ve Sigmoid en çok kullanılan aktivasyon fonksiyonlarıdır. Çok katmanlı ileri beslemeli bir ağda farklı aktivasyon fonksiyonlarının bir karışımı uygulanabilir. Literatürde YSA'da çok farklı aktivasyon fonksiyonlarının kullanıldığı görülmektedir.

3.1.1. Sigmoid Aktivasyon Fonksiyonu

Lojistik aktivasyon fonksiyonu olarak da bilinir. YSA'da bir eşik fonksiyonu olarak kullanılır. S şeklinde bir eğri oluşturur. Lojistik regresyon, Gauss olasılık dağılımına bir yaklaşım olarak ve bulanık mantık teorisinde bir üyelik fonksiyonu olarak kullanılır. 0 ile 1 arasında sayılar üretir.

Matematiksel model Denklem (1)'de gösterilmiştir.

$$y = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (1)$$

Denklem (2)'de Denklem (1)'in türevi gösterilmiştir.

$$\frac{d}{dx}y = \frac{e^x}{(1 + e^x)^2} \quad (2)$$

3.1.2. Gumbel Aktivasyon Fonksiyonu

Gumbel dağılımı, genelleştirilmiş aşırı değer (Generalized Extreme Value-GEV) dağılımı Tip-I olarak da adlandırılır. Farklı türdeki dağılımların aşırı örneklerinin dağılımını tasarlamak için kullanılır. Yaygın bir kullanım alanına sahiptir [20]. Gumbel fonksiyonu, ana dağılım veya asimptotik bir yaklaşım olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Örnek olarak; aşırı rüzgar hızları, seller, ölüm yaşı, minimum veya maksimum sıcaklık, malzemelerin elektriksel dayanımı, finansal risk değerlendirmesi, jeolojik problemler verilebilir [21]. Gumbel dağılım fonksiyonu sürekli olarak türevlenebilme özelliğine sahiptir. Bu özelliğinden dolayı SGD optimizasyonu ile sinir ağı modellerinde bir aktivasyon fonksiyonu gibi kullanılabilir. Asimetriden dolayı yanlış sınıflandırmayı her iki sınıfta da farklı şekilde cezalandırmaktadır [22].

Denklem (3)'te Gumbel için CDF gösterilmiştir.

$$y = e^{-e^{-x}} \quad (3)$$

Denklem (4)'te Denklem (3)'ün türevi gösterilmiştir.

$$\frac{d}{dx}y = e^{-e^{-x}-x} \quad (4)$$

4. Önerilen Yeni Bir Hibrit Sigmoid-Gumbel Aktivasyon Fonksiyonu

Bu çalışmada, derin sinir ağlarında ilgi odağı haline gelen kaybolan gradyan probleminin (vanishing gradient problem) üstesinden gelmek için yeni bir hibrit Sigmoid-Gumbel aktivasyon fonksiyonu önerilmiştir. Derin sinir ağlarında, kaybolan gradyan problemi nedeniyle ağlar çok az güncellenir veya kullanılamaz hale gelir. Bu süreç sinir ağıının derinleşmesini ve öğrenmesini engeller. Modelin eğitim için çok fazla hesaplama gücü kullanmasına neden olabilir. Dolayısıyla bu, derin öğrenmede yerel minimumlara düşmeye neden olabilir [23]. Kaybolan gradyan problemi Hochreiter [24] tarafından keşfedilmiştir. Bu sorun, kademeli derin sinir ağlarında her işlem adımında çok sayıda türev alındığında meydana gelir. Derin sinir ağı derinleşmeye başladıkça türevler küçüldükçe gradyan kaybolur. Bu da modelin öğrenme sürecinde bir düşüşe neden olur. Örneğin derin sinir ağlarında yaygın olarak kullanılan sigmoid ve tanjant aktivasyon fonksiyonlarını kullanan modellerde kaybolan gradyan problemi gözlenmiştir [25]. Kaybolan gradyan probleminin üstesinden gelebilmek için türevlenebilir fonksiyonlarla değiştirilmesi gerekir. Böylece sürekli bir öğrenme süreci sağlanır ve hatalar geri yayılır. Kaybolan gradyan probleminin üstesinden gelmek için çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Doğrusal olmayan farklı tipte birçok fonksiyon önerilmiştir. Sigmoid, bilinen en iyi doğrusal olmayan fonksiyondur. Girdi gerçek değerini 0 ile 1 arasında normalleştirir. Gizli katmanlardan giriş katmanlarına doğru geri yayılım aşamasında sıfır merkezli olmayan çıktı, yavaş yakınsama ve gradyan doygunluğu gibi bazı dezavantajlara sahiptir. Bu nedenlerden dolayı gradyan güncellemeleri farklı yönlerde yayılır. Bu da istenmeyen bir durumdur. Hiperbolik Tanjant (tanh), gerçek değerli bir sayıyı -1 ile 1 arasındaki bir aralığa sıkıştırır. Sigmoid'teki gibi kaybolan gradyan problemine sahiptir. Hesaplama sırasında bazı ölü nöronlar üretir. Ölü nöron üretilmesi,

aktivasyon ağırlığının sıfır gradyan sonucu nadiren kullanıldığı olumsuz bir durum olduğunu gösterir. Sigmoid'in aksine çıktısı sıfır merkezlidir ve pratikte sigmoid'e tercih edilir. Rectified Linear Unit (ReLU) [26], [27], [28], Sigmoid'e kıyasla kolayca aşırı uyum (overfitting) gösteren bir sınırlamaya sahiptir. Eğitim sırasında bazen kırılabilir olabilmektedir. Bundan dolayı bazı gradyanların ölmesine neden olmaktadır. Bu da önemli bir sınırlamadır. Bu sınırlama bazı nöronların ölmesine neden olur. Ölü nöronlardan dolayı ağırlık güncellemeleri gelecekteki veri noktalarında etkinleştirilmez. Bu şekilde sıfır aktivasyon sağlanmış olduğundan öğrenme engellenmiş olur [29]. Maxout, ReLU'nun bir genellemesi olarak düşünülmüş ve önerilmiştir [30], [31]. Tüm nöronlarda kullanılan parametreleri iki katına çıkararak ve bundan dolayı hesaplama açısından pahalı olan olumsuz bir özelliğe sahiptir. Bundan dolayı hesaplanacak parametrelerin sayısı artar. Ampirik çalışmalar, doğrusal olmayan durumlar için, optimizasyonu daha kolay ve yakınsaması daha hızlı doğrusal olmayan fonksiyonların aktivasyon fonksiyonu olarak tercih edildiğini kanıtlamıştır. Şekil 1'de doğrusal olmayan bazı fonksiyonlara ait grafikler gösterilmektedir.

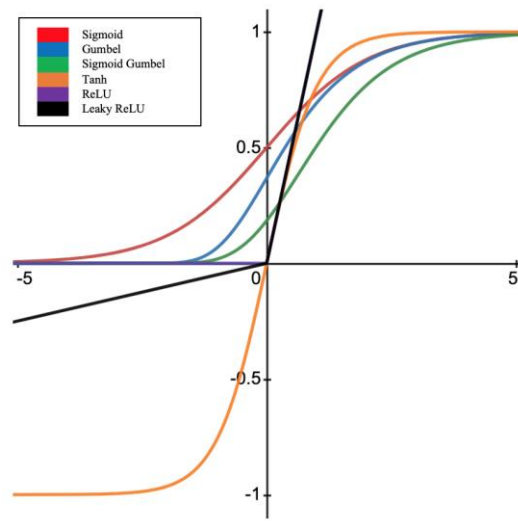
Sigmoid fonksiyonunun sınıf dengesizliği probleminde azınlık sınıf olasılığını ihmal etmesi ve simetrik bir fonksiyon olması gibi bazı olumsuz yanları vardır. Sigmoid'in bu olumsuz yanlarından dolayı Gumbel dağılımı bir aktivasyon fonksiyonu olarak düşünülmüştür [32]. Gumbel dağılımı, ikili sınıflandırma sınıf dengesizliği problemi başarımını iyileştirmek için bir aktivasyon fonksiyonu olarak düşünülmüştür.

Bir aktivasyon fonksiyonunun aşağıdaki özelliklere sahip olması istenir:

- ✓ Fonksiyon her noktada veya hemen hemen her noktada sürekli ve türevlenebilir olmalıdır.
- ✓ Fonksiyonun türevi doymuş olmamalıdır. Bu, beklenen giriş aralığı üzerinde sıfıra doğru çok küçük bir eğilime sahip olma demektir. Çok küçük türevler öğrenme sürecini durdurma eğilimindedir. Bu durum, kaybolan gradyan problemi (vanishing gradient problem) olarak bilinir.

- ✓ Fonksiyonun türevi patlamamalıdır. Bu, sayısal istikrarsızlık sorunlarına yol açan sonsuza doğru çok büyük bir eğilim anlamına gelmektedir. Bu durum, patlayan gradyan problemi (exploding gradient problem) olarak bilinir.

Yukarıdaki nedenlerden dolayı bu makalede Sigmoid-Gumbel olarak adlandırılan yeni bir aktivasyon fonksiyonu önerilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonunun yukarıdaki özelliklere sahip olduğu ve yapılan çeşitli deneylerdeki başarımları aşağıda devam eden bölümlerde anlatılmıştır. Şekil 1'de doğrusal olmayan bazı fonksiyonlara ait grafikler gösterilmektedir.



Şekil 1. Doğrusal olmayan bazı fonksiyonlara ait grafikler

4.1. Sigmoid-Gumbel Aktivasyon Fonksiyonu

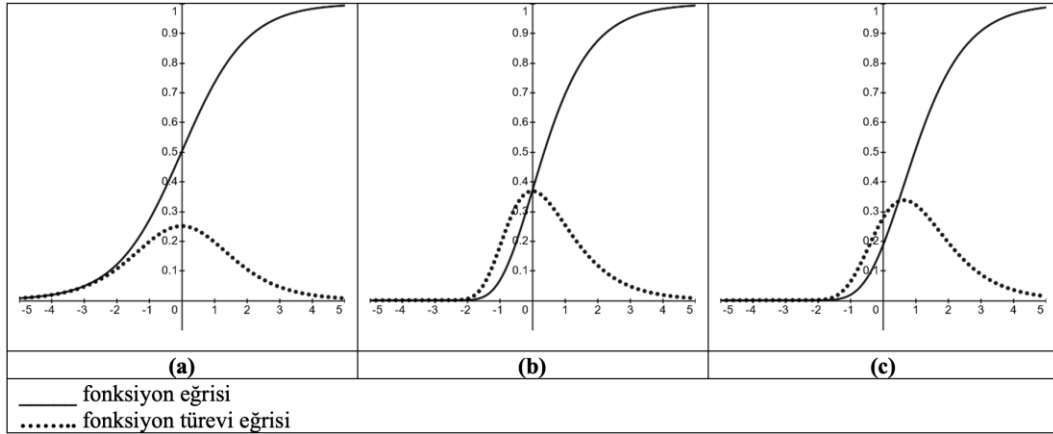
Matematiksel model Denklem (5)'te gösterilmiştir.

$$y = \left(\frac{1}{1 + e^{-x}} \right) \left(e^{-e^{-x}} \right) \quad (5)$$

Denklem (6)'da Denklem (5)'in türevi gösterilmiştir.

$$\frac{d}{dx} y = \frac{(1 + 2e^x)e^{-e^{-x}}}{(1 + e^x)^2} \quad (6)$$

Şekil 2'de (a) Sigmoid, (b) Gumbel ve (c) Sigmoid-Gumbel fonksiyonlarının ve türevlerinin eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 2. (a) Sigmoid, (b) Gumbel ve (c) Sigmoid-Gumbel fonksiyonlarının ve türevlerinin eğrileri.

5. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler 2,8 GHz Quad-Core Intel Core i7 işlemciye, 16 GB 1600 MHz DDR3 belleğe ve AMD Radeon R9 M370X 2 GB ekran kartına sahip bir makinede gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca, çalışma kapsamında kullanılan otomatik kodlayıcının amacı, azınlık sınıfını açıklayabilen verimli özellikler elde etmektir. Bunun için yeniden yapılandırılmış girdiyi kullanır. Zaman serileri aşırı olay tahmini [33], denetimsiz anomali tespiti için verimli özellikler üretme [34] gibi çeşitli çalışmalarda başarıyla uygulanmıştır. Bir x örneği verildiğinde, yeniden oluşturulmuş x' girişini $z_e = f_e(x; \theta_e)$ ve $x' = f_d(z_e; \theta_d)$ ile hesaplar. z_e , kodlayıcı tarafından öğrenilen azaltılmış düşük boyutlu kodlanmış özelliklerdir. x' , yeniden yapılandırılmış girdidir. f_e kodlama ağıdır. f_d kod çözme ağıdır. θ_e , θ_d otomatik kodlayıcının ağırlık parametreleridir. Ardından, orijinal ve yeniden yapılandırılmış girdiler kullanılarak azınlık sınıfı için bazı verimli özellikler $z_d = d(x, x')$ ile üretilmiştir. z_d , orijinal ve yeniden yapılandırılmış girdiden oluşturulan özelliklerdir. $d(*)$, verimli özelliklerin hesaplanmasında mesafe fonksiyonudur. Çalışmada Öklid ve kosinüs mesafeleri kullanılmıştır [32].

5.1. Deney-1

Bu deneyde sinir ağı mimarisi olarak MLP kullanılmıştır. Tahmin doğruluğunu değerlendirmek ve karşılaştırmak için 5 kat çapraz doğrulama yapılmıştır. Tüm veri kümeleri için aynı ağ modeli kullanılmıştır. Sinir ağı mimarisinde 28 nöronlu altı gizli katman kullanılmıştır. Hiper parametre ayarları

için öğrenme oranı 0.001, eğitim tur (epoch) sayısı 500, yığın boyutu (batch size) 8, kayıp ağırlık (loss weight- λ) 0,05 olarak belirlenmiştir. İkili sınıflandırma sınıf dengesizliği problemi için dengesiz veri kümeleri kullanılmıştır. Karşılaştırma fonksiyonları olarak Sigmoid ve Gumbel fonksiyonları değerlendirilmiştir. Referans çalışmaya [32] uyum için seçilen parametreler ve değerleri aynen kullanılmıştır. Burada değerlendirme ölçütü olarak en çok kullanılan ölçüt olan Area Under Curve (AUC) [35] kullanılmıştır.

5.2. Deney-2

Derin öğrenmede aşırı uyum (overfitting) ciddi bir sorundur. Test sırasında birçok farklı ağı tahminlerini birleştirerek aşırı uyum ile başa çıkması zorlaşır. Bundan dolayı derin ağların kullanımının yavaşlaması sorunu oluşur. Düşürme (dropout), bu sorunu çözmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde eğitim sırasında birimler bağlantılarıyla birlikte ağdan rastgele düşürülür. Böylece birimlerin aşırı uyumu önlenir. Düşürme, sinir ağlarının bilgisayarlı görme, konuşma tanıma, belge sınıflandırma ve hesaplamalı biyolojideki denetimli öğrenme görevlerinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Ayrıca birçok kıyaslama veri kümesinde en gelişmiş sonuçları da elde etmiştir [36]. Bu nedenlerden dolayı bu deneydeki modelde düşürme (dropout) yöntemi kullanılmıştır.

Ayrıca MNIST veri kümesi kullanılarak ağı başarımı incelenmiştir. Şekil 3'te kullanılan CNN modeli özeti gösterilmiştir.

Amaç: El yazısı rakamların tanınması, Moda ürün görüntülerinin tanınması
Veri kümesi: MNIST Fashion-MNIST
Algoritma: Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Networks)
Döngü (epoch): 20
Ağ mimarisi: - 32 x 3 x 3 Convolution - 64 x 3 x 3 Convolution - 2 x 2 Max Pooling - Dropout (%25) - 128 Fully Connected - Dropout (%50) - 10 Fully Connected

Şekil 3. CNN modeli özeti

5.3. Deney-3

Şekil 3'teki ağ mimarisi Fashion-MNIST veri kümesi üzerinde uygulanmıştır. Sunulan bir çalışmada [15] DSA'lar için çok durumlu aktivasyon fonksiyonları önerilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonlarının ikiden fazla durumu temsil edebilen yeni tür aktivasyon fonksiyonları olduğu söylenmiştir. Yapılan bir çalışmada [16] daha önceden tanımlı bazı aktivasyon fonksiyonlarının avantajlarını birleştiren ve onlardan daha iyi başarımlar sağlayan bazı yeni aktivasyon fonksiyonları önerilmiştir. Bu çalışmada ise SG için SGv2, SGv3 ve SGv4 versiyonları türetilmiştir.

Türevlenebilirlik ve süreklilik ile ilgili olarak bir fonksiyon bir noktada türevlenebilirse orada da süreklidir denebilir. Tersine bir fonksiyon bir noktada sürekli değilse orada türevlenemeyeceği söylenebilir. Bu bize bir fonksiyonun türevlenemediği yerleri tanımlamamızı sağlar. Farklı süreksizlik türleri

olsa da süreksizlik bir fonksiyonun türevlenemez olmasına neden olur. Bir $f(x)$ fonksiyonunun $x=x_0$ noktasında türevlenememesi ile ilgili üç durum olabilir.

- ✓ $f(x)$, $x = x_0$ 'da sürekli değildir.
- ✓ $f(x)$, $x = x_0$ 'da keskin bir noktası vardır.
- ✓ $f(x)$, $x = x_0$ 'da dikey bir teğet çizgisine sahiptir.

Burada türetilen aktivasyon fonksiyonlarındaki katsayılar ve değerler arama uzayından örnek olarak seçilmiştir. Bunun amacı farklı parametre değerleriyle daha iyi bir başarımlar sağlanıp sağlanmadığını göstermektir. Ayrıca bu alanda çalışacak araştırmacılara farklı bakış açıları sunmaktır. Dengesizlik oranı farklı veri kümelerinde parametrelerin belirlenmesiyle ilgili daha ayrıntılı bir çalışmayı bir sonraki çalışmada yapmayı düşünüyoruz.

Denklem (7)'de SGv2 için matematiksel model gösterilmiştir.

$$y = \left(\frac{1}{1 + e^{-x}} \right) \left(e^{-e^{-(x-2.7)}} \right) \quad (7)$$

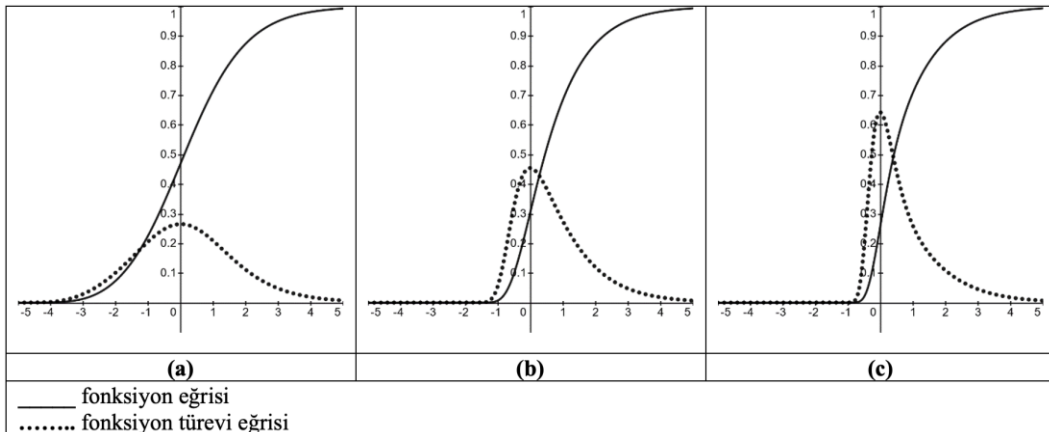
Denklem (8)'de SGv3 için matematiksel model gösterilmiştir.

$$y = \left(\frac{1}{1 + e^{-x}} \right) \left(e^{-e^{-(2x-0.7)}} \right) \quad (8)$$

Denklem (9)'de SGv4 için matematiksel model gösterilmiştir.

$$y = \left(\frac{1}{1 + e^{-x}} \right) \left(e^{-e^{-(3x-0.4)}} \right) \quad (9)$$

Şekil 4'te (a) SGv2, (b) SGv3 ve (c) SGv4 fonksiyonlarının ve türevlerinin eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 4. (a) SGv2, (b) SGv3 ve (c) SGv4 fonksiyonlarının ve türevlerinin eğrileri.

5.4. Deney-4

Yapılan bir çalışmada [13] belirtildiği gibi aktivasyon fonksiyonu seçimi, son teknoloji ürünü sinir ağı modelleri oluşturmak için çok önemli bir konudur. Şu anda etkin olan ve en yaygın kullanılan aktivasyon fonksiyonu ReLU'dur. Ancak ReLU'nun, sıfır olmayan ortalama, negatif kayıp ve sınırsız çıktı gibi bazı zayıf yönleri vardır. Bu nedenlerden dolayı optimizasyon sürecinde potansiyel dezavantajları görülmüştür.

Yapılan bir çalışmada [14] Gumbel ve Sigmoid arasında bir köprü olarak düşünülen ve Adaptive Gumbel olarak adlandırılan bir aktivasyon fonksiyonu sunulmuştur. Denklem (10)'da Adaptive Gumbel için matematiksel model gösterilmiştir.

$$\sigma_{\alpha}(x) = 1 - \{1 + \alpha \exp(x)\}^{-\frac{1}{\alpha}} \quad (10)$$

$$\alpha \in \mathbb{R}^+, x \in \mathbb{R}$$

Bu çalışmada önerilen SG'nin etkinliğini görmek için ReLU ve Adaptive Gumbel ile karşılaştırma yapılmıştır. Denklem (10)'da $\alpha=1$ olarak alınmıştır. Şekil 3'te yer alan

ağ modeli MNIST veri kümesi üzerinde uygulanmıştır.

5.5. Dengesiz Veri Kümeleri

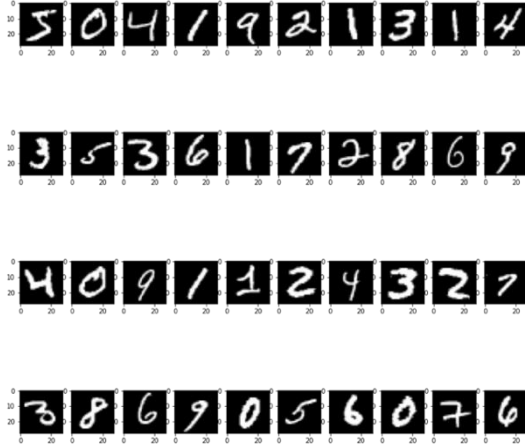
Dengesiz veri kümeleri [37], sınıf dağılımının sınıflar arasında tekdüze olmadığı sınıflandırma problemi için özel bir durumdur. Tipik olarak çoğunluk (negatif) sınıfı ve azınlık (pozitif) sınıfı olmak üzere iki sınıftan oluşurlar. Standart sınıflandırma algoritmaları genellikle dengeli bir eğitim kümesini göz önünde bulundurur. Bu durum çoğunluk sınıfına karşı bir eğilim oluşturur. Bundan dolayı bu tür kümeler veri madenciliği için yeni ve zorlu bir problem olduğunu varsayar. Sunulan tüm dengesiz veri kümeleri, 5 katlı katmanlı çapraz doğrulama kullanılarak bölünmüştür. Test bölümlerinde yeterli miktarda azınlık sınıfı örneğinin atılması için veri kümesi 5 kate bölünmüştür. Bu şekilde, test bölümü örneklerinin, temel bilgileri daha iyi temsil etmesi sağlanmıştır. SG'yi değerlendirmek ve karşılaştırmak için Keel veri kümesi havuzundan alınan 25 gerçek dünya karşılaştırmalı dengesiz veri kümesi kullanılmıştır. Dengesiz veri kümeleri, değişken sayısı ve dengesizlik oranı farklı olan çeşitli örneklerden oluşmaktadır. Tablo 1'de dengesiz veri kümeleriyle ilgili özet bilgiler gösterilmiştir.

Tablo 1. Dengesiz veri kümelerinin özet bilgileri

Veri kümeleri	Örnek sayısı	Değişken sayısı	Dengesizlik oranı
ecoli0vs1	220	7	1.86
ecoli0137vs26	281	7	39.14
ecoli0146vs5	280	6	13
ecoli0147vs2356	336	7	10.59
ecoli0234vs5	202	7	9.1
ecoli034vs5	200	7	9
ecoli0346vs5	205	7	9.25
ecoli067vs5	220	6	10
ecoli1	336	7	3.36
ecoli2	336	7	5.46
ecoli3	336	7	8.6
haberman	306	3	2.78
iris0	150	4	2
led7digit02456789vs1	443	7	10.97
pima	768	8	1.87
wisconsin	683	9	1.86
yeast0256vs3789	1004	8	9.14
yeast02579vs368	1004	8	9.14
yeast0359vs78	506	8	9.12
yeast05679vs4	528	8	9.35
yeast1	1484	8	2.46
yeast2vs4	514	8	9.08
yeast2vs8	482	8	23.1
yeast3	1484	8	8.1
yeast5	1484	8	32.73

5.6. MNIST Veri Kümesi

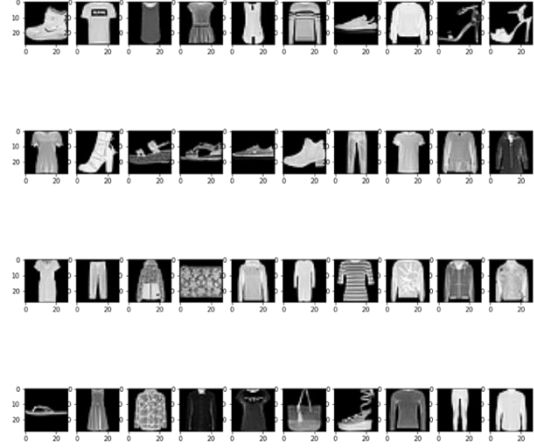
MNIST [38], derin öğrenme modellerini kıyaslamak için yaygın olarak kullanılan standart veri kümelerinden biridir. El yazısı rakamlarının 28x28 gri tonlamalı görüntülerinden oluşur. Eğitim veri kümesi 60.000, test veri kümesi 10.000 olmak üzere toplam 70.000 örnekten oluşur. 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 rakamlarını temsil eden 10 sınıftan oluşur. Şekil 5'te MNIST veri kümesine ait bazı örnekler gösterilmiştir.



Şekil 5. MNIST veri kümesinin bir görüntüsü

5.7. Fashion-MNIST Veri Kümesi

Fashion-MNIST [39], geleneksel MNIST'e alternatif olarak sunulan ve yaygın olarak kullanılan bir veri kümesidir. 28x28 gri tonlamalı örneklerden oluşan bir moda ürün görüntüleri veri kümesidir. Eğitim veri kümesi 60.000, test veri kümesi 10.000 olmak üzere toplam 70.000 örnekten oluşur. Her örnek, 10 sınıftan bir etikete sahip bir görüntüdür. Fashion-MNIST, makine öğrenimi yöntemlerini ve algoritmalarını değerlendirmek için orijinal MNIST veri kümesinin yerine kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Bu nedenle bu veri kümesi MNIST ile aynı görüntü boyutuna, eğitim ve test bölme yapısına sahiptir. Şekil 6'da Fashion-MNIST veri kümesine ait bazı örnekler gösterilmiştir.



Şekil 6. Fashion-MNIST veri kümesinin bir görüntüsü

6. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Sigmoid ve Gumbel temel fonksiyon öğelerini kullanan yeni bir hibrit aktivasyon fonksiyonu tanıtılmıştır. Bunun için fonksiyon öğelerinin bir doğrusal kombinasyonu oluşturulmuştur. Doğrusal kombinasyonun öğrenme prosedürünün gerçekleşmesi için uygun bir hipotez alanının tanımlanması gerekir. Hipotez alanının tanımlanması konveks veya afin gibi yöntemlerle sağlanabilir. Tüm deneylerimizde bu çalışmada önerilen yöntemlerle çeşitli başarımlar elde edilmiştir. Yaklaşımlarımızı kullanan birleşik fonksiyon öğeleri, temel fonksiyon öğelerinden genellikle daha iyi başarımlar göstermiştir. Araştırmacılar tarafından önerilen yöntemin etkinliği farklı derinliklere ve mimarilere sahip ağ modelleri kullanılarak test edebilir. Ayrıca diğer temel fonksiyon kümelerinin de analiz edilmesi ilgi çekici sonuçların elde edilmesini sağlayabilir.

Tablo 2'de dengesiz veri kümeleri kullanılarak yapılan 1.deney sonuçları görülmektedir. Çalışmamız ile referans çalışmanın [32] başarımları karşılaştırmalı veri kümeleriyle önerilen aktivasyon fonksiyonunun üstünlüğünü göstermek için doğrudan karşılaştırılmıştır. Başarımlar 25 karşılaştırmalı dengesiz veri kümesinde AUC açısından değerlendirilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonu, Keel veri kümesi havuzundan alınan 25 veri kümesinden 11 tanesinde daha yüksek başarımlar, 1 tanesinde aynı başarımlar ve 13 tanesinde ise daha düşük başarımlar elde etmiştir. Ortalama olarak 0.9013 değerinde bir başarımlar gözlenmiştir. Özetlemek gerekirse, önerilen fonksiyonun diğer modellerden genel olarak daha iyi bir başarımlar gösterdiği söylenebilir. Oldukça dengesiz veri kümelerindeki başarımlara bakıldığında, SIG-NN, Sigmoid fonksiyonun simetrik doğası nedeniyle GEV-NN ve SG'den daha düşük bir başarımlar

göstermiştir. Öte yandan SG, GEV-NN'ye göre daha yüksek bir başarımla elde etmiştir. Önerilen SG aktivasyon fonksiyonunun ikili

sınıflandırma sınıf dengesizliği problemi için uygulanabilir bir yaklaşım olduğu kanıtlanmıştır.

Tablo 2. Dengesiz veri kümeleri ile yapılan deney sonuçları

Veri kümeleri	AUC		
	SIG-NN	GEV-NN	SG
ecoli0vs1	0.9954	0.9905	0.9940
ecoli0137vs26	0.8890	0.8260	0.8327
ecoli0146vs5	0.9452	0.9245	0.9212
ecoli0147vs2356	0.9382	0.9377	0.8834
ecoli0234vs5	0.9191	0.8934	0.9309
ecoli034vs5	0.9146	0.9444	0.8917
ecoli0346vs5	0.8959	0.8635	0.9568
ecoli067vs5	0.8900	0.9038	0.8950
ecoli1	0.9436	0.9539	0.9572
ecoli2	0.9485	0.9503	0.9311
ecoli3	0.9239	0.9243	0.9301
haberman	0.6629	0.6530	0.7275
iris0	1.0000	1.0000	1.0000
led7digit02456789vs1	0.9549	0.9505	0.9570
pima	0.8285	0.8311	0.8079
wisconsin	0.9947	0.9929	0.9950
yeast0256vs3789	0.8464	0.8155	0.8490
yeast02579vs368	0.9338	0.9313	0.9378
yeast0359vs78	0.7805	0.8065	0.7881
yeast05679vs4	0.8650	0.8483	0.8361
yeast1	0.8040	0.8010	0.7906
yeast2vs4	0.9408	0.9483	0.9243
yeast2vs8	0.7345	0.7922	0.8394
yeast3	0.9699	0.9703	0.9716
yeast5	0.9901	0.9901	0.9848
Win/Draw/Loss	6/2/17	6/2/17	11/1/13
ORTALAMA	0.9004	0.8977	0.9013

Tablo 3'te MNIST veri kümesi kullanılarak yapılan 2.deney sonuçları görülmektedir. Ağ modeli 5 defa çalıştırılıp ortalama test kaybı ve test doğruluğu değerleri

elde edilmiştir. Buna göre en iyi sonucu 0.0429 test kaybı ve 0.9921 test doğruluğu ortalama değerleri ile SG elde etmiştir.

Tablo 3. Sigmoid, Gumbel ve SG'ye ait deney sonuçları

Aktivasyon Fonksiyonu	#	Test loss	Test accuracy
Sigmoid	1	0,0502	0,9916
	2	0,0465	0,9917
	3	0,0576	0,9906
	4	0,0554	0,9912
	5	0,0480	0,9916
	ORTALAMA		0,0515
Gumbel	1	0,0451	0,9916
	2	0,0484	0,9921
	3	0,0478	0,9910
	4	0,0458	0,9924
	5	0,0468	0,9907
	ORTALAMA		0,0468
SG	1	0,0435	0,9923
	2	0,0449	0,9922
	3	0,0417	0,9923
	4	0,0422	0,9914
	5	0,0420	0,9923
	ORTALAMA		0,0429

Tablo 4'te Fashion-MNIST veri kümesi kullanılarak yapılan 3.deney sonuçları görülmektedir. Ağ modeli, SG, SGv2, SGv3 ve SGv4 fonksiyonları için 10 kez çalıştırılıp test

kaybı ve test doğruluğu ortalama değerler elde edilmiştir. Buna göre en yüksek sonucu 0.2363 test kaybı ve 0.9351 test doğruluğu ortalama değerleri ile SGv3 fonksiyonu elde etmiştir.

Tablo 4. SG, SGv2, SGv3 ve SGv4'ye ait deney sonuçları

#	Test loss				Test accuracy			
	SG	SGv2	SGv3	SGv4	SG	SGv2	SGv3	SGv4
1	0,2371	0,2442	0,2346	0,2424	0,9326	0,9301	0,9335	0,9356
2	0,2420	0,2371	0,2357	0,2384	0,9347	0,9321	0,9371	0,9353
3	0,2385	0,2495	0,2394	0,2465	0,9359	0,9337	0,9384	0,9332
4	0,2359	0,2461	0,2400	0,2316	0,9352	0,9302	0,9345	0,9334
5	0,2306	0,2445	0,2341	0,2502	0,9340	0,9344	0,9331	0,9328
6	0,2410	0,2470	0,2314	0,2361	0,9350	0,9313	0,9339	0,9309
7	0,2383	0,2473	0,2424	0,2290	0,9350	0,9338	0,9343	0,9360
8	0,2373	0,2490	0,2374	0,2359	0,9365	0,9310	0,9355	0,9345
9	0,2398	0,2410	0,2411	0,2456	0,9327	0,9306	0,9348	0,9346
10	0,2439	0,2487	0,2268	0,2381	0,9320	0,9330	0,9358	0,9357
ORT	0,2384	0,2454	0,2363	0,2394	0,9344	0,9320	0,9351	0,9342

Tablo 5'te MNIST veri kümesi kullanılarak yapılan 4.deney sonuçları görülmektedir. Ağ modeli 5 defa çalıştırılıp ortalama test doğruluğu değerleri elde edilmiştir. Buna göre en yüksek sonucu 0.9926 test doğruluğu ortalama değeri ile SG elde etmiştir.

Tablo 5. ReLU, AdaptiveGumbel ve SG'ye ait deney sonuçları

#	Test accuracy		
	ReLU	AdaptiveGumbel	SG
1	0,9724	0,9922	0,9929
2	0,9771	0,9912	0,9926
3	0,9702	0,9910	0,9928
4	0,9719	0,9917	0,9922
5	0,9738	0,9901	0,9925
ORT	0,9731	0,9912	0,9926

Tüm deney sonuçlarına ait özet bilgiler Tablo 6'da verilmiştir. Dengesiz veri kümeleriyle yapılan 1.deneyde en yüksek başarımın 0.9013 ile Sigmoid Gumbel'e ait olduğu görülmektedir. MNIST veri kümesi üzerinde gerçekleştirilen 2.deneyde ise yine en iyi başarımı 0.9921 test doğruluğuyla önerilen fonksiyon almıştır. Fashion MNIST veri kümesiyle yapılan 3.deneyde ise önerilen

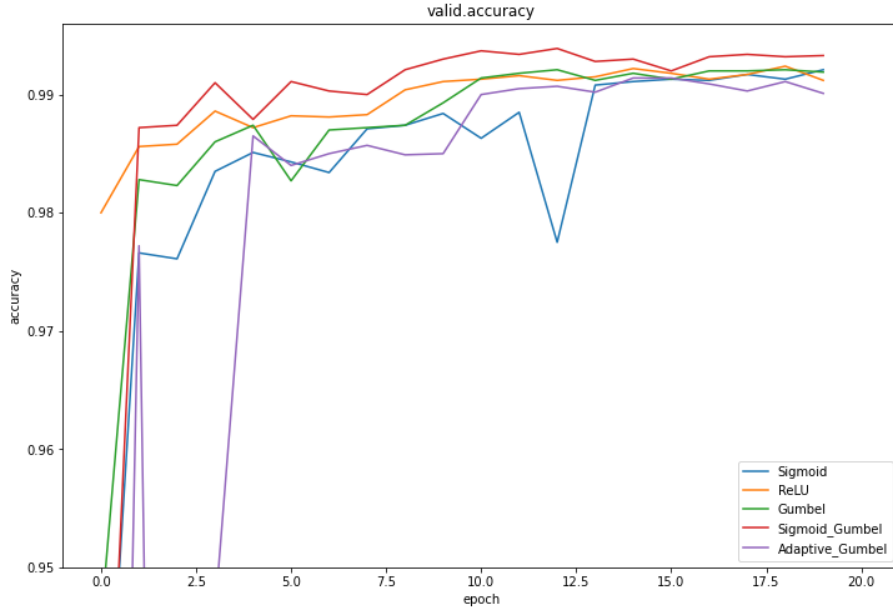
fonksiyonun farklı varyantları karşılaştırılmıştır. SGv3 olarak adlandırılan fonksiyonun başarımının diğer varyantlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama 0.9351 değerinde bir başarım sağlanmıştır. MNIST veri kümesiyle yapılan 4.deneyde ise ReLU ve bu çalışmada sunulan aktivasyon fonksiyonu ile farklı bir çalışmada sunulan bir aktivasyon fonksiyonu olan Adaptive Gumbel karşılaştırılmıştır. Sigmoid Gumbel aktivasyon fonksiyonu ortalama 0.9926 değerinde bir başarım sağlayarak diğerlerinden daha yüksek bir başarım elde etmiştir. Deney sonuçlarına bakıldığında Sigmoid Gumbel'in başarımının diğer fonksiyonlara göre daha iyi olduğu görülmektedir. Sigmoid, azınlık sınıfının olasılığını hafife alma eğiliminde olduğu için dengesiz veri kümeleri ile yapılan deneyde iyi bir başarım yakalayamamıştır. Sigmoid Gumbel'in sürekli türevlenebilme özelliği vardır. Bundan dolayı SGD optimizasyon algoritması ile derin öğrenme modellerinde bir aktivasyon fonksiyonu olarak rahatlıkla kullanılabilmesi görülmektedir. Ek olarak, Sigmoid Gumbel'in asimetri özelliği sayesinde dengesiz veri kümesindeki her iki sınıfta da yanlış sınıflandırmayı farklı şekilde cezalandırmıştır.

Tablo 6. Deneyle, ağ modelleri, veri kümeleri ve başarımları ölçütleri karşılaştırması

Deneyle	Ağ Modelleri	Veri Kümeleri	Başarımları Ölçütleri					
Deney 1	MLP		AUC					
		Dengesiz veri kümeleri	SIG-NN	GEV-NN	SG			
		ecoli0vs1	0.9954	0.9905	0.9940			
		ecoli0137vs26	0.8890	0.8260	0.8327			
		ecoli0146vs5	0.9452	0.9245	0.9212			
		ecoli0147vs2356	0.9382	0.9377	0.8834			
		ecoli0234vs5	0.9191	0.8934	0.9309			
		ecoli034vs5	0.9146	0.9444	0.8917			
		ecoli0346vs5	0.8959	0.8635	0.9568			
		ecoli067vs5	0.8900	0.9038	0.8950			
		ecoli1	0.9436	0.9539	0.9572			
		ecoli2	0.9485	0.9503	0.9311			
		ecoli3	0.9239	0.9243	0.9301			
		haberman	0.6629	0.6530	0.7275			
		iris0	1.0000	1.0000	1.0000			
		led7digit02456789vs1	0.9549	0.9505	0.9570			
		pima	0.8285	0.8311	0.8079			
		wisconsin	0.9947	0.9929	0.9950			
		yeast0256vs3789	0.8464	0.8155	0.8490			
		yeast02579vs368	0.9338	0.9313	0.9378			
		yeast0359vs78	0.7805	0.8065	0.7881			
		yeast05679vs4	0.8650	0.8483	0.8361			
		yeast1	0.8040	0.8010	0.7906			
		yeast2vs4	0.9408	0.9483	0.9243			
		yeast2vs8	0.7345	0.7922	0.8394			
		yeast3	0.9699	0.9703	0.9716			
		yeast5	0.9901	0.9901	0.9848			
			ORTALAMA	0.9004	0.8977	0.9013		
Deney 2	CNN		Test accuracy					
		MNIST veri kümesi	Sigmoid	Gumbel	SG			
		#1	0,9916	0,9916	0,9923			
		#2	0,9917	0,9921	0,9922			
		#3	0,9906	0,9910	0,9923			
		#4	0,9912	0,9924	0,9914			
		#5	0,9916	0,9907	0,9923			
			ORTALAMA	0,9913	0,9916	0,9921		
		Deney 3	CNN		Test accuracy			
				Fashion-MNIST veri kümesi	SGv2	SGv3	SGv4	SG
				#1	0,9301	0,9335	0,9356	0,9326
#2	0,9321			0,9371	0,9353	0,9347		
#3	0,9337			0,9384	0,9332	0,9359		
#4	0,9302			0,9345	0,9334	0,9352		
#5	0,9344			0,9331	0,9328	0,9340		
#6	0,9313			0,9339	0,9309	0,9350		
#7	0,9338			0,9343	0,9360	0,9350		
#8	0,9310			0,9355	0,9345	0,9365		
#9	0,9306			0,9348	0,9346	0,9327		
#10	0,9330	0,9358	0,9357	0,9320				
	ORTALAMA	0,9320	0,9351	0,9342	0,9344			
Deney 4	CNN		Test accuracy					
		MNIST veri kümesi	ReLU	Adaptive Gumbel	SG			
		#1	0,9724	0,9922	0,9929			
		#2	0,9771	0,9912	0,9926			
		#3	0,9702	0,9910	0,9928			
		#4	0,9719	0,9917	0,9922			
		#5	0,9738	0,9901	0,9925			
	ORTALAMA	0,9731	0,9912	0,9926				

Şekil 7’de MNIST veri kümesi üzerinde Sigmoid, ReLU, Gumbel, Sigmoid Gumbel ve

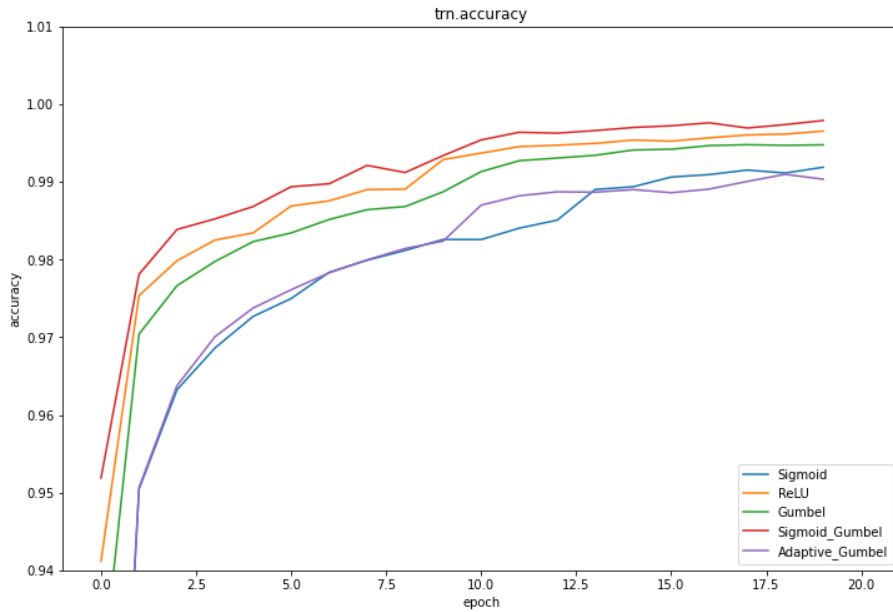
Adaptive Gumbel için 20 döngü ile elde edilen bir doğrulama doğruluğu grafiği görülmektedir.



Şekil 7. Doğrulama doğruluğu grafiği

Şekil 8’de MNIST veri kümesi üzerinde Sigmoid, ReLU, Gumbel, Sigmoid Gumbel ve

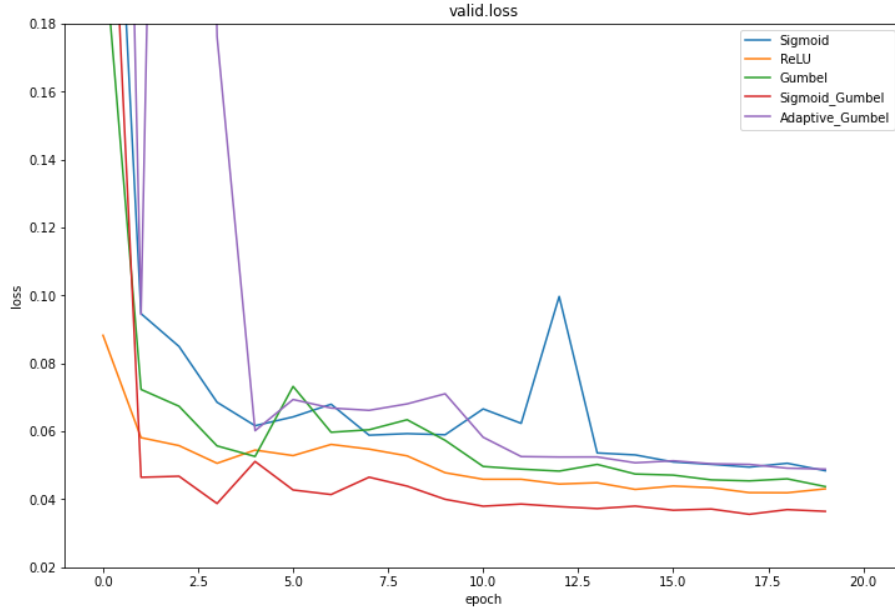
Adaptive Gumbel için 20 döngü ile elde edilen bir eğitim doğruluğu grafiği görülmektedir.



Şekil 8. Eğitim doğruluğu grafiği

Şekil 9’da MNIST veri kümesi üzerinde Sigmoid, ReLU, Gumbel, Sigmoid Gumbel ve

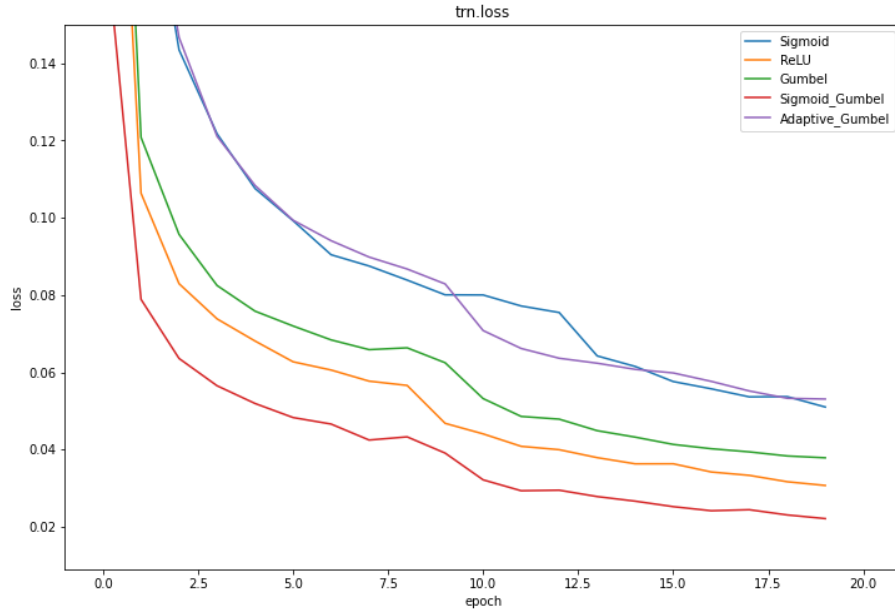
Adaptive Gumbel için 20 döngü ile elde edilen bir doğrulama kaybı grafiği görülmektedir.



Şekil 9. Doğrulama kaybı grafiği

Şekil 10'da MNIST veri kümesi üzerinde Sigmoid, ReLU, Gumbel, Sigmoid Gumbel ve

Adaptive Gumbel için 20 döngü ile elde edilen bir eğitim kaybı grafiği görülmektedir.



Şekil 10. Eğitim kaybı grafiği

7. Sonuç ve Öneriler

Bu makalede SG olarak adlandırılan yeni bir hibrit aktivasyon fonksiyonu önerilmiştir. Önerilen aktivasyon fonksiyonu, Sigmoid, Gumbel, ReLU ve Adaptive Gumbel aktivasyon fonksiyonlarıyla karşılaştırılmıştır. Önerilen aktivasyon fonksiyonunun başarımını ölçmek için dört farklı deney yapılmıştır. Birinci deneyde derin öğrenmede ikili sınıflandırma sınıf dengesizliği problemi için 25 dengesiz veri

kümesi bir MLP ağı üzerinde uygulanmıştır. Ortalama 0.9013 değerinde bir başarımla elde edilmiştir. İkinci deneyde önerilen aktivasyon fonksiyonu, Sigmoid ve Gumbel ile karşılaştırılmıştır. Bunun için MNIST veri kümesi bir CNN ağı üzerinde uygulanmıştır. En iyi sonucu test kaybı için 0.0429 ve test doğruluğu için 0.9921 ortalama değerleri ile SG elde etmiştir. Üçüncü deneyde önerilen aktivasyon fonksiyonu, farklı versiyonları olan SGv2, SGv3 ve SGv4 ile karşılaştırılmıştır. Bunun için Fashion-MNIST veri

kümesi aynı CNN ağı üzerinde uygulanmıştır. En iyi sonucu test kaybı için 0.2363 ve test doğruluğu için 0.9351 ortalama değerleri ile SGv3 elde etmiştir. Dördüncü deneyde önerilen aktivasyon fonksiyonu, ReLU ve Adaptive Gumbel ile karşılaştırılmıştır. Bunun için MNIST veri kümesi aynı CNN ağı üzerinde uygulanmıştır. En iyi sonucu test doğruluğu için 0.9926 ortalama değeri ile SG elde etmiştir. Elde edilen sonuçlara bakıldığında önerilen aktivasyon fonksiyonunun başarımının Sigmoid, Gumbel, ReLU ve Adaptive Gumbel aktivasyon fonksiyonlarının başarımından genel olarak daha iyi olduğu görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] A. A. Süzen, Z. Yıldız, and T. Yılmaz, “LSTM tabanlı Derin Sinir Ağı ile Ayak Taban Basınç Verilerinden VKİ Durumlarının Sınıflandırılması”, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 8, no. 4, pp. 1392–1398, 2019.
- [2] L. Munkhdalai, T. Munkhdalai, O.-E. Namsrai, J. Lee, and K. Ryu, “An empirical comparison of machine-learning methods on bank client credit assessments”, *Sustainability*, vol. 11, no. 3, p. 699, 2019.
- [3] L. Munkhdalai, L. Wang, H. W. Park, and K. H. Ryu, “Advanced neural network approach, its explanation with LIME for credit scoring application”, in *Intelligent Information and Database Systems*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 407–419.
- [4] S. Wang, W. Liu, J. Wu, L. Cao, Q. Meng, and P. J. Kennedy, “Training deep neural networks on imbalanced data sets”, in *2016 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)*, 2016.
- [5] F. Zhou, S. Yang, H. Fujita, D. Chen, and C. Wen, “Deep learning fault diagnosis method based on global optimization GAN for unbalanced data”, *Knowl. Based Syst.*, vol. 187, no. 104837, p. 104837, 2020.
- [6] F. Manessi and A. Rozza, “Learning combinations of activation functions”, in *2018 24th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 2018.
- [7] A. Apicella, F. Isgrò, and R. Prevete, “A simple and efficient architecture for trainable activation functions”, *Neurocomputing*, vol. 370, pp. 1–15, 2019.
- [8] B. Ding, H. Qian, and J. Zhou, “Activation functions and their characteristics in deep neural networks”, in *2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2018.
- [9] N. B. K. V. and E. Damodar Reddy, “New algebraic activation function for multi-layered feed forward neural networks”, *IETE J. Res.*, vol. 63, no. 1, pp. 71–79, 2017.
- [10] P. Ramachandran, B. Zoph, and Q. V. Le, “Searching for Activation Functions”, *arXiv:1710.05941v1 [cs.NE]*, 2017.
- [11] B. Xu, R. Huang, and M. Li, “Revise saturated activation functions”, *arXiv:1602.05980v2 [cs.LG]*, 2016.
- [12] F. Agostinelli, M. Hoffman, P. Sadowski, and P. Baldi, “Learning activation functions to improve deep neural networks”, *arXiv:1412.6830v3 [cs.NE]*, 2014.
- [13] Y. Zhou, D. Li, S. Huo, and S.-Y. Kung, “Shape autotuning activation function”, *Expert Syst. Appl.*, vol. 171, no. 114534, p. 114534, 2021.
- [14] F. Farhadi, V. Nia, and A. Lodi, “Activation Adaptation in Neural Networks”, in *Proceedings of the 9th International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods*, 2020.
- [15] C. Cai, Y. Xu, D. Ke, and K. Su, “Deep neural networks with multistate activation functions”, *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2015, p. 721367, 2015.
- [16] Y. Koçak and G. Üstündağ Şiray, “New activation functions for single layer feedforward neural network”, *Expert Syst. Appl.*, vol. 164, no. 113977, p. 113977, 2021.
- [17] J. Patterson and A. Gibson, *Deep learning: A practitioner’s approach*. O’Reilly Media, 2017.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

- [18] B. Dong and X. Wang, “Comparison deep learning method to traditional methods using for network intrusion detection”, in *2016 8th IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, 2016.
- [19] L. Deng, “A tutorial survey of architectures, algorithms, and applications for deep learning”, *APSIPA Trans. Signal Inf. Process.*, vol. 3, no. 1, 2014.
- [20] E. J. Gumbel, “The return period of flood flows”, *ann. math. stat.*, vol. 12, no. 2, pp. 163–190, 1941.
- [21] K. Cooray, “Generalized Gumbel distribution”, *J. Appl. Stat.*, vol. 37, no. 1, pp. 171–179, 2010.
- [22] H. Zhang, G. Liu, L. Pan, K. Meng, and J. Li, “GEV regression with convex loss applied to imbalanced binary classification”, in *2016 IEEE First International Conference on Data Science in Cyberspace (DSC)*, 2016.
- [23] X. Wang, Y. Qin, Y. Wang, S. Xiang, and H. Chen, “ReLUtanh: An activation function with vanishing gradient resistance for SAE-based DNNs and its application to rotating machinery fault diagnosis”, *Neurocomputing*, vol. 363, pp. 88–98, 2019.
- [24] S. Hochreiter, “The vanishing gradient problem during learning recurrent neural nets and problem solutions”, *Internat. J. Uncertain. Fuzziness Knowledge-Based Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 107–116, 1998.
- [25] Y. Bengio, P. Simard, and P. Frasconi, “Learning long-term dependencies with gradient descent is difficult”, *IEEE Trans. Neural Netw.*, vol. 5, no. 2, pp. 157–166, 1994.
- [26] A. L. Maas, A. Y. Hannun, and A. Y. Ng, “Rectifier Nonlinearities Improve Neural Network Acoustic Models”, in *2013 International Conference on Machine Learning (ICML)*, 2013.
- [27] M. D. Zeiler, M. Ranzato, R. Monga, M. Mao, K. Yang, Q. V. Le, P. Nguyen, A. Senior, V. Vanhoucke, J. Dean, and G. E. Hinton, “On rectified linear units for speech processing”, in *2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2013.
- [28] X. Glorot, A. Bordes, and Y. Bengio, “Deep Sparse Rectifier Neural Networks”, in *2011 International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*, 2011.
- [29] “Deep Learning”, *Deeplearningbook.org*. [Online]. Available: <http://www.deeplearningbook.org>. [Accessed: 15-Jan-2021].
- [30] X. Zhang, J. Trmal, D. Povey, and S. Khudanpur, “Improving deep neural network acoustic models using generalized maxout networks”, in *2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2014.
- [31] I. J. Goodfellow, D. Warde-Farley, M. Mirza, A. Courville, and Y. Bengio, “Maxout Networks”, in *2013 International Conference on Machine Learning (ICML)*, 2013.
- [32] L. Munkhdalai, T. Munkhdalai, and K. H. Ryu, “GEV-NN: A deep neural network architecture for class imbalance problem in binary classification”, *Knowl. Based Syst.*, vol. 194, no. 105534, p. 105534, 2020.
- [33] N. Laptev, J. Yosinski, L. E. Li, and S. Smyl, “Time-series Extreme Event Forecasting with Neural Networks at Uber”, in *2017 International Conference on Machine Learning (ICML)*, 2017.
- [34] B. Zong, Q. Song, M. R. Min, W. Cheng, C. Lumezanu, D. Cho, and H. Chen, “Deep Autoencoding Gaussian Mixture Model for Unsupervised Anomaly Detection”, in *2018 International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2018.
- [35] J. Huang and C. X. Ling, “Using AUC and accuracy in evaluating learning algorithms”, *IEEE Trans. Knowl. Data Eng.*, vol. 17, no. 3, pp. 299–310, 2005.
- [36] N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, and R. Salakhutdinov, “Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting”, *Journal of Machine Learning Research*, vol. 15, no. 56, pp. 1929–1958, 2014.
- [37] “KEEL: A software tool to assess evolutionary algorithms for Data Mining problems (regression, classification, clustering, pattern mining and so on)”, *Ugr.es*. [Online]. Available: <https://sci2s.ugr.es/keel/imbalanced.php>. [Accessed: 05-Jan-2021].
- [38] “MNIST handwritten digit database, Yann LeCun, Corinna Cortes and Chris Burges”, *Lecun.com*. [Online]. Available: <http://yann.lecun.com/exdb/mnist/>. [Accessed: 25-Jan-2021].
- [39] H. Xiao, K. Rasul, and R. Vollgraf, “Fashion-MNIST: A novel image dataset for benchmarking machine learning algorithms”, *arXiv:1708.07747v2 [cs.LG]*, 2017.



Directional Energy Functionals Through Anholonomic Coordinates

Rıdvan Cem DEMİRKOL^{1*}

¹Muş Alparslan University, Muş, Turkey
(ORCID: [0000-0002-3459-1676](https://orcid.org/0000-0002-3459-1676))



Keywords: Directional energy functional, Directional energy minimizer, Harmonicity, Biharmonicity.

Abstract

In this paper, a special case of directional energy functional is investigated by computing the directional energy and pseudo-angle of unit vector fields in the ordinary three-dimensional space. This approach is also extended simultaneously to define the critical points of the directional energy functionals of the velocity fields. Then, the restriction of the harmonic maps and the extrema of the directional energy functionals is considered. Finally, we compute directional harmonic and biharmonic equations of the curvature vector fields to generalize total bending or energy of vector fields.

1. Introduction

The energy functional of a given family of unit vector fields is described to be the sectional energy of the mapping of the vector field. This map is generally defined between Riemannian and semi-Riemannian manifolds, where the integration is induced with respect to the definite or indefinite structures of the standard measure. These structures are generally carried by the unit tangent bundles together with the natural connection of the Sasaki metric inherited by the Levi-Civita connection. The consideration of smooth sections of unit vector fields leads also to the volume functional of the corresponding volume immersion. There have been many significant studies about energy and volume so far. For instance, Wiegink [1,2] focused on the quantitative measure of the total bending and energy of Hopf unit vectors on the sphere \mathbb{S}^3 and 2-torus, which double covers the 2-sphere. He developed such an efficient method that it finds out instantly what consequences about minimizing functionals can be determined and what kind of consequences can be anticipated by direct methods. Gluck and Ziller [3] defined other functionals to measure the quantity of deviation of vector fields from parallelism. They also

established an elegant approach by interrelating the submanifolds of the tangent bundle and the volume of unit vectors via the Sasaki metric. Brito [4] computed the absolute minima and critical points of the energy of Hopf unit vector fields in \mathbb{S}^3 . Wood [5] proved that critical points of the energy of Hopf unit vector fields in the odd-dimensional sphere are both not stable critical points and minima.

The concept of corrected energy and its distribution is improved since volume and energy functionals have specific properties on higher-dimensional spaces. Thus, the existence of absolute minimizing of the traditional volume and energy functionals together with their instable and stable critical points can be investigated. Chacón and Naveira [6] defined the corrected energy by adding the norms of the mean curvature fields and their different weights (orthogonal distribution). Furthermore, Chacón et al. [7] introduced the energy of q -distribution by considering the sectional energy and the Sasaki metric with some applications to the quaternionic Hopf structures.

Altın [8,9,10] improved a very interesting and useful approach to deal with the problem of computing the energy of unit vector fields. She

*Corresponding author: rc.demirkol@alparslan.edu.tr

Received: 06.09.2021, Accepted: 14.12.2021

showed that one only needs to focus on a space curve together with its associated orthonormal vectors and geometric quantities instead of a manifold to determine the energy of the unit vector fields. Based on this methodology, Altın [8] computed the pseudo-angle and energy of Frenet-Serret orthonormal vector fields in indefinite structures. Altın [9] also obtained the necessary conditions of critical curves and energy minimizer points of velocity vector fields. Finally, Altın [10] proved that the energy of a unit normal vector defined on a Riemannian surface is not dependent on the selection of an orthonormal basis in the tangent space. By using the similar approach, Körpınar and Demirkol [11-13] calculated the energy of many important vector fields included from geometric or physical context.

Biharmonic or harmonic maps between Riemannian or semi-Riemannian manifolds are described as critical points of generalized bienergy or energy maps, respectively. It is an obvious fact that being harmonic implies biharmonicity. However, the converse relation does not hold. If the biharmonic map is also a nonharmonic then it is called proper. This difference plays a key role defining several concepts in hydrodynamics and elasticity. It has also been heavily investigated in real space forms, unit sphere, and submanifolds by many mathematicians. For example, Inoguchi [14] and Sasahara [15] defined the fundamental proper biharmonic maps and typical examples in the Sasakian space form. They classified proper biharmonic Legendre surfaces, proper biharmonic Legendre curves, and Hopf cylinders in Sasakian 5-space form and in Sasakian 3-space form, separately. Chen [16-19] studied biharmonicity conditions of the finite type of submanifolds in different space structures via geometry of smooth maps and spectral geometry. Later on, Körpınar and Turhan [20-25] studied energy and total bending of horizontal biharmonic curves, magnetic biharmonic curves, and their flows up to certain surfaces in many space structures.

The manuscript is organized as follows. In Section 2, we briefly review the differential geometry of space curves and anholonomic coordinates in the three-dimensional Euclidean space. Keeping in mind that the geometric representation of unit orthonormal vectors is given by the Frenet-Serret equations in the tangent

direction, we remind readers that the geometric representation of unit orthonormal vectors is given by the Gauss Weingarten equations in the normal and binormal directions. In Section 3, we define directional energy and pseudo-angle of unit Frenet-Serret vector fields in the three-dimensional ordinary space. We further compute the energy and pseudo-angle of particular vector fields representing certain planes and the most general form of vector fields. In Section 4, we calculate the critical points of the directional energy functionals of the velocity fields for different cases. For each case, we obtain necessary conditions of minimizing energy of the velocity fields, which leads to obtain some results on the extrema and critical curves. In Section 5, we describe directional harmonic and biharmonic equations associated with the directional energy functionals. In Section 6, we discuss further potential research topics and summarize our conclusions.

2. Material and Method

2.1. The Geometry of Space Curves and Gauss Weingarten Equations in \mathbb{E}^3

Let α be a space curve in \mathbb{E}^3 such that three-dimensional coordinate location (x, y, z) indicates a point on α . Furthermore, let \mathcal{R} be a position vector placed at the same reference frame pointing to the location on α .

The Frenet-Serret frame of space curve α is described by the ordered triad of unit orthonormal vectors such that they are mutually perpendicular to each other. It is also called the moving trihedron or moving triple. It includes tangential axis \mathbf{t} , principal normal axis \mathbf{n} , and binormal axis \mathbf{b} . $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ triad satisfies the following cross product or vector product rule due to cyclic permutations, i.e.

$$\mathbf{t} = \mathbf{n} \times \mathbf{b}, \quad \mathbf{b} = \mathbf{t} \times \mathbf{n}, \quad \mathbf{n} = \mathbf{b} \times \mathbf{t}. \quad (1)$$

Let (s, n, b) denotes arc distance along with Frenet-Serret vectors $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$, respectively. (s, n, b) establishes a suitable curvilinear coordinate frame if arc distances are restricted appropriately around the origin, for instance $(s = s_0, n = 0, b = 0)$.

In the schematic trihedron, Frenet-Serret vectors of (\mathbf{t}, \mathbf{b}) span the rectifying plane; Frenet-

Serret vectors of (\mathbf{t}, \mathbf{n}) span the osculating plane; Frenet-Serret vectors of (\mathbf{n}, \mathbf{b}) span the normal plane.

Vector calculus components on vector or scalar fields are typically expressed by the fundamental three vector operators. For instance, the divergent operator acts on an arbitrary vector field \mathcal{Z} in the following manner

$$\text{div}\mathcal{Z} = \mathbf{t} \cdot \frac{\delta}{\delta s} \mathcal{Z} + \mathbf{n} \cdot \frac{\delta}{\delta s} \mathcal{Z} + \mathbf{b} \cdot \frac{\delta}{\delta s} \mathcal{Z}. \quad (2)$$

The curl operator acts on an arbitrary vector field \mathcal{Z} in the following manner

$$\text{curl}\mathcal{Z} = \mathbf{t} \times \frac{\delta}{\delta s} \mathcal{Z} + \mathbf{n} \times \frac{\delta}{\delta s} \mathcal{Z} + \mathbf{b} \times \frac{\delta}{\delta s} \mathcal{Z}. \quad (3)$$

Finally, the gradient operator acts on an arbitrary scalar field \mathcal{Y} in the following manner

$$\text{grad}\mathcal{Y} = \frac{\delta \mathcal{Y}}{\delta s} \mathbf{t} + \frac{\delta \mathcal{Y}}{\delta s} \mathbf{n} + \frac{\delta \mathcal{Y}}{\delta s} \mathbf{b}. \quad (4)$$

The Frenet-Serret formulas describe the motion of the ordered triad of unit orthonormal vectors $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ along with the s -line coordinate curve (vector line of s). In this case, the motion of the triad frame follows a space curve α parametrized by the arc-length s . By definition, the directional derivative of α with respect to the arc-length s is equal to \mathbf{t} i.e.

$$\frac{\delta}{\delta s} \alpha = \mathbf{t}. \quad (5)$$

It is denoted by the following identity

$$\frac{\delta}{\delta s} \alpha = \frac{\partial}{\partial s} \alpha \frac{1}{\sqrt{\frac{\partial}{\partial s} \alpha \cdot \frac{\partial}{\partial s} \alpha}}. \quad (6)$$

In this paper, we always consider the special case in which the curve is supposed to be a unit speed curve i.e.

$$\frac{\delta}{\delta s} \alpha = \frac{\partial}{\partial s} \alpha, \left| \frac{\partial}{\partial s} \alpha \right| = 1. \quad (7)$$

The Frenet-Serret formulas are characterized by taking the directional derivative of the unit orthonormal vectors $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ with respect to the vector line of s in the following manner

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta s} \mathbf{t} &= \kappa \mathbf{n}, \\ \frac{\delta}{\delta s} \mathbf{n} &= -\kappa \mathbf{t} + \tau \mathbf{b}, \\ \frac{\delta}{\delta s} \mathbf{b} &= -\tau \mathbf{n}, \end{aligned}$$

(8)

where κ measures the bending or rate of change of the tangent vector in the (\mathbf{t}, \mathbf{n}) plane along with the vector line of s . Torsion τ measures the twisting or amount of rotation of the Frenet-Serret triad frame about the \mathbf{t} along with the vector line of s .

The directional derivative of α in the normal and binormal directions are expressed by considering the parametrization with respect to arc-length n and b , respectively. In the normal direction, the directional derivative of α with respect to the arc-length n is equal to \mathbf{n} i.e.

$$\frac{\delta}{\delta n} \alpha = \mathbf{n},$$

(9)

where the unit speed curve parametrization is guaranteed by the following assumption

$$\frac{\delta}{\delta n} \alpha = \frac{\partial}{\partial n} \alpha, \left| \frac{\partial}{\partial n} \alpha \right| = 1. \quad (10)$$

Eqs. (9,10) imply that the tangent vector of the n -line coordinate curve (vector line of n) is \mathbf{n} in the normal direction.

Similarly, in the binormal direction, the directional derivative of α with respect to the arc-length b is equal to \mathbf{b} i.e.

$$\frac{\delta}{\delta b} \alpha = \mathbf{b}, \quad (11)$$

where the unit speed curve parametrization is guaranteed by the following assumption

$$\frac{\delta}{\delta b} \alpha = \frac{\partial}{\partial b} \alpha, \left| \frac{\partial}{\partial b} \alpha \right| = 1. \quad (12)$$

Eqs. (11,12) imply that the tangent vector of the b -line coordinate curve (vector line of b) is \mathbf{b} in the binormal direction. These implications lead to define a new type of variations of the motion of the Frenet-Serret frame by taking the directional derivative of the $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ along with the n -line

coordinate curve and *b*-line coordinate curve. Accordingly, these variations satisfy that

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{t} &= \theta_{ns} \mathbf{n} + (\Omega_b + \tau) \mathbf{b}, \\ \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{n} &= -\theta_{ns} \mathbf{t} - (\text{div} \mathbf{b}) \mathbf{b}, \\ \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{b} &= -(\Omega_b + \tau) \mathbf{t} + (\text{div} \mathbf{b}) \mathbf{n}, \end{aligned} \tag{13}$$

and

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{t} &= -(\Omega_n + \tau) \mathbf{n} + \theta_{bs} \mathbf{b}, \\ \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{n} &= (\Omega_n + \tau) \mathbf{t} + (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) \mathbf{b}, \\ \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{b} &= -\theta_{bs} \mathbf{t} - (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) \mathbf{n}. \end{aligned} \tag{14}$$

The entire directional differential equation systems of the Frenet-Serret triad vectors given by Eqs. (8,13,14) are called Gauss Weingarten equations [26].

The geometric quantities θ_{ns} and θ_{bs} symbolize the normal deformation of the vector tube in the normal and binormal directions, respectively, in the following manner

$$\theta_{ns} = \mathbf{n} \cdot \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{t}, \theta_{bs} = \mathbf{b} \cdot \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{t}. \tag{15}$$

The divergence of the tangent, normal, and binormal vectors are expressed by the following identities

$$\begin{aligned} \text{div} \mathbf{t} &= \theta_{ns} + \theta_{bs}, \\ \text{div} \mathbf{n} &= \mathbf{b} \cdot \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{n} - \kappa, \\ \text{div} \mathbf{b} &= -\mathbf{b} \cdot \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{n}. \end{aligned} \tag{16}$$

The curl of the tangent, normal, and binormal vectors are expressed by the following notation

$$\text{curl} \begin{pmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n} \\ \mathbf{b} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Omega_s & 0 & \kappa \\ -\text{div} \mathbf{b} & \Omega_n & \theta_{ns} \\ \kappa + \text{div} \mathbf{n} & -\theta_{bs} & \Omega_b \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{n} \\ \mathbf{b} \end{pmatrix}, \tag{17}$$

where $\Omega_s, \Omega_n, \Omega_b$ are called the abnormalities of the *t*-field, *n*-field, and *b*-field [26]. They are computed by considering the comparison of the two forms for the *curl* operator. There also exists the following relation among these functions

$$2(\Omega_s - \tau) = \Omega_s + \Omega_n + \Omega_b. \tag{18}$$

3. Results and Discussion

3.1. Directional Energy and Pseudo-angle of Vector Fields in \mathbb{E}^3

A generalized volume and energy functionals research is conducted by computing the restricted critical points and constrained variational formulas of unit vector fields. The volume of an immersion from Riemannian manifold to differential one and the energy of a map between Riemannian or semi-Riemannian manifolds are functionals that have been investigated through the variational approach. This technique leads to defining the significant structures of minimal immersion and harmonic map described in a generalized manifold having a vanishing mean curvature and tension. The energy of vector fields is dependent on the constants since the total bending energy can be characterized by the same variational problem. The volume of the immersion is an efficient tool to define the volume functional of a vector field. However, the calculation of the critical points of the constrained volume functional can be completed if each critical vector field is also a critical point of the immersed functional in the entire manifold.

Let (\mathcal{S}, ϖ) and (\mathcal{T}, ν) be two Riemannian manifolds and ϕ be a differential map between these two manifolds so that the energy functional is defined by the following equality

$$\mathcal{E}(\phi) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{S}u} \nu(d\varpi(e_u), d\varpi(e_u)) \mathcal{V}, \tag{19}$$

where \mathcal{V} is a volume in \mathcal{S} and

$$\phi : (\mathcal{S}, \varpi) \rightarrow (\mathcal{T}, \nu). \tag{20}$$

Alternatively, the definition of the energy functional is also denoted by

$$\mathcal{E}(\phi) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{S}} \|d\phi\|^2 \mathcal{V}. \tag{21}$$

Let \mathcal{A} be an arbitrary unit vector field defined in (\mathcal{S}, ϖ) . Then the energy section of $\mathcal{A} : \mathcal{S} \rightarrow \mathcal{B}^* \mathcal{S}$, where $\mathcal{B}^* \mathcal{S}$ is a unit tangent bundle connected with the Sasaki metric $\mathcal{S}_{\mathcal{M}}$, defines the energy of the vector field \mathcal{A} . One needs to separate point wise tangent space and the tangent bundle to understand the Sasaki metric on the \mathcal{BS} . Further information can be found in the

book of Sakai [27]. The standard Levi-Civita connection ∇ can be considered to define a special connection map $\mathcal{L}: \mathcal{B}(\mathcal{B}^*\mathcal{S}) \rightarrow \mathcal{B}^*\mathcal{S}$ such that it satisfies

$$\sigma \circ \mathcal{L} = \sigma \circ \tilde{\sigma} \text{ and } \sigma \circ \mathcal{L} = \sigma \circ d\sigma, \quad (22)$$

where

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma} &= \mathcal{B}(\mathcal{B}^*\mathcal{S}) \rightarrow \mathcal{B}^*\mathcal{S}, \\ \sigma &= \mathcal{B}^*\mathcal{S} \rightarrow \mathcal{S}. \end{aligned} \quad (23)$$

Moreover, the connection map \mathcal{L} also verifies

$$\mathcal{L}(d\eta(\psi)) = \nabla_{\psi}\psi, \quad (24)$$

where $\psi \in \mathcal{B}_x\mathcal{S}$ and $\eta: \mathcal{S} \rightarrow \mathcal{B}^*\mathcal{S}$. Finally, the Sasaki metric $\mathcal{S}_{\mathcal{M}}$ is written by splitting vertical and horizontal orthogonal component in the following way

$$\mathcal{S}_{\mathcal{M}}(\varphi_1, \varphi_2) = d\sigma(\varphi_1) \cdot d\sigma(\varphi_1) + \mathcal{L}(\varphi_1) \cdot \mathcal{L}(\varphi_1), \quad (25)$$

where $\varphi_1, \varphi_2 \in \mathcal{B}_{\eta}(\mathcal{B}^*\mathcal{S})$. From Eqs. (19,22-25), one can induce the following identity for the section η as

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\sigma(e_u), d\sigma(e_u)) &= d\sigma(d\eta(e_u)) \cdot d\sigma(d\eta(e_u)) \\ &\quad + \mathcal{L}(d\sigma(e_u)) \cdot \mathcal{L}(d\sigma(e_u)), \end{aligned} \quad (26)$$

where

$$\mathcal{L}(d\sigma(e_u)) = \nabla_{e_u}\eta, \quad d\sigma \circ d\eta = id_{\mathcal{B}^*\mathcal{S}}. \quad (27)$$

Further details on the corrected energy functional and its distribution can be found in [6,8]. So far, we have given a short overview to introduce the method we use for the rest of the section to compute the directional energy and pseudo-angle of unit vector fields in the ordinary space.

Case 1: In this case, let us assume that α be a space curve in \mathbb{E}^3 such that its position vector \mathcal{R} is parametrized by the arc-length n pointing to the location α in the normal direction.

Theorem 3.1.1. The energy of the Frenet-Serret triad vectors $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_n(\mathbf{t}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (\theta_{ns}^2 + (\Omega_b + \tau)^2) dn + \frac{n}{2}, \\ \mathcal{E}_n(\mathbf{n}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (\theta_{ns}^2 + (\text{div}\mathbf{b})^2) dn + \frac{n}{2}, \\ \mathcal{E}_n(\mathbf{b}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} ((\Omega_b + \tau)^2 + (\text{div}\mathbf{b})^2) dn + \frac{n}{2}. \end{aligned} \quad (28)$$

Proof. From Eqs. (19,27), the splitting space and canonic generalization of the same object can be written due to the Levi-Civita connection map and the so-called Sasaki metric. By considering the clear definition in distribution and sectional energy, we write for unit vector fields $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ as

$$\mathcal{E}_n(\mathbf{t}) = \frac{1}{2} \int (d\mathbf{t}(\mathbf{n}), d\mathbf{t}(\mathbf{n})) dn, \quad (29)$$

$$\mathcal{E}_n(\mathbf{n}) = \frac{1}{2} \int (d\mathbf{n}(\mathbf{n}), d\mathbf{n}(\mathbf{n})) dn, \quad (30)$$

$$\mathcal{E}_n(\mathbf{b}) = \frac{1}{2} \int (d\mathbf{b}(\mathbf{n}), d\mathbf{b}(\mathbf{n})) dn,$$

(31)

where

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathbf{t}(\mathbf{n}), d\mathbf{t}(\mathbf{n})) &= d\sigma(\mathbf{t}(\mathbf{n})) \cdot d\sigma(\mathbf{t}(\mathbf{n})) \\ &\quad + \mathcal{L}(\mathbf{t}(\mathbf{n})) \cdot \mathcal{L}(\mathbf{t}(\mathbf{n})), \end{aligned} \quad (32)$$

$$= \mathbf{n} \cdot \mathbf{n} + (\delta/\delta n)\mathbf{t} \cdot (\delta/\delta n)\mathbf{t},$$

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathbf{n}(\mathbf{n}), d\mathbf{n}(\mathbf{n})) &= d\sigma(\mathbf{n}(\mathbf{n})) \cdot d\sigma(\mathbf{n}(\mathbf{n})) \\ &\quad + \mathcal{L}(\mathbf{n}(\mathbf{n})) \cdot \mathcal{L}(\mathbf{n}(\mathbf{n})) \\ &= \mathbf{n} \cdot \mathbf{n} + (\delta/\delta n)\mathbf{n} \cdot (\delta/\delta n)\mathbf{n}, \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathbf{b}(\mathbf{n}), d\mathbf{b}(\mathbf{n})) &= d\sigma(\mathbf{b}(\mathbf{n})) \cdot d\sigma(\mathbf{b}(\mathbf{n})) \\ &\quad + \mathcal{L}(\mathbf{b}(\mathbf{n})) \cdot \mathcal{L}(\mathbf{b}(\mathbf{n})) \\ &= \mathbf{n} \cdot \mathbf{n} + (\delta/\delta n)\mathbf{b} \cdot (\delta/\delta n)\mathbf{b}. \end{aligned} \quad (34)$$

Using Eqs. (13,29-34), it is computed respectively that

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_n(\mathbf{t}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (\theta_{ns}^2 + (\Omega_b + \tau)^2) dn + \frac{n}{2}, \\ \mathcal{E}_n(\mathbf{n}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (\theta_{ns}^2 + (\text{div}\mathbf{b})^2) dn + \frac{n}{2}, \\ \mathcal{E}_n(\mathbf{b}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} ((\Omega_b + \tau)^2 + (\text{div}\mathbf{b})^2) dn + \frac{n}{2}. \end{aligned}$$

Thus, the proof is completed.

Lemma 3.1.1. The pseudo-angle of the Frenet-Serret triad vectors $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_n(\mathbf{t}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \sqrt{(\theta_{ns}^2 + (\Omega_b + \tau)^2)} dn, \\ \mathcal{P}_n(\mathbf{n}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \sqrt{(\theta_{ns}^2 + (\text{div}\mathbf{b})^2)} dn, \quad (35) \\ \mathcal{P}_n(\mathbf{b}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \sqrt{((\Omega_b + \tau)^2 + (\text{div}\mathbf{b})^2)} dn. \end{aligned}$$

Proof. The proof is obvious if one considers the following definitions respectively

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_n(\mathbf{t}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta n) \mathbf{t}\| dn, \quad \mathcal{P}_n(\mathbf{n}) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta n) \mathbf{n}\| dn, \\ \mathcal{P}_n(\mathbf{b}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta n) \mathbf{b}\| dn. \end{aligned} \quad (36)$$

Theorem 3.1.2. i. The energy of the unit vector field \mathcal{A}^r in the rectifying plane along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_n^{(t,b)}(\mathcal{A}^r) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta n) \lambda - \beta(\Omega_b + \tau))^2 + (\lambda \theta_{ns} \\ &+ \beta \text{div}\mathbf{b})^2 + ((\delta' \delta n) \beta + \lambda(\Omega_b + \tau))^2) dn + \frac{n}{2}, \end{aligned} \quad (37)$$

where

$$\mathcal{A}^r = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{b},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve.

ii. The energy of the unit vector field \mathcal{A}^o in the osculating plane along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_n^{(t,n)}(\mathcal{A}^o) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta n) \lambda - \beta \theta_{ns})^2 + ((\delta' \delta n) \beta \\ &+ \lambda \theta_{ns})^2 + (\lambda(\Omega_b + \tau) - \beta \text{div}\mathbf{b})^2) dn + \frac{n}{2}, \end{aligned} \quad (38)$$

where

$$\mathcal{A}^o = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve.

iii. The energy of the unit vector field \mathcal{A}^n in the normal plane along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_n^{(n,b)}(\mathcal{A}^n) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} ((\lambda \theta_{ns} + \beta(\Omega_b + \tau))^2 + ((\delta' \delta n) \lambda \\ &+ \beta \text{div}\mathbf{b})^2 + ((\delta' \delta n) \beta - \lambda \text{div}\mathbf{b})^2) dn + \frac{n}{2}, \end{aligned} \quad (39)$$

where

$$\mathcal{A}^n = \lambda \mathbf{n} + \beta \mathbf{b},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve.

Proof. Let us define arbitrary vector fields in the rectifying plane, osculating plane, normal plane, respectively, along with the n -line coordinate curve such that they have the following forms

$$\mathcal{A}^r = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{b}, \quad \mathcal{A}^o = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n}, \quad \mathcal{A}^n = \lambda \mathbf{n} + \beta \mathbf{b}, \quad (40)$$

where λ, β are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve. If one uses the similar approach as in the proof of the Theorem 3.1 then it is computed that

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathcal{A}^r(\mathbf{n}), d\mathcal{A}^r(\mathbf{n})) &= d\sigma(\mathcal{A}^r(\mathbf{n})) \cdot d\sigma(\mathcal{A}^r(\mathbf{n})) \\ &+ \mathcal{L}(\mathcal{A}^r(\mathbf{n})) \cdot \mathcal{L}(\mathcal{A}^r(\mathbf{n})) \\ &= \mathbf{n} \cdot \mathbf{n} + (\delta' \delta n) \mathcal{A}^r \cdot (\delta' \delta n) \mathcal{A}^r, \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathcal{A}^o(\mathbf{n}), d\mathcal{A}^o(\mathbf{n})) &= d\sigma(\mathcal{A}^o(\mathbf{n})) \cdot d\sigma(\mathcal{A}^o(\mathbf{n})) \\ &+ \mathcal{L}(\mathcal{A}^o(\mathbf{n})) \cdot \mathcal{L}(\mathcal{A}^o(\mathbf{n})) \\ &= \mathbf{n} \cdot \mathbf{n} + (\delta' \delta n) \mathcal{A}^o \cdot (\delta' \delta n) \mathcal{A}^o, \end{aligned} \quad (42)$$

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathcal{A}^n(\mathbf{n}), d\mathcal{A}^n(\mathbf{n})) &= d\sigma(\mathcal{A}^n(\mathbf{n})) \cdot d\sigma(\mathcal{A}^n(\mathbf{n})) \\ &+ \mathcal{L}(\mathcal{A}^n(\mathbf{n})) \cdot \mathcal{L}(\mathcal{A}^n(\mathbf{n})) \\ &= \mathbf{n} \cdot \mathbf{n} + (\delta' \delta n) \mathcal{A}^n \cdot (\delta' \delta n) \mathcal{A}^n, \end{aligned} \quad (43)$$

Here, if one takes into account Eqs. (13,40-43) the proof can be completed trivially.

Lemma 3.1.2. i. The pseudo-angle of the unit vector field \mathcal{A}^r in the rectifying plane along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_n^{(t,b)}(\mathcal{A}^r) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta n) \lambda - \beta(\Omega_b + \tau))^2 + (\lambda \theta_{ns} \\ &+ \beta \text{div}\mathbf{b})^2 + ((\delta' \delta n) \beta + \lambda(\Omega_b + \tau))^2)^{1/2} dn, \end{aligned} \quad (44)$$

where

$$\mathcal{A}^r = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{b},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve.

ii. The pseudo-angle of the unit vector field \mathcal{A}^o in the osculating plane along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\mathcal{P}_n^{(t,n)}(\mathcal{A}^o) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta n) \lambda - \beta \theta_{ns})^2 + ((\delta' \delta n) \beta + \lambda \theta_{ns})^2 + (\lambda(\Omega_b + \tau) - \beta \operatorname{div} \mathbf{b})^2)^{1/2} dn, \tag{45}$$

where

$$\mathcal{A}^o = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve.

iii. The pseudo-angle of the unit vector field \mathcal{A}^n in the normal plane along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\mathcal{P}_n^{(n,b)}(\mathcal{A}^n) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} ((\lambda \theta_{ns} + \beta(\Omega_b + \tau))^2 + ((\delta' \delta n) \lambda + \beta \operatorname{div} \mathbf{b})^2 + ((\delta' \delta n) \beta - \lambda \operatorname{div} \mathbf{b})^2)^{1/2} dn, \tag{46}$$

where

$$\mathcal{A}^n = \lambda \mathbf{n} + \beta \mathbf{b},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve.

Proof. The proof is obvious if one considers the following definitions respectively

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_n^{(t,b)}(\mathcal{A}^r) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta n) \mathcal{A}^r\| dn, \\ \mathcal{P}_n^{(t,n)}(\mathcal{A}^o) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta n) \mathcal{A}^o\| dn, \\ \mathcal{P}_n^{(n,b)}(\mathcal{A}^n) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta n) \mathcal{A}^n\| dn, \end{aligned} \tag{47}$$

where

$$\mathcal{A}^r = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{b}, \quad \mathcal{A}^o = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n}, \quad \mathcal{A}^n = \lambda \mathbf{n} + \beta \mathbf{b}.$$

Theorem 3.1.3. The generalized energy of the unit vector field \mathcal{A} along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_n(\mathcal{A}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta n) \lambda - \beta \theta_{ns} - \gamma(\Omega_b + \tau))^2 \\ &+ ((\delta' \delta n) \beta + \lambda \theta_{ns} + \gamma \operatorname{div} \mathbf{b})^2 + ((\delta' \delta n) \gamma \\ &+ \lambda(\Omega_b + \tau) - \beta \operatorname{div} \mathbf{b})^2) dn + \frac{n}{2}, \end{aligned} \tag{48}$$

where

$$\mathcal{A} = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n} + \gamma \mathbf{b},$$

and λ, β, γ are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve.

Proof. Let us define the generalized vector field along with the n -line coordinate curve such that it has the following form

$$\mathcal{A} = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n} + \gamma \mathbf{b} \tag{49}$$

where λ, β, γ are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve. If one uses the similar approach as in the proof of the Theorem 3.1.1 then it is computed that

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathcal{A}(\mathbf{n}), d\mathcal{A}(\mathbf{n})) &= d\sigma(\mathcal{A}(\mathbf{n})) \cdot d\sigma(\mathcal{A}(\mathbf{n})) \\ &+ \mathcal{L}(\mathcal{A}(\mathbf{n})) \cdot \mathcal{L}(\mathcal{A}(\mathbf{n})), \\ &= \mathbf{n} \cdot \mathbf{n} + (\delta' \delta n) \mathcal{A} \cdot (\delta' \delta n) \mathcal{A}. \end{aligned} \tag{50}$$

Here, if one takes into account Eqs. (13,50) the proof can be completed trivially.

Lemma 3.1.3. The generalized pseudo-angle of the unit vector field \mathcal{A} along with the n -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_n(\mathcal{A}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta n) \lambda - \beta \theta_{ns} - \gamma(\Omega_b + \tau))^2 \\ &+ ((\delta' \delta n) \beta + \lambda \theta_{ns} + \gamma \operatorname{div} \mathbf{b})^2 \\ &+ ((\delta' \delta n) \gamma + \lambda(\Omega_b + \tau) - \beta \operatorname{div} \mathbf{b})^2)^{1/2} dn, \end{aligned} \tag{51}$$

where

$$\mathcal{A} = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n} + \gamma \mathbf{b},$$

and λ, β, γ are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve.

Proof. The proof is obvious if one considers the following definition

$$\mathcal{P}_n(\mathcal{A}) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta n) \mathcal{A}\| dn, \tag{52}$$

where

$$\mathcal{A} = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n} + \gamma \mathbf{b},$$

and λ, β, γ are sufficiently smooth functions along with the n -line coordinate curve.

Case 2: In this case, let us assume that α be a space curve in \mathbb{E}^3 such that its position vector \mathcal{R} is parametrized by the arc-length b pointing to the location α in the binormal direction.

Theorem 3.1.4. The energy of the Frenet-Serret triad vectors $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_b(\mathbf{t}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (\theta_{bs}^2 + (\Omega_n + \tau)^2) db + \frac{b}{2}, \\ \mathcal{E}_b(\mathbf{n}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} ((\Omega_n + \tau)^2 + (\kappa + \text{div}\mathbf{n})^2) db + \frac{b}{2}, \\ \mathcal{E}_b(\mathbf{b}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (\theta_{bs}^2 + (\kappa + \text{div}\mathbf{n})^2) db + \frac{b}{2}. \end{aligned} \tag{53}$$

Proof. From Eqs. (19,27), the splitting space and canonic generalization of the same object can be written due to the Levi-Civita connection map and the so-called Sasaki metric. By considering the clear definition in distribution and sectional energy, we write for unit vector fields $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ as

$$\mathcal{E}_b(\mathbf{t}) = \frac{1}{2} \int (d\mathbf{t}(\mathbf{b}), d\mathbf{t}(\mathbf{b})) db, \tag{54}$$

$$\mathcal{E}_b(\mathbf{n}) = \frac{1}{2} \int (d\mathbf{n}(\mathbf{b}), d\mathbf{n}(\mathbf{b})) db, \tag{55}$$

$$\mathcal{E}_b(\mathbf{b}) = \frac{1}{2} \int (d\mathbf{b}(\mathbf{b}), d\mathbf{b}(\mathbf{b})) db,$$

(56)

where

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathbf{t}(\mathbf{b}), d\mathbf{t}(\mathbf{b})) &= d\sigma(\mathbf{t}(\mathbf{b})) \cdot d\sigma(\mathbf{t}(\mathbf{b})) \\ &+ \mathcal{L}(\mathbf{t}(\mathbf{b})) \cdot \mathcal{L}(\mathbf{t}(\mathbf{b})), \end{aligned} \tag{57}$$

$$= \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} + (\delta' \delta b) \mathbf{t} \cdot (\delta' \delta b) \mathbf{t},$$

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathbf{n}(\mathbf{b}), d\mathbf{n}(\mathbf{b})) &= d\sigma(\mathbf{n}(\mathbf{b})) \cdot d\sigma(\mathbf{n}(\mathbf{b})) \\ &+ \mathcal{L}(\mathbf{n}(\mathbf{b})) \cdot \mathcal{L}(\mathbf{n}(\mathbf{b})) \\ &= \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} + (\delta' \delta n) \mathbf{b} \cdot (\delta' \delta n) \mathbf{b}, \end{aligned} \tag{58}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathbf{b}(\mathbf{b}), d\mathbf{b}(\mathbf{b})) &= d\sigma(\mathbf{b}(\mathbf{b})) \cdot d\sigma(\mathbf{b}(\mathbf{b})) \\ &+ \mathcal{L}(\mathbf{b}(\mathbf{b})) \cdot \mathcal{L}(\mathbf{b}(\mathbf{b})) \\ &= \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} + (\delta' \delta n) \mathbf{b} \cdot (\delta' \delta n) \mathbf{b}. \end{aligned} \tag{59}$$

Using Eqs. (14,54-59), it is computed respectively that

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_b(\mathbf{t}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (\theta_{bs}^2 + (\Omega_n + \tau)^2) db + \frac{b}{2}, \\ \mathcal{E}_b(\mathbf{n}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} ((\Omega_n + \tau)^2 + (\kappa + \text{div}\mathbf{n})^2) db + \frac{b}{2}, \\ \mathcal{E}_b(\mathbf{b}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (\theta_{bs}^2 + (\kappa + \text{div}\mathbf{n})^2) db + \frac{b}{2}. \end{aligned}$$

Lemma 3.1.4. The pseudo-angle of the Frenet-Serret triad vectors $(\mathbf{t}, \mathbf{n}, \mathbf{b})$ along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_b(\mathbf{t}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \sqrt{(\theta_{bs}^2 + (\Omega_n + \tau)^2)} db, \\ \mathcal{P}_b(\mathbf{n}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \sqrt{((\Omega_n + \tau)^2 + (\kappa + \text{div}\mathbf{n})^2)} db, \\ \mathcal{P}_b(\mathbf{b}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \sqrt{(\theta_{bs}^2 + (\kappa + \text{div}\mathbf{n})^2)} db. \end{aligned} \tag{60}$$

Proof. The proof is obvious if one considers the following definitions respectively

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_b(\mathbf{t}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta b) \mathbf{t}\| db, \quad \mathcal{P}_b(\mathbf{n}) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta b) \mathbf{n}\| db, \\ \mathcal{P}_b(\mathbf{b}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta b) \mathbf{b}\| db. \end{aligned} \tag{61}$$

Theorem 3.1.5. i. The energy of the unit vector field \mathcal{A}^r in the rectifying plane along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_b^{(\mathbf{t}, \mathbf{b})}(\mathcal{A}^r) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta b) \lambda - \beta \theta_{bs})^2 + (\lambda(\Omega_n + \tau) \\ &+ \beta(\kappa + \text{div}\mathbf{n}))^2 + ((\delta' \delta n) \beta + \lambda \theta_{bs})^2) db + \frac{b}{2}, \end{aligned} \tag{62}$$

where

$$\mathcal{A}^r = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{b},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve.

ii. The energy of the unit vector field \mathcal{A}^o in the osculating plane along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_b^{(\mathbf{t}, \mathbf{n})}(\mathcal{A}^o) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta b) \lambda + \beta(\Omega_n + \tau))^2 \\ &+ ((\delta' \delta b) \beta - \lambda(\Omega_n + \tau))^2 \\ &+ (\lambda \theta_{bs} + \beta(\kappa + \text{div}\mathbf{n}))^2) db + \frac{b}{2}, \end{aligned} \tag{63}$$

where

$$\mathcal{A}^o = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve.

iii. The energy of the unit vector field \mathcal{A}^n in the normal plane along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\mathcal{E}_b^{(n,b)}(\mathcal{A}^n) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} ((\lambda(\Omega_n + \tau) - \beta\theta_{bs})^2 + ((\delta'\delta b)\lambda - \beta(\kappa + \text{div}\mathbf{n}))^2 + ((\delta'\delta b)\beta + \lambda(\kappa + \text{div}\mathbf{n}))^2) db + \frac{b}{2}, \tag{64}$$

where

$$\mathcal{A}^n = \lambda\mathbf{n} + \beta\mathbf{b},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve.

Proof. Let us define arbitrary vector fields in the rectifying plane, osculating plane, normal plane, respectively, along with the b -line coordinate curve such that they have the following forms

$$\mathcal{A}^r = \lambda\mathbf{t} + \beta\mathbf{b}, \quad \mathcal{A}^o = \lambda\mathbf{t} + \beta\mathbf{n}, \quad \mathcal{A}^n = \lambda\mathbf{n} + \beta\mathbf{b}, \tag{65}$$

where λ, β are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve. If one uses the similar approach as in the proof of the Theorem 3.1.4 then it is computed that

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathcal{A}^r(\mathbf{b}), d\mathcal{A}^r(\mathbf{b})) &= d\sigma(\mathcal{A}^r(\mathbf{b})) \cdot d\sigma(\mathcal{A}^r(\mathbf{b})) \\ &\quad + \mathcal{L}(\mathcal{A}^r(\mathbf{b})) \cdot \mathcal{L}(\mathcal{A}^r(\mathbf{b})) \\ &= \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} + (\delta'\delta b)\mathcal{A}^r \cdot (\delta'\delta b)\mathcal{A}^r, \end{aligned} \tag{66}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathcal{A}^o(\mathbf{b}), d\mathcal{A}^o(\mathbf{b})) &= d\sigma(\mathcal{A}^o(\mathbf{b})) \cdot d\sigma(\mathcal{A}^o(\mathbf{b})) \\ &\quad + \mathcal{L}(\mathcal{A}^o(\mathbf{b})) \cdot \mathcal{L}(\mathcal{A}^o(\mathbf{b})) \\ &= \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} + (\delta'\delta b)\mathcal{A}^o \cdot (\delta'\delta b)\mathcal{A}^o, \end{aligned} \tag{67}$$

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathcal{A}^n(\mathbf{b}), d\mathcal{A}^n(\mathbf{b})) &= d\sigma(\mathcal{A}^n(\mathbf{b})) \cdot d\sigma(\mathcal{A}^n(\mathbf{b})) \\ &\quad + \mathcal{L}(\mathcal{A}^n(\mathbf{b})) \cdot \mathcal{L}(\mathcal{A}^n(\mathbf{b})) \\ &= \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} + (\delta'\delta b)\mathcal{A}^n \cdot (\delta'\delta b)\mathcal{A}^n, \end{aligned} \tag{68}$$

Here, if one takes into account Eqs. (14,65-68), the proof can be completed trivially.

Lemma 3.1.5. i. The pseudo-angle of the unit vector field \mathcal{A}^r in the rectifying plane along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_b^{(t,b)}(\mathcal{A}^r) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta'\delta b)\lambda - \beta\theta_{bs})^2 + (\lambda(\Omega_n + \tau) \\ &\quad + \beta(\kappa + \text{div}\mathbf{n}))^2 + ((\delta'\delta n)\beta + \lambda\theta_{bs})^2)^{1/2} db, \end{aligned} \tag{69}$$

where

$$\mathcal{A}^r = \lambda\mathbf{t} + \beta\mathbf{b},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve.

ii. The pseudo-angle of the unit vector field \mathcal{A}^o in the osculating plane along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_b^{(t,n)}(\mathcal{A}^o) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta'\delta b)\lambda + \beta(\Omega_n + \tau))^2 \\ &\quad + ((\delta'\delta b)\beta - \lambda(\Omega_n + \tau))^2 + (\lambda\theta_{bs} + \beta(\kappa \\ &\quad + \text{div}\mathbf{n}))^2)^{1/2} db, \end{aligned} \tag{70}$$

where

$$\mathcal{A}^o = \lambda\mathbf{t} + \beta\mathbf{n},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve.

iii. The pseudo-angle of the unit vector field \mathcal{A}^n in the normal plane along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_b^{(n,b)}(\mathcal{A}^n) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\lambda(\Omega_n + \tau) - \beta\theta_{bs})^2 \\ &\quad + ((\delta'\delta b)\lambda - \beta(\kappa + \text{div}\mathbf{n}))^2 + ((\delta'\delta b)\beta \\ &\quad + \lambda(\kappa + \text{div}\mathbf{n}))^2)^{1/2} db, \end{aligned} \tag{71}$$

where

$$\mathcal{A}^n = \lambda\mathbf{n} + \beta\mathbf{b},$$

and λ, β are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve.

Proof. The proof is obvious if one considers the following definitions respectively

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_b^{(t,b)}(\mathcal{A}^r) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta'\delta b)\mathcal{A}^r\| db, \\ \mathcal{P}_b^{(t,n)}(\mathcal{A}^o) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta'\delta b)\mathcal{A}^o\| db, \end{aligned} \tag{72}$$

$$\mathcal{P}_b^{(n,b)}(\mathcal{A}^n) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta'\delta b)\mathcal{A}^n\| db,$$

where

$$\mathcal{A}^r = \lambda\mathbf{t} + \beta\mathbf{b}, \quad \mathcal{A}^o = \lambda\mathbf{t} + \beta\mathbf{n}, \quad \mathcal{A}^n = \lambda\mathbf{n} + \beta\mathbf{b}.$$

Theorem 3.1.6. The generalized energy of the unit vector field \mathcal{A} along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_b(\mathcal{A}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta b) \lambda + \beta(\Omega_n + \tau) - \gamma \theta_{bs})^2 \\ &+ ((\delta' \delta b) \beta - \lambda(\Omega_n + \tau) - \gamma(\kappa + \text{div} \mathbf{n}))^2 + ((\delta' \delta b) \gamma \\ &+ \lambda \theta_{bs} + \beta(\kappa + \text{div} \mathbf{n}))^2) db + \frac{b}{2}, \end{aligned} \tag{73}$$

where

$$\mathcal{A} = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n} + \gamma \mathbf{b},$$

and λ, β, γ are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve.

Proof. Let us define the generalized vector field along with the b -line coordinate curve such that it has the following form

$$\mathcal{A} = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n} + \gamma \mathbf{b}, \tag{74}$$

where λ, β, γ are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve. If one uses the similar approach as in the proof of the Theorem 3.4 then it is computed that

$$\begin{aligned} \mathcal{S}_{\mathcal{M}}(d\mathcal{A}(\mathbf{b}), d\mathcal{A}(\mathbf{b})) &= d\sigma(\mathcal{A}(\mathbf{b})) \cdot d\sigma(\mathcal{A}(\mathbf{b})) \\ &+ \mathcal{L}(\mathcal{A}(\mathbf{b})) \cdot \mathcal{L}(\mathcal{A}(\mathbf{b})), \\ &= \mathbf{b} \cdot \mathbf{b} + (\delta' \delta b) \mathcal{A} \cdot (\delta' \delta b) \mathcal{A} \end{aligned} \tag{75}$$

Here, if one takes into account Eqs. (14,75) the proof can be completed trivially.

Lemma 3.1.6. The generalized pseudo-angle of the unit vector field \mathcal{A} along with the b -line coordinate curve is computed by

$$\begin{aligned} \mathcal{P}_b(\mathcal{A}) &= \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} (((\delta' \delta b) \lambda + \beta(\Omega_n + \tau) - \gamma \theta_{bs})^2 \\ &+ ((\delta' \delta b) \beta - \lambda(\Omega_n + \tau) - \gamma(\kappa + \text{div} \mathbf{n}))^2 \\ &+ ((\delta' \delta b) \gamma + \lambda \theta_{bs} + \beta(\kappa + \text{div} \mathbf{n}))^2)^{1/2} db, \end{aligned} \tag{76}$$

where

$$\mathcal{A} = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n} + \gamma \mathbf{b},$$

and λ, β, γ are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve.

Proof. The proof is obvious if one considers the following definition

$$\mathcal{P}_b(\mathcal{A}) = \frac{1}{2} \int_{\mathcal{R}} \|(\delta' \delta b) \mathcal{A}\| db, \tag{77}$$

where

$$\mathcal{A} = \lambda \mathbf{t} + \beta \mathbf{n} + \gamma \mathbf{b},$$

and λ, β, γ are sufficiently smooth functions along with the b -line coordinate curve.

3.2. Critical Points of the Directional Energy Functionals of the Velocity Fields

In the differential geometry literature, various functionals provide insight into measuring the vector fields described over any semi-Riemannian or Riemannian manifolds. Obtaining the optimal functionals and vector fields is an important task to expand this effort to corresponding distributions. This effort is highly appreciated since it does not require the manifold to be a compact manifold, which yields restriction-free solutions for characterizing many critical points belonging to the mapping from differential manifolds to their submanifolds by projecting their gradients. In the case of the isometry, one also expects to find the correlation between the attitude of the natural variational problem and energy functionals. In this section, we attempt finding the critical points with respect to directional variations through nearby unit normal and unit binormal vector fields, and if so whether it is not unstable with respect to such directional variations. Thus, we aim to deal with a less compelling problem than the harmonic case.

Case 1: In this case, let us assume that α be a space curve in \mathbb{E}^3 such that its position vector \mathcal{R} is parametrized by the arc-length n pointing to the location α in the normal direction.

Theorem 3.2.1. The critical point of the minimizing directional energy functional of the velocity vector field \mathbf{n} of the n -line coordinate curve in the normal direction is computed by

$$\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta \theta_{ns} \frac{\delta}{\delta n} \theta_{ns} dn + \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta \text{div} \mathbf{b} \frac{\delta}{\delta n} \text{div} \mathbf{b} dn = 0, \tag{78}$$

where ζ is a well-defined function along with the n -line coordinate curve in the following form

$$\zeta(n) = (n - \alpha_1)(\alpha_2 - n), \zeta(n) \neq 0 \forall n \in (\alpha_1, \alpha_2), \tag{79}$$

and

$$\alpha : \mathbb{I} \rightarrow \mathbb{E}^3, [\alpha_1, \alpha_2] \subset \mathbb{I}.$$

Proof. From Eqs. (19,28), the minimizing directional energy functional and its directional variation in the normal direction is written as follows

$$\frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_n(\mathbf{n}_\varepsilon) = \frac{1}{2} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} (\mathbf{n}_\varepsilon \cdot \mathbf{n}_\varepsilon + \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{n}_\varepsilon \cdot \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{n}_\varepsilon) dn, \quad (80)$$

where

$$\mathbf{n}_\varepsilon = \mathbf{n}(n, \varepsilon) = (\delta' \delta n) \alpha(n, \varepsilon), \quad (81)$$

$$\alpha(n, \varepsilon) = \begin{pmatrix} \alpha^*(n) + \varepsilon \varpi^*(n), \alpha^{**}(n) \\ + \varepsilon \varpi^{**}(n), \alpha^{***}(n) + \varepsilon \varpi^{***}(n) \end{pmatrix}, \quad (82)$$

$$\zeta(n) \mathbf{n}(n) = (\varpi^*(n), \varpi^{**}(n), \varpi^{***}(n)), \varpi^i : [\alpha_1, \alpha_2] \rightarrow \mathbb{R}, \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta \theta_{bs} \frac{\delta}{\delta b} \theta_{bs} db + \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) \frac{\delta}{\delta b} (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) db = 0, \quad (83)$$

such that

$$\alpha(n, 0) = \zeta(\alpha_1) = \zeta(\alpha_2) = 0. \quad (84)$$

By using Eqs. (81-84), one computes that

$$\frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_n(\mathbf{n}_\varepsilon) = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\delta^2}{\delta \varepsilon \delta n} \mathbf{n}_\varepsilon \cdot \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{n}_\varepsilon dn. \quad (85)$$

Further computation yields that

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_n(\mathbf{n}_0)|_{\varepsilon=0} &= \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathbf{n}_\varepsilon(n, 0) \cdot \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{n}_\varepsilon(n, 0)|_{\alpha_1}^{\alpha_2} \\ &- \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathbf{n}_\varepsilon(n, 0) \cdot \frac{\delta^2}{\delta n^2} \mathbf{n}_\varepsilon(n, 0) dn. \end{aligned} \quad (86)$$

Now, we should remind some identities to calculate the above equality. From the partial derivatives with respect to n and ε , we obtain that

$$\frac{\delta}{\delta \varepsilon} \alpha(n, \varepsilon) = \zeta(n) \mathbf{n}_\varepsilon(n, \varepsilon), \quad (87)$$

$$\frac{\delta}{\delta \varepsilon} \alpha(n, 0) = \mathbf{n}_\varepsilon(n, 0) = \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{n}$$

Thus, one can reformulate Eq. (86) by using Eqs. (13,84,87) in the following way

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_n(\mathbf{n}_0)|_{\varepsilon=0} &= \zeta(\theta_{ns}^2 + \text{div} \mathbf{b}^2)|_{\alpha_1}^{\alpha_2} \\ &- 3 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta (\theta_{ns} \frac{\delta}{\delta n} \theta_{ns} + \text{div} \mathbf{b} \frac{\delta}{\delta n} \text{div} \mathbf{b}) dn. \end{aligned} \quad (88)$$

From Eq. (84), we already know that $\zeta(\alpha_1) = \zeta(\alpha_2) = 0$. Therefore, one can compute that

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_n(\mathbf{n}_0)|_{\varepsilon=0} &= \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta \theta_{ns} \frac{\delta}{\delta n} \theta_{ns} dn \\ &+ \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta \text{div} \mathbf{b} \frac{\delta}{\delta n} \text{div} \mathbf{b} dn = 0. \end{aligned} \quad (89)$$

Finally, the proof is completed and it implies that any path in the normal direction minimizing the directional energy functional $\mathcal{E}_n(\mathbf{n}_\varepsilon)$ must meets Eq. (89).

Case 2: In this case, let us assume that α be a space curve in \mathbb{E}^3 such that its position vector \mathcal{R} is parametrized by the arc-length b pointing to the location α in the binormal direction.

Theorem 3.2.2. The critical point of the minimizing directional energy functional of the velocity vector field \mathbf{b} of the b -line coordinate curve in the binormal direction is given by

$$\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta \theta_{bs} \frac{\delta}{\delta b} \theta_{bs} db + \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) \frac{\delta}{\delta b} (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) db = 0, \quad (90)$$

where ζ is a well-defined function along with the b -line coordinate curve in the following form

$$\zeta(b) = (b - \alpha_1)(\alpha_2 - b), \zeta(b) \neq 0 \forall b \in (\alpha_1, \alpha_2), \quad (91)$$

and

$$\alpha : \mathbb{I} \rightarrow \mathbb{E}^3, [\alpha_1, \alpha_2] \subset \mathbb{I}.$$

Proof. From Eqs. (19,53), the minimizing directional energy functional and its directional variation in the binormal direction is written as follows

$$\frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_b(\mathbf{b}_\varepsilon) = \frac{1}{2} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} (\mathbf{b}_\varepsilon \cdot \mathbf{b}_\varepsilon + \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{b}_\varepsilon \cdot \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{b}_\varepsilon) db, \quad (92)$$

where

$$\mathbf{b}_\varepsilon = \mathbf{b}(b, \varepsilon) = (\delta' \delta b) \alpha(b, \varepsilon), \quad (93)$$

$$\alpha(b, \varepsilon) = \begin{pmatrix} \alpha^*(b) + \varepsilon \varpi^*(b), \alpha^{**}(b) \\ + \varepsilon \varpi^{**}(b), \alpha^{***}(b) + \varepsilon \varpi^{***}(b) \end{pmatrix}, \quad (94)$$

$$\zeta(b) \mathbf{b}(b) = (\varpi^*(b), \varpi^{**}(b), \varpi^{***}(b)), \varpi^i : [\alpha_1, \alpha_2] \rightarrow \mathbb{R}, \quad (95)$$

such that

$$\alpha(b, 0) = \zeta(\alpha_1) = \zeta(\alpha_2) = 0. \quad (96)$$

By using Eqs. (93,96), one computes that

$$\frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_b(\mathbf{b}_\varepsilon) = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\delta^2}{\delta \varepsilon \delta b} \mathbf{b}_\varepsilon \cdot \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{b}_\varepsilon db. \quad (97)$$

Further computation yields that

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_b(\mathbf{b}_0)|_{\varepsilon=0} &= \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathbf{b}_\varepsilon(b, 0) \cdot \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{b}_\varepsilon(b, 0)|_{\alpha_1}^{\alpha_2} \\ &- \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathbf{b}_\varepsilon(b, 0) \cdot \frac{\delta^2}{\delta b^2} \mathbf{b}_\varepsilon(b, 0) db. \end{aligned} \quad (98)$$

Now, we should remind some identities to calculate the above equality. From the partial derivatives with respect to b and ε , we obtain that

$$\frac{\delta}{\delta \varepsilon} \alpha(b, \varepsilon) = \zeta(b) \mathbf{b}_\varepsilon(b, \varepsilon), \tag{99}$$

$$\frac{\delta}{\delta \varepsilon} \alpha(b, 0) = \mathbf{b}_\varepsilon(b, 0) = \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{b},$$

Thus, one can reformulate Eq. (98) by using Eqs. (14,96,99) in the following way

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_b(\mathbf{b}_0)|_{\varepsilon=0} &= \zeta(\theta_{bs}^2 + (\kappa + \text{div} \mathbf{n})^2)|_{\alpha_1}^{\alpha_2} \\ &- 3 \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta(\theta_{bs} \frac{\delta}{\delta b} \theta_{bs} + (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) \frac{\delta}{\delta b} (\kappa + \text{div} \mathbf{n})) db. \end{aligned} \tag{100}$$

From Eq. (96), we already know that $\zeta(\alpha_1) = \zeta(\alpha_2) = 0$. Therefore, one can compute that

$$\begin{aligned} \frac{\delta}{\delta \varepsilon} \mathcal{E}_b(\mathbf{b}_0)|_{\varepsilon=0} &= \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta \theta_{bs} \frac{\delta}{\delta b} \theta_{bs} db + \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \zeta (\kappa \\ &+ \text{div} \mathbf{n}) \frac{\delta}{\delta b} (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) db = 0. \end{aligned} \tag{101}$$

Finally, the proof is completed and it implies that any path in the binormal direction minimizing the directional energy functional $\mathcal{E}_b(\mathbf{b}_\varepsilon)$ must meet Eq. (101).

3.3. Harmonic Maps and the Extrema of the Directional Energy Functionals

If the differential of the divergence of a map between semi-Riemannian or Riemannian manifolds vanish then this map is called harmonic. Critical points of this map are computed by investigating the corresponding energy functional. This differential is also written in terms of the tension field associated with the energy functional given by the Euler-Lagrange operator. Harmonic maps are seen in several different contexts. For instance, these maps are used to characterize the geodesics, or they are considered to compute minimal surface energy via the Dirichlet-Douglas integral, or they are taken into account to define holomorphic maps through the compatible metrics in certain manifolds, etc. The most striking problem for harmonic maps is solved by the improvement of variational theory. Even though there is no generalized solution family or theory ensuring the exact and entire solutions to these maps the second-order semilinear Euler-Lagrange type of elliptic equation systems provide some advantages. Accordingly, it helps obtaining some

approximate solutions and outlining some results. In this section, we describe the directional harmonic and biharmonic equations of curvature vector fields in the three-dimensional ordinary space. Thus, we aim to obtain further generalization on the directional biharmonic maps and bienergy between Riemannian manifolds.

Case 1: In this case, let us assume that α be a space curve in \mathbb{E}^3 such that its position vector \mathcal{R} is parametrized by the arc-length n pointing to the location α in the normal direction.

The partial derivative of the Frenet-Serret triad in the normal direction implies that the curvature vector field associated with the space curve is expressed by

$$\mathbb{C} = \frac{\delta}{\delta n} \mathbf{n} = -\theta_{ns} \mathbf{t} - (\text{div} \mathbf{b}) \mathbf{b}. \tag{102}$$

Let Δ denotes the Laplacian operator acting on the tangent space of all smooth sections. Thus, in the normal direction, Δ is defined explicitly by

$$\Delta = -\frac{\delta}{\delta n} \frac{\delta}{\delta n}. \tag{103}$$

Then, the normal biharmonicity condition of the curvature vector field \mathbb{C} is given by

$$\frac{\delta}{\delta n} \frac{\delta}{\delta n} \frac{\delta}{\delta n} \alpha = 0, \tag{104}$$

where

$$\Delta \mathbb{C} = \pi \mathbb{C}, \pi \in \mathbb{R}. \tag{105}$$

Taking the partial derivative \mathbb{C} with respect to n , and considering Eq. (13) it is computed that

$$\begin{aligned} \Delta \mathbb{C} &= (-\frac{\delta^2}{\delta n^2} \theta_{ns} + 2(\Omega_b + \tau) \frac{\delta}{\delta n} \text{div} \mathbf{b} \\ &+ \text{div} \mathbf{b} \frac{\delta}{\delta n} (\Omega_b + \tau) + \theta_{ns} (\theta_{ns}^2 + (\text{div} \mathbf{b})^2 \\ &+ (\Omega_b + \tau)^2)) \mathbf{t} - 3(\theta_{ns} \frac{\delta}{\delta n} \theta_{ns} + \text{div} \mathbf{b} \frac{\delta}{\delta n} \text{div} \mathbf{b}) \mathbf{n} \\ &+ (-\frac{\delta^2}{\delta n^2} \text{div} \mathbf{b} - 2(\Omega_b + \tau) \frac{\delta}{\delta n} \theta_{ns} - \theta_{ns} \frac{\delta}{\delta n} (\Omega_b \\ &+ \tau) + \text{div} \mathbf{b} (\theta_{ns}^2 + (\text{div} \mathbf{b})^2 + (\Omega_b + \tau)^2)) \mathbf{b}. \end{aligned} \tag{106}$$

From Eqs. (102,105,106), the normal biharmonicity condition of the curvature vector field \mathbb{C} is satisfied if and only if the following identities hold

$$0 = -\frac{\delta^2}{\delta n^2} \theta_{ns} + 2(\Omega_b + \tau) \frac{\delta}{\delta n} \text{div} \mathbf{b} + \text{div} \mathbf{b} \frac{\delta}{\delta n} (\Omega_b + \tau) + \theta_{ns} (+\pi + (\Omega_b + \tau)^2), \tag{107}$$

$$0 = -\frac{\delta^2}{\delta n^2} \text{div} \mathbf{b} - 2(\Omega_b + \tau) \frac{\delta}{\delta n} \theta_{ns} - \theta_{ns} \frac{\delta}{\delta n} (\Omega_b + \tau) + \text{div} \mathbf{b} (+\pi + (\Omega_b + \tau)^2), \tag{108}$$

where \mathcal{K} is a constant value such that

$$\mathcal{K} = \theta_{ns}^2 + \text{div} \mathbf{b}^2.$$

Case 2: In this case, let us assume that α be a space curve in \mathbb{E}^3 such that its position vector \mathcal{R} is parametrized by the arc-length b pointing to the location α in the binormal direction.

The partial derivative of the Frenet-Serret triad in the binormal direction implies that the curvature vector field associated with the space curve is expressed by

$$\mathbb{C} = \frac{\delta}{\delta b} \mathbf{b} = -\theta_{bs} \mathbf{t} - (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) \mathbf{n}. \tag{109}$$

Let Δ denotes the Laplacian operator acting on the tangent space of all smooth sections. Thus, in the binormal direction, Δ is defined explicitly by

$$\Delta = -\frac{\delta}{\delta b} \frac{\delta}{\delta b}. \tag{110}$$

Then, the binormal biharmonicity condition of the curvature vector field \mathbb{C} is given by

$$\frac{\delta}{\delta b} \frac{\delta}{\delta b} \frac{\delta}{\delta b} \alpha = 0, \tag{111}$$

where

$$\Delta \mathbb{C} = \pi \mathbb{C}, \pi \in \mathbb{R}. \tag{112}$$

Taking the partial derivative \mathbb{C} with respect to b , and considering Eq. (14) it is computed that

$$\begin{aligned} \Delta \mathbb{C} &= \left(-\frac{\delta^2}{\delta b^2} \theta_{bs} - 2(\Omega_n + \tau) \frac{\delta}{\delta b} (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) - (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) \frac{\delta}{\delta b} (\Omega_n + \tau) + \theta_{bs} (\theta_{bs}^2 + (\kappa + \text{div} \mathbf{n})^2 + (\Omega_n + \tau)^2)\right) \mathbf{t} + \left(-\frac{\delta^2}{\delta b^2} (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) + 2(\Omega_n + \tau) \frac{\delta}{\delta b} \theta_{bs} + \theta_{bs} \frac{\delta}{\delta b} (\Omega_n + \tau) + (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) (\theta_{bs}^2 + (\kappa + \text{div} \mathbf{n})^2 + (\Omega_n + \tau)^2)\right) \mathbf{n} - 3\left(\theta_{bs} \frac{\delta}{\delta b} \theta_{bs} + (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) \frac{\delta}{\delta b} (\kappa + \text{div} \mathbf{n})\right) \mathbf{b}. \end{aligned} \tag{113}$$

From Eqs. (109,112,113), the binormal biharmonicity condition of the curvature vector field \mathbb{C} is satisfied if and only if the following identities hold

$$0 = -\frac{\delta^2}{\delta b^2} \theta_{bs} - 2(\Omega_n + \tau) \frac{\delta}{\delta b} (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) - (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) \frac{\delta}{\delta b} (\Omega_n + \tau) + \theta_{bs} (+\pi + (\Omega_n + \tau)^2), \tag{114}$$

$$0 = -\frac{\delta^2}{\delta b^2} (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) + 2(\Omega_n + \tau) \frac{\delta}{\delta b} \theta_{bs} + \theta_{bs} \frac{\delta}{\delta b} (\Omega_n + \tau) + (\kappa + \text{div} \mathbf{n}) (+\pi + (\Omega_n + \tau)^2), \tag{115}$$

where \mathcal{K} is a constant value such that

$$\mathcal{K} = \theta_{bs}^2 + (\kappa + \text{div} \mathbf{n})^2.$$

4. Conclusion and Suggestions

It is well-known that energy functionals are significant in the improvement of the variational theory in mathematics. They are the key ingredient of the calculation of energy and volume of unit vector fields in different geometric and physical space structures. They are also highly effectively used in determining the absolute minima or maxima of critical curves, obtaining critical points of extrema curves, measuring bending or total bending quantities, defining curvature energy of extremal curves, etc. In this paper, we investigate the energy of Frenet-Serret unit vector fields under infinitesimal variation of the arc-length parameter determined in the normal and binormal directions.

It is called directional energy along with the paper. We define the corresponding directional energy functionals associated with the energy of the unit tangent, normal, and binormal vectors in the normal and binormal directions. We also give explicit identities for the computation of the energy minimizers and the critical points of the unit velocity vector fields in the normal and binormal directions. Finally, we calculate the necessary and sufficient conditions of directional harmonic and biharmonic equations of the curvature vector field in the ordinary space to present insight into the directional biharmonic maps and bienergy between Riemannian manifolds. In the future, we will solve these partial differential equations of the Euler-

Lagrange type to examine the effect of changing the arc-length parameter from s to n and b . This also leads to understand the behavior of the geometric quantities of the anholonomic coordinates when their characterizations are shaped due to the influence of certain energy or volume functionals.

Statement of Research and Publication Ethics

The study is complied with research and publication ethics.

References

- [1] G. Wiegink, "Total bending of vector fields on Riemannian manifolds," *Mathematische Annalen*, vol. 303, no. 1, pp. 325-344, Sep, 1995.
- [2] G. Wiegink, "Total bending of vector fields on the sphere S^3 ," *Differential Geometry and its Applications*, vol. 6, no. 3, pp. 219-236, Sep, 1996.
- [3] H. Gluck, W. Ziller, "On the volume of a unit vector field on the three-sphere," *Commentarii Mathematici Helvetici*, vol. 61, no. 1, pp. 177-192, 1986.
- [4] F.G. Brito, "Total bending of flows with mean curvature correction," *Differential Geometry and its Applications*, vol. 12, no. 2, pp. 157-163, March 2000.
- [5] C. M. Wood. "On the energy of a unit vector field," *Geometriae Dedicata*, vol. 64, no. 3, pp. 319-330, Mar, 1997.
- [6] P. M. Chacon, A. M. Naveira, J.M. Weston, "Corrected energy of distributions on Riemannian Manifolds," *Osaka Journal of Mathematics*, vol. 41, no. 1, pp. 97-105, 2004.
- [7] P. M. Chacon, A. M. Naveira, J. M. Weston, "On the energy of distributions, with application to the quaternionic Hopf fibrations," *Monatshefte für Mathematik*, vol. 133, no. 4, pp. 281-294, Oct, 2001.
- [8] A. Altın, "On the energy and pseudo-angle of Frenet vector fields in $R_{\{v\}}^n$," *Ukrainian Mathematical Journal*, vol. 63, no. 6, pp. 969-976, June 2011.
- [9] A. Altın, "Minimizing the energy of the velocity vector field of curve in R^3 ," *The Online Mathematical Journal*, vol. 7, no. 2, pp. 91-94, 2017.
- [10] A. Altın, "The energy of a domain on the surface," *Ukrainian Mathematical Journal*, vol. 67, no. 4, pp. 641-647, Dec, 2015.
- [11] T. Körpınar, R. C. Demirkol, "Energy on a timelike particle in dynamical and electrodynamical force fields in De-Sitter space," *Revista Mexicana de Física*, vol. 63, no. 6, pp. 560-568, Nov, 2017.
- [12] T. Körpınar, R. C. Demirkol, "A new characterization on the energy of elastica with the energy of Bishop vector fields in Minkowski space," *Journal of Advanced Physics*, vol. 6, no. 4, pp. 562-569, Dec, 2017.
- [13] T. Körpınar, R. C. Demirkol, "A new approach on the curvature dependent energy for elastic curves in a Lie group," *Honam Mathematical Journal*, vol. 39, no. 4, pp. 637-647, Dec, 2017.
- [14] J. I. Inoguchi, "Submanifolds with harmonic mean curvature vector field in contact 3- manifolds," *Colloq. Math.*, vol. 100, no. 2, pp. 163-179, 2004.
- [15] T. Sasahara, "Legendre surfaces in Sasakian space forms whose mean curvature vectors are eigenvectors," *Publ. Math. Debrecen*, vol. 67, no. 3-4, pp. 285-303, 2005.
- [16] B. Y. Chen, "A report on submanifolds of finite type," *Soochow Journal of Mathematics*, vol. 22, no. 2, pp. 117-337, 1996.
- [17] B. Y. Chen, *Total mean curvature and submanifolds of finite type*, vol. 27, World Sci. Publishing Company.
- [18] B. Y. Chen, "Submanifolds in de sitter space-time satisfying $\Delta H = \lambda H$," *Israel Journal of Mathematics*, vol. 91, no. 1, pp. 373-391, October 1995.

- [19] B. Y. Chen, "Some classification theorems for submanifolds in Minkowski space-time," *Archiv der Mathematik*, vol. 62, no. 2, pp. 177-182, 1994.
- [20] E. Turhan, T. Körpınar, "On characterization of time-like horizontal biharmonic curves in the Lorentzian Heisenberg group $Heis^3$," *Zeitschrift für Naturforschung A*, vol. 65, no. 8-9, pp. 641-648, 2010.
- [21] T. Körpınar, "On T-magnetic biharmonic particles with energy and angle in the three dimensional Heisenberg group H^3 ," *Advances in Applied Clifford Algebras*, vol. 28, no. 1, pp. 1-15, Feb 2018.
- [22] T. Körpınar, "New characterizations for minimizing energy of biharmonic particles in Heisenberg spacetime," *International Journal of Theoretical Physics*, vol. 53, no. 9, pp. 3208-3218, May, 2014.
- [23] T. Körpınar, "Bianchi type-I cosmological models for inextensible flows of biharmonic particles by using curvature tensor field in spacetime," *International Journal of Theoretical Physics*, vol. 54, no. 6, pp. 1762-1774, November 2014.
- [24] T. Körpınar, E. Turhan, "Biharmonic S-curves according to Sabban frame in Heisenberg group $Heis^3$," *Boletim da Sociedade Paranaense de Matemática*, vol. 31, no. 1, pp. 205-211, Jan, 2013.
- [25] T. Körpınar, E. Turhan, "On characterization canal surfaces around timelike horizontal biharmonic curves in Lorentzian Heisenberg group $Heis^3$," *Zeitschrift für Naturforschung A*, vol. 66, no. 6-7, pp. 441-449, 2011.
- [26] W. K. Schief, C. Rogers, "Binormal motion of curves of constant curvature and torsion generation of soliton surfaces," *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 455, no. 1988, pp. 3163-3188, Aug, 1999.
- [27] T. Sakai, *Riemannian geometry*, vol. 149, American Mathematical Society.

Haddeme ile Birleştirilen AISI 430/Al 1050 /AISI 304 Tabakalı Kompozitlerde Isıl İşlemin Ara Yüzey ve Mekanik Özelliklere Etkisi

Hüseyin DEMİRTAŞ^{1*}, Alper İNCESU¹

¹TOBB Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Karabük Üniversitesi, Karabük
(ORCID: [0000-0002-2442-2158](https://orcid.org/0000-0002-2442-2158)) (ORCID: [0000-0003-4404-4331](https://orcid.org/0000-0003-4404-4331))



Anahtar kelimeler:
Lamine kompozitler, Isıl işlem,
Mekanik özellikler, Mikroyapı analizi.

Öz

Bu çalışmada, haddeme işlemi ile AISI 304 östenitik paslanmaz çelik ve AISI 430 ferritik paslanmaz çelik sacları araya ticari saflıkta 1050 alüminyum levha konularak lamine kompozit üretilmiştir. Üretim sonrası farklı sıcaklık ve sürede ısıl işlem uygulanmış kompozit plakaların ara yüzey bağ mukavemeti, mikroyapısı ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Kompozitlerin mekanik özellikleri çekme testi, mikro sertlik ölçümü, sıyırma testi ile belirlenmiş, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımı spektroskopisi (EDS) ile karakterize edilmiştir. Uygulanan ısıl işlem parametreleri arasında yüksek mekanik özellik (434,95MPa) ve süneklik (%27,16) sağlaması yönünden ve işlem kolaylığı bakımından 450°C-12 saat uygun görülmüştür. 550°C'de 12 saat yapılan ısıl işlem sonrasında ise katmanlar arasındaki bağ kuvvetinin sifıra yakın bir değere düştüğü belirlenmiştir.

Effect of Heat Treatment on Interface and Mechanical Properties of AISI 430/Al 1050/AISI 304 Layered Composites Joined by Rolling

Keywords: Laminated composites, Heat treatment, Mechanical properties, Microstructure analysis.

Abstract

In this study, a laminated composite was produced by placing a commercial grade 1050 aluminium sheet between AISI 304 austenitic stainless steel and AISI 430 ferritic stainless-steel sheets by rolling process. The interfacial bond strength, microstructure, and mechanical properties of the composite plates were investigated, which were heat-treated at different temperatures and times after production. The mechanical properties of the composites were determined by tensile test, microhardness measurement, peel test, and characterized by scanning electron microscopy (SEM) and energy distribution spectroscopy (EDS). Among the applied heat treatment parameters, 450°C-12 h was found suitable for high mechanical properties (435.95 MPa), ductility (27.16%), and ease of processing. After the heat treatment at 550°C for 12 h, it was determined that the bond strength between the layers decreased to a value close to zero.

1. Giriş

Paslanmaz çelikler, yapısal karbon çelikleri ile kıyaslandıklarında mükemmel korozyon dirençleri ve yüksek enerji emme özellikleri ile birlikte oldukça yaygın bir kullanım alanına

sahip olmuşlardır. Paslanmaz çelikler içerisinde de östenitik paslanmaz çelikler diğer paslanmaz çelikler ile kıyaslandıklarında yüzey kalitesi, şekillendirilebilirlik, korozyon ve aşınma direnci özellikleri bakımından bir adım öne çıkmaktadırlar [1]. Ancak östenitik paslanmaz çeliğin (ÖPÇ) pahalı

*Sorumlu yazar: hdemirtas@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi: 07.09.2021, Kabul Tarihi: 17.11.2021

olması yaygın kullanımını sınırlandırırken ferritik paslanmaz çeliklerin (FPÇ) oldukça ucuz olmaları ve iyi korozyon dirençlerinden dolayı geniş bir kullanım alanına sahiptirler [2].

Birbirine benzemeyen metal katmanlara sahip bimetal ve lamine metal kompozitler, iyi mekanik özelliklerin korozyon direnci ve yeterli kaynaklanabilirliğin ideal kombinasyonu nedeniyle, gemi yapımı, kimyasal ve petrol üretimi ile enerji santralleri ve baca gazı kükürt giderme tesisleri gibi çeşitli agresif alanlarda kullanılabilir [3]. Bu hafif hibrit malzemeler mükemmel mekanik özelliklere sahiptir ve tüm çelik parçalardan daha ekonomiktir, bu da artan bir uygulama yelpazesi sağlamaktadır. Nihai ürünün toplam maliyetini azaltmak için östenitik ve ferritik paslanmaz çelikler birlikte kullanılabilirler [4], [5]. Ancak, termal ve fiziksel özelliklerinin uyumsuzluğu nedeniyle ÖPÇ ve FPÇ'nin kaynak, eritme vb. ile birleştirilmesi sorunlara neden olmaktadır [6], [7]. Bu nedenle ÖPÇ ve FPÇ laminatların orta tabakasında sünek, hafif, korozyona dayanıklı ve ucuz alüminyum alaşımları ile katmanlı bir kompozit malzeme üretilmesi avantajlı olmuştur. Fe ve Al alaşımları arasındaki etkileşim, mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan bimetal kompozitlere benzersiz özelliklerin bir kombinasyonunu getirmektedir [8].

Tek bir metal veya alaşımla karşılaştırıldığında, bimetal kompozit, iki bileşen metalden ve özel bir bölgeden, yani, kompozitin toplam özelliklerini önemli ölçüde etkileyebilecek ara yüzeye bitişik metalürjik bağlama geçiş bölgesinden (MBTZ) oluşmaktadır [9]. Ara yüzeydeki faz tipleri, fazların büyüme kinetiğine ve tabakalar arasındaki difüzyon sürecine bağlı olarak katmanlı kompozitlerin özelliklerini etkilemektedir. İntermetaliklerin oluşum ve büyüme mekanizmaları reaksiyon sıcaklığından ve fazların durumundan etkilenmektedir. Bundan dolayı reaksiyon sıcaklığının Al alaşımının erime sıcaklığının altında veya üstünde olması bimetal kompozitler için belirleyici faktör haline gelmektedir [10], [11].

Metal katmanlı kompozitler, alternatif teknolojiler kullanılarak çeşitli kimyasal ve fiziksel özelliklere sahip iki veya daha fazla malzeme türünün istiflenmesiyle üretilir ve belirgin avantajlara sahiptir [12]. Bazı mevcut üretim teknolojileri olarak haddeleme [13], patlayıcı kompozit [14], difüzyon kaynağı [15], döküm [16] ve toz metalürjisi sayılabilmektedir

[17]. Çok katmanlı lamine kompozitler için çeşitli imalat yöntemleri olmasına rağmen, basınca dayalı birleştirme esastır ve üretim verimliliği nedeniyle haddeleme yöntemi öne çıkmaktadır. Birbirine benzemeyen haddeleme ile bağlı metalik malzemelerin bazı kombinasyonları alüminyum/alüminyum [18], çelik/çelik [19], çelik/alüminyum [20] ve titanyum/çeliktir [21]. Katı faz halinde soğuk haddeleme işlemi, metalleri plastik deformasyonla birbirine bağlamaktadır. Soğuk haddelenmiş metaller arasında etkili bir metalürjik bağ elde etmek için birleştirilecek metallerin kirlenmiş tabakasını çıkarmak çok önemlidir. Basınç, sıcaklık, deformasyon miktarı ve yüzey hazırlığının metallerin soğuk merdane birleştirme kalitesini etkilediği belirtilmektedir [22]–[25]. Ayrıca, haddelemeden sonra uygulanan difüzyon tavlama ısı işlemi, ara yüzeydeki alaşım elementlerinin difüzyon davranışını harekete geçirmeyi amaçlamaktadır. Böylece ara yüzdeki bağlanma tipi mekanik bağlamadan metalürjik bağlamaya değişmektedir [26].

Talebian ve Alizadeh [27], haddeleme sonrası tavlamanın Al/çelik çok katmanlı kompozitin mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, tavlama sıcaklığı ne kadar yüksek olursa, sürenin o kadar uzun olduğunu, ara yüzeylerde intermetalik fazların oluşumuna yol açan arayüzey element difüzyonunun daha belirgin olduğunu göstermişlerdir. Mendes ve diğerleri [28], kompozit plakanın bileşenlerinin birbirine karıştığını ve atomların ara difüzyonuna sahip olduğunu, ancak intermetalik bileşiklerin olmadığını bulmuşlardır. Takuda ve diğerleri [29], alüminyum/yumuşak çelik bimetal plakanın çekme özelliklerini ve şekillendirilebilirliğini araştırmış ve derin şekillendirme işleminde çekme özellikleri ile şekillendirilebilirlik arasında basit bir ilişki olmadığını bulmuşlardır. Ayrıca, sünek kırılma kriteri ile çelik/alüminyum/çelik lamine kompozitin derin çekmesindeki şekillendirme sınırını da tahmin etmişlerdir.

Literatürde katmanlı kompozitler ile ilgili çalışmalar olmasına rağmen ÖPÇ/Al/FPÇ kompozitlerin haddelemeden sonraki farklı ısı işlem parametrelerine bağlı olarak mekanik özelliklerindeki değişimler hakkında kapsamlı bir bilgi gözlemlenmemiştir [30]. Nitekim Li ve diğerleri, çeşitli ısı işlem koşulları altında bimetal kompozit ve yüksek sıcaklık işlemlerinden sonra ara yüzey bölgesinin mekanik ve kırılma özelliklerinin daha fazla çalışılması gerektiğini vurgulamışlardır [3]. Bu çalışmada, soğuk haddeleme işleminden sonra farklı parametrelerde

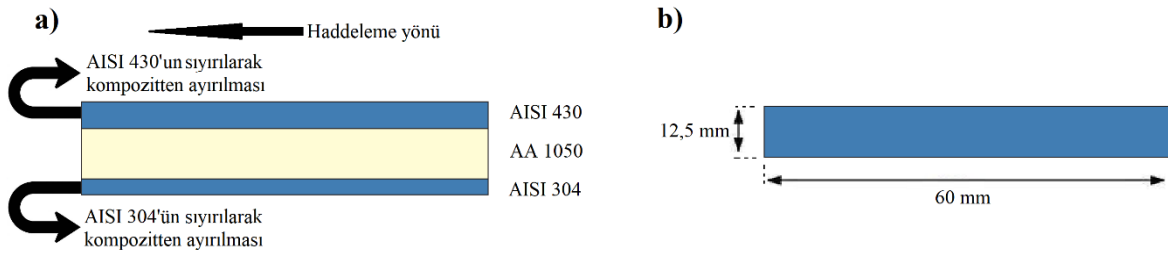
ısıtılma işlemi görmüş kompozitlerin mikroyapı ve mekanik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Tabakalı metal kompozitler 0.40 mm kalınlığında AISI 304 östenitik paslanmaz çelik, 0.60 mm kalınlığında AISI 430 ferritik paslanmaz çelik ve 1.00 mm kalınlığında ticari saf Al (1050) sacların haddelenmesi ile üretilmiştir. Sac tabakalarının kimyasal bileşimleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Sac tabakaların kimyasal bileşimi (ağ. %).

	C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	Fe	Al
AISI 430	≤0,11	17,6	≤0,75	0,4	0,6	≤0,045	≤0,03	Kalan	-
AISI 304	≤0,08	19,2	9,17	0,32	1,86	≤0,045	≤0,03	Kalan	-
AA 1050	-	-	0,03	0,19	0,02	-	-	0,24	99,57



Şekil 1. Kompozit tabakalarının ayrılması (a) ve çekme numunelerinin (b) şematik gösterimi.

Haddelenmiş numuneler durgun havada soğumaya bırakılmıştır. Sonrasında haddelenerek üretilen kompozitler, 12 ve 24 saat 450 °C'de ve 12 saat 550 °C'de bir rezistans fırınında ısıtılıp fırında soğumaya bırakılmıştır. Mikroyapı analizi için numuneler haddelenme yönüne paralel ve dik olarak kesilmiştir. Zımparalama (1200p'ye kadar) ve ardından numunelere uygulanan parlatma (alümina-1µm) içeren metalografik yüzey hazırlama prosedürü uygulanmıştır. Tüm katmanlar, farklı bekleme sürelerinde %3 Nital ve Keller çözeltisi ile dağlanmıştır. Metalografik kesitler Carl Zeiss ULTRA PLUS FESEM marka alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak incelenmiştir. Enerji dağılımı spektroskopisi (EDS) ile donatılmış SEM, morfolojiyi araştırmak ve sac malzemelerin arayüzünde oluşan intermetaliklerin elementel dağılımını belirlemek için kullanılmıştır. EDS nokta analizinden elde edilen ortalama değerler ile oluşan intermetaliklerin bileşimleri elde edilmiştir.

Kompozit malzemeler, çelik saclar arasına bir Al sac yerleştirilip tek pasoda haddelenme ile üç katman halinde üretilmiştir. Haddelenmeden önce, sac yüzeylerinden oksitleri uzaklaştırmak ve tabakaların yüzey sürtünmesini artırmak için çelik saclar tel fırça ile mekanik olarak temizlenmiştir. Mekanik temizlemeden sonra paslanmaz çelik ve alüminyum bileşenler üst üste konularak bant konveyör üzerinde çelik yüzeyleri yaklaşık 600 °C olana kadar ısıtılmış, hemen ardından ısıtılan saclar haddelenerek birleştirilmiştir.

Mikrosertlik ölçümleri Q10 A+ QNESS cihazı ile yapılmıştır. Test parametreleri olarak iki farklı (0.1N ve 1N) yük ve 15 s bekleme süresi kullanılmıştır. Arayüzey boyunca sertlik dağılımları en az on farklı yerde ölçülmüş ve ortalama değerler rapor edilmiştir.

Farklı ısıtılma işlemi uygulanmış kompozit malzemeler ve bunların bileşenleri üzerinde sacın haddelenme yönüne paralel olarak tek eksenli çekme testleri yapılmıştır. Test edilen bileşen malzemelerinin her biri, üretilen kompozitlerden mekanik olarak sıyrılarak elde edilmiştir (Şekil 1a). Her bir çekme testi numunesi yaklaşık olarak 12,5 mm genişliğinde ve 60 mm uzunluğunda sahiptir (Şekil 1b). Çekme testleri, Zwick/Roell Z600 üniversal test makinesi ile oda sıcaklığında 10⁻³ 1/s deformasyon hızı ile gerçekleştirilmiştir.

Kompozitin metal katmanları arasındaki bağ gücü, ASTM-D903-93'e göre 180° sıyırma testi ile ölçülmüştür. Sıyırma testi, Zwick/Roell Z600 üniversal test makinesi tarafından 20 mm/dk. hızla gerçekleştirilmiştir. Sıyırma testinin numune boyutları 200 mm uzunluğunda ve 25 mm genişliğindedir. 540 °C'de ısıtılma işlemi yapılan kompozitlerde saclar

arasındaki bağ sıfıra yakın değerlere kadar düştüğü için sıyırma testi yapılmamıştır.

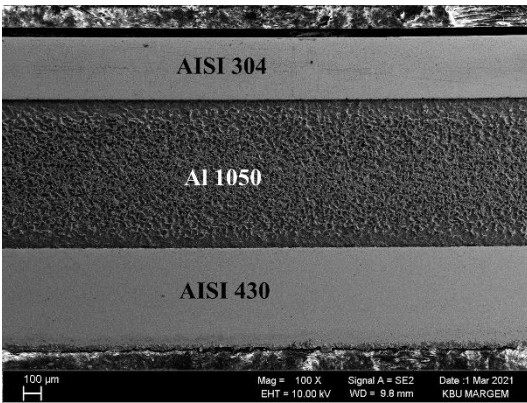
$$P_s = P_f / W \quad (1)$$

Sıyırma mukavemeti P_s , P_f 'nin ortalama sıyırma kuvveti (N) ve W 'nin numunenin genişliği (mm) olduğu formül 1'e göre hesaplanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Haddeleme sonrası kompozitlerin genel görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. Her tabakanın kalınlığı haddeleme yönü boyunca yaklaşık olarak aynı ve sürekli. Toplam kompozit kalınlığı haddelemeden sonra 2'den 1.86 mm'ye düşmüştür. Bu düşüşün beklenildiği gibi esas sebebi mukavemeti en düşük olan alüminyum sacın deformasyonudur. Ölçümler sonrası çelik saclarda kalınlık değişimlerinin sıfıra yakın olduğu belirlenmiştir.

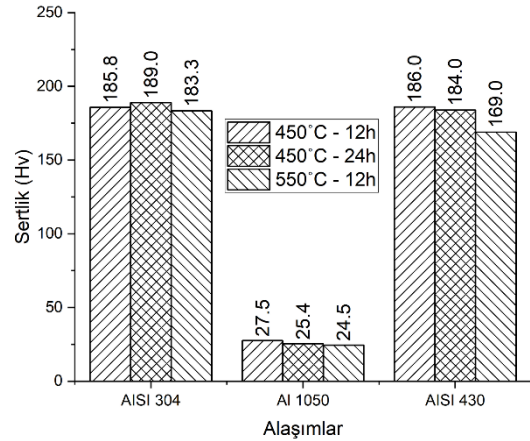
Haddeleme sonrası plastik deformasyon ile metallerin sertlikleri bir miktar artabilirken uygulanan ısı işlem ile genellikle düşmesi beklenmektedir. Bu değişimi belirlemek için ısı işlem görmüş kompozit saclarının ortalama mikro sertlik değerleri Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Üretilen kompozitlerin haddeleme sonrası genel görüntüsü.

Isıl işlemden sonra, AISI304 tabakasının sertliği 450°C'de yapılan ısı işlemle birlikte biraz artmış fakat 550°C'de yapılan ısı işlem sonrasında tekrar düşmüştür. AISI430 tabakasının sertliği, artan ısı işlem süre ve sıcaklığı ile kademeli olarak düşmüştür. Al ise düşük erime sıcaklığından dolayı ısı işlemden orantısız olarak en fazla ölçüde etkilenmiş ve sertlikleri kademeli olarak düşmüştür. Ölçümlerin genelinde paslanmaz çelik sacların sertlik dağılımında önemli bir

farklılık bulunmazken, kompozitin en yumuşak bileşeni olan Al tabakasının sertliği sınırlara doğru yaklaşık %10 artmıştır. Sacların sertliklerindeki değişiklikler, karbür çökmesi, tane boyutu ve ayrıca dislokasyon ve artık gerilmeler ile ilişkilendirilebilir [31]. Saclarda meydana gelen deformasyon mekanik özellikleri önemli ölçüde etkiler. Haddeleme sonrası yan kesit görüntülerinde yapılan kalınlık ölçümlerinde paslanmaz çelik tabakanın kalınlığında önemli bir değişiklik ölçülmezken, Al tabakasının kalınlığı yaklaşık 1/6 oranında azalmıştır.



Şekil 3. Kompozit tabakalarının ortalama sertlik değerleri

AISI 304 sacının sertliğinde, ısı işlem sonrası daha farklı bir değişim belirlenmiştir. Bu konuda yapılan bir çalışmada [31] farklı deformasyon aşamalarında, tüm kompozit katmanlarda homojen olmayan mikro gerinim dağılımı meydana geldiği belirtilmiş ve deformasyon sırasında en sert katmanda daha yüksek mikro düzensizliklerin biriktiği kaydedilmiştir. Bu durum tabakanın sertliğindeki tutarsızlığın muhtemel sebebi olarak görülmüştür.

Sertliğin yanısıra diğer mekanik özelliklerin de ısı işlemden etkilenmesi kaçınılmaz bir durumdur. Kompozitlerin ve ayrı kompozit bileşenlerinin oda sıcaklığında mühendislik gerilme-gerinme eğrilerinden elde edilen ortalama akma mukavemeti, maksimum çekme mukavemeti ve kopma uzaması miktarları Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca ölçülen ortalama değerlere benzer örnek grafikler Şekil 4'te verilmiştir.

Kompozitlere uygulanan ısı işlem sıcaklık ve süresi ile genel olarak süneklikleri artarken akma dayanımının azaldığı gözlemlenmiştir. Üretim sonrası kompozitten ayrılan sacların mekanik özelliklerinde de kompozitin mekanik özelliklerinde benzer değişiklikler bulunmuştur. Kompozit bileşenlerinin mekanik özelliklerindeki bazı uyumsuzluklar ise gözardı edilmiştir. Bu ölçüm farklılıklarının kompozitlerin ayrılması esnasında yüzeyde oluşan kontrolsüz kusurların varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

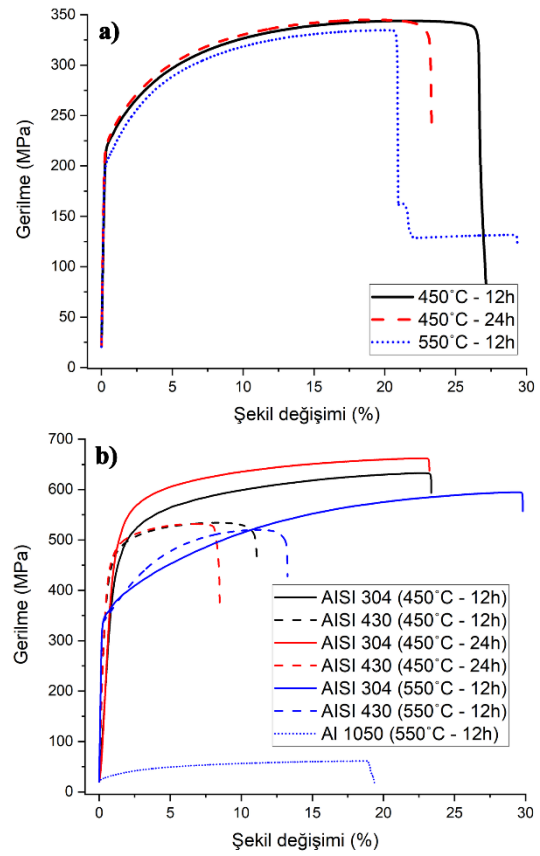
Tablo 2. Isıl işlem sonrası kompozitlerin ve bileşenlerinin çekme test sonuçları

Deney numuneleri	%0,2 Mukavemeti (MPa)	Akma	Çekme (MPa)	Mukavemeti	Kopma Uzaması (%)
AISI 304 (450 °C-12h)	429.75		632.83		22.04
AISI 430 (450 °C-12h)	402.47		534.18		10.66
Kompozit (450 °C-12h)	222.93		343.95		27.16
AISI 304 (450 °C-24h)	461.87		662.27		21.99
AISI 430 (450 °C-24h)	416.50		531.68		8.12
Kompozit (450 °C-24h)	223.86		345.03		23.05
AISI 304 (550 °C-12h)	347.50		594.89		29.50
AISI 430 (550 °C-12h)	341.43		520.23		13.01
Al 1050 (550 °C-12h)	27.99		68.38		17.18
Kompozit (550 °C-12h)	207.45		334.66		29.25

Kompozitlerin genel mekanik özelliklerinin her bir bileşeninin mekanik özelliğinin hacimce miktarı ile ilişkili olduğuna dair çalışmalar vardır. Takuda ve diğerleri alüminyum alaşımından ve çelik levhadan yapılmış tabakalı kompozitlerin uzamasının hacimce oran kuralıyla kabaca tahmin edilebilir olduğu bildirilmiştir [29]. Bu durumda kompozitin hacimce büyük bir kısmını oluşturan Al, mekanik özelliklerinde de belirleyici olması beklenir. Saf alüminyumun ticari formdaki sertliği ısıtılardan çok fazla etkilenmezken, deformasyonla sertleştirilmiş halde ısıtılardan büyük ölçüde etkilenilmekte, akma dayanımı deformasyon ile 5 kattan fazla artabilmektedir [32]. Sonuç olarak, Al'un mekanik özellikleri ilk aşamada haddelenmeden sonra artarken, ısıtılardan sonra azaldı ve bu konuda ısıtılama miktarı belirleyici olmuştur.

Tabakalı kompozitlerin mekanik özelliklerinin bileşenleri ve ara yüzleri ile ilişkisi Şekil 4'te net bir şekilde görülmektedir. Ara yüzey bağı kuvvetli olan kompozitler yekpare bir malzeme gibi çalışırken, ara yüzey bağı kötü olanlar bir arada bulunan farklı malzemeler gibi davranmaktadır. Sonraki kısımlarda sıyırma testi ve mikroyapı incelemelerinde açıklanacağı gibi 450°C'de yapılan ısıtılama sonrası iyi bir arayüzey oluşurken 550°C'de yapılan ısıtılama sonrası tabakalar neredeyse birbirinden ayrılmıştır. Çekme test grafiklerinde görüldüğü gibi 550°C'de ısıtılama yapılan kompozit diğerlerinden farklı olarak üç kademede hasara uğramıştır. İlk aşamada (yaklaşık %20) sünekliği en düşük olan AISI 430 paslanmaz kopmuş ve mukavemet büyük oranda düşmüştür. Sonrasında Al kopmuş (yaklaşık %22) ve mukavemet biraz daha düşmüştür. Son

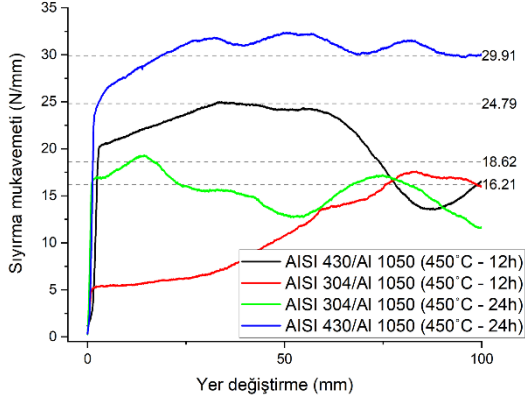
aşamada ise AISI 304 paslanmaz koparak süreç tamamlanmıştır.



Şekil 4. a) Kompozitlerin ve b) her bir kompozit bileşeninin çekme grafikleri.

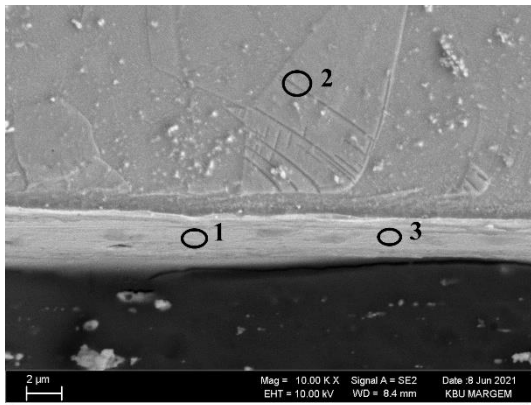
Sonuç olarak, Şekil 4a'da görüldüğü gibi en düşük süneklik, tabakalı kompozitin sünekliği hakkında belirleyicidir ve kompozitin uzaması, tek tek katman bileşenlerinin arasında bir değerdedir. Yani, kompozitin uzaması, en sünek bileşenden (AISI304) daha az, ancak en gevrek bileşenden (AISI430) daha fazla olacaktır. Bu aşamada kompozit davranışındaki belirleyici etken ise arayüzey bağı mukavemetidir. Ara yüzey bağlanma mukavemetinin tabakalı kompozit levhanın çekme uzaması üzerindeki etkisi araştırılmış

ve arayüzey bağ mukavemetinin artmasıyla çekme uzamasının arttığını göstermiştir [33]. Arayüzey bağ kuvvetini belirlemek için yapılan sıyırma testlerinin sonuçları Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Farklı ısıl işlem görmüş kompozitlerin her iki yüzeylerinin 180° sıyırma test grafikleri.

Sıyırma testi, haddelenmiş ve farklı ısıl işlemler uygulanmış kompozitlerin her iki ara yüzeylerinden gerçekleştirilmiştir. Bu işlem bağlanma mukavemeti sıfıra yakın bir değerde olduğu için 550°C'de ısıl işlem yapılmış kompozitlere uygulanamamıştır. Testler sonrası grafik üzerinde verilen ortalama sıyırma mukavemetleri incelendiğinde 450°C'de yapılan ısıl işlemler sonrası artan ısıl işlem süresi ile her iki yüzeyde de bağlanmanın arttığı görülmektedir.

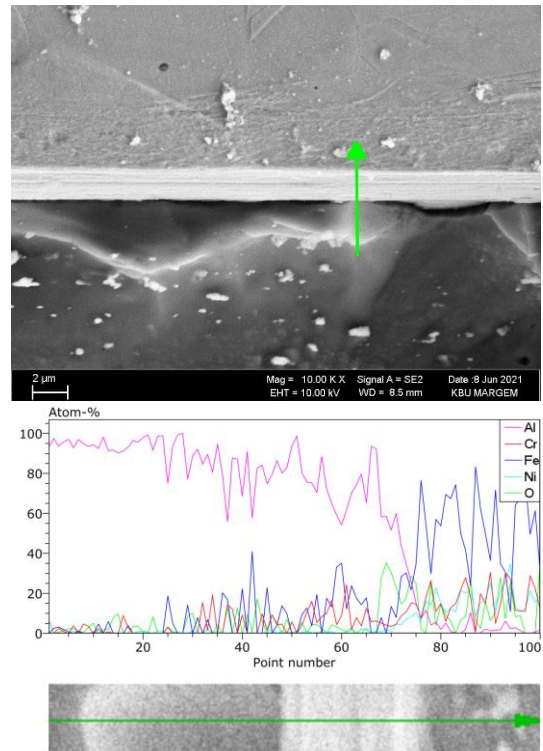


Şekil 6. 450°C'de 12 saat ısıl işlem sonrası Al-AISI304 katmanlarının ara yüzey görüntüsü ve alan EDX analizi

Yüzeyleri birbiri ile kıyaslandığında ise AISI430 ile Al arasında daha güçlü bir

bağlanma oluşmuştur. Oluşan bağlanmadaki değişimin nedenlerini belirlemek için mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Şekil 6'da 450°C'de 12 saat ısıl işlem sonrası hadde doğrultusundaki arayüzey görüntüsü verilmiştir.

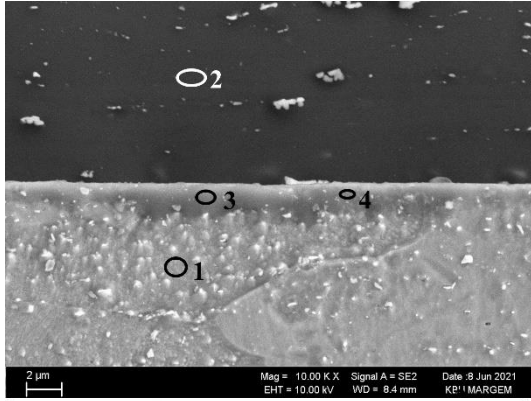
450°C'de 12 saat ısıl işlemden sonra Al-AISI304 katmanlarının ara yüzü genel olarak taranmış ve Şekil 6'da verilen yapıya benzer bir oluşum tespit edilmiştir. Benzer oluşum 450°C'de 24 saat ısıl işlemden sonra da gözlemlenmiştir (Şekil 7). Temel elementlerin (Al, Fe, Cr ve Ni) ara fazdaki dağılımı EDX nokta analizleri Şekil 6 ve EDX çizgi analizleri Şekil 7'de verilmiştir. Analizde sırasıyla Al ve AISI 304 levhalarından 3 ve 4 numaralı noktalar alınmıştır. EDX analizindeki 1 ve 3. noktalar ve çizgi EDX'deki değişimler ara fazın esas olarak Al ile birlikte Fe ve düşük miktarda diğer elementler belirlenmiştir. Fe-Al ikili sisteminde beş farklı faz bulunmasına rağmen genel olarak Fe₂Al₅ ve Fe₄Al₁₃ intermetalik katmanlar oluşturduğu bildirilmiştir [34]. Östenitik paslanmaz çelik ile ilgili bir çalışmada ise 18Cr-10Ni paslanmaz çeliğin sıvı alüminyum ile etkileşimi sonrasında çelik yüzeyinde (Fe, Cr, Ni)₂Al₅ bazlı bir tabaka rapor edilmiştir [35]. Yaptığımız analizlerde belirlenen ara fazın da (Fe, Cr, Ni)₂Al₅ oranına benzer olduğu ve bu fazın kalınlığı genel olarak 1µm olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. 450°C'de 24 saat ısıl işlem sonrası Al-AISI304 katmanlarının ara yüzey görüntüsü ve çizgi EDX analizi

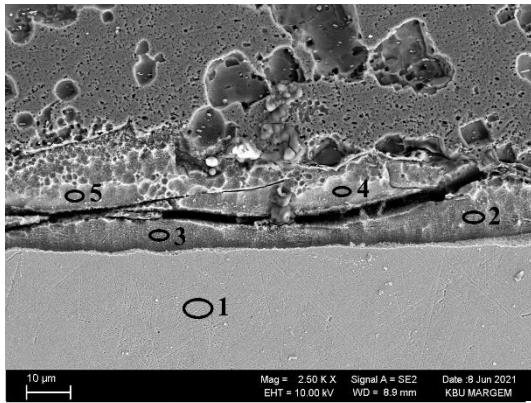
Kompozit levhaların haddelenme ve 450°C'de 12 saat ısıl işlemden sonraki Al ve AISI 430 arayüz

görünümü Şekil 8'de verilmiştir. Paslanmaz çelik yüzeyde görülen koyu gri fazların nokta EDS analizi (3. ve 4. noktalar) orantısal olarak incelendiğinde içinde az miktarda Cr içeren Fe_4Al_{13} fazının varlığını göstermektedir. Bu konu ile ilgili yapılan bir çalışmada alüminyum eriyik içinde Fe-Cr (%10 ve %25 Cr) alaşımlarının çözünme süreci incelenmiş ve üniform bir Fe_2Al_5 tabakası ve Cr_2Al_{13} içeren gözenekli bir Fe_4Al_{13} tabakası şeklinde iki intermetalik tabakanın varlığı belirtilmiştir [36].



Atomik oran (%)					
Spektrum	O	Al	Fe	Cr	Ni
1	2,98	0,94	79,91	15,87	0,31
2	1,72	97,93	0,00	0,00	0,34
3	73,59	2,99	18,29	4,37	0,76
4	73,47	2,75	18,13	4,99	0,66

Şekil 8. 450°C'de 12 saat ısıl işlem sonrası Al-AISI430 katmanlarının ara yüzey görüntüsü ve alan EDS analizi

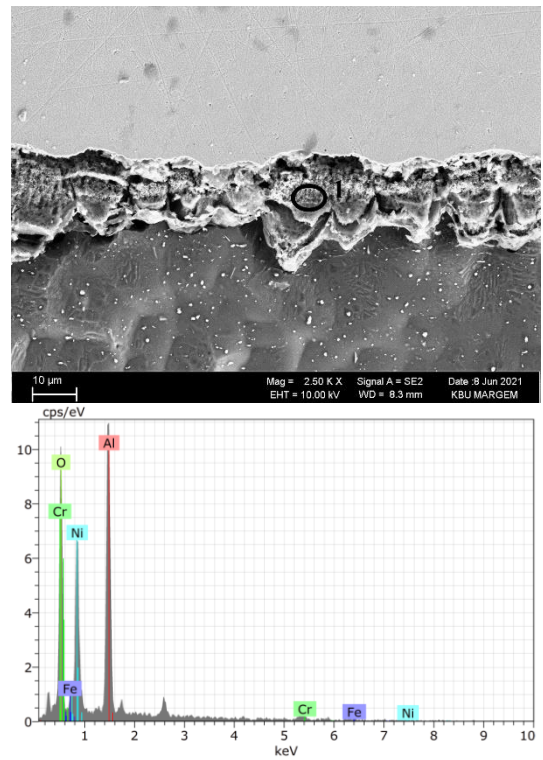


Atomik oran (%)					
Spektrum	O	Al	Fe	Cr	Ni
1	10,33	3,26	65,34	15,94	5,14
2	7,45	72,24	12,69	4,27	3,36
3	3,67	73,16	15,36	4,74	3,07
4	5,91	72,78	14,81	3,43	3,06
5	8,46	70,46	14,30	4,42	2,36

Şekil 9. 550°C'de 12 saat ısıl işlem sonrası Al-AISI430 katmanlarının ara yüzey görüntüsü ve alan EDS analizi

Kompozit levhaların haddeme ve 550°C'de 12 saat ısıl işlem sonrası arayüzey bağlanmalarının yaklaşık sıfıra indiği mekanik testlerde belirtilmiştir. Yapılan mikroyapı incelemelerinde Al-AISI430 arasında (Şekil 9) elementel oranlar incelendiğinde (Fe, Cr, Ni) $_2Al_5$ fazına benzediği görülmektedir. Diğer ısıl işlemlerle numunelerden farklı olarak bu ısıl işlem sonrasında ara tabaka kalınlığı yaklaşık 10 µm civarındadır. Şekil 9'da da görüldüğü gibi oluşan fazlarda kısmen kontrast farkı gözlenirse de (2,3 ve 4,5) benzer element oranları tespit edilmiştir.

550°C'de 12 saat ısıl işlem sonrası Al-AISI304 arasında oluşum incelendiğinde (Şekil 10) genel olarak Al ve Cr oksitlerinden oluştuğu ve arayüzeyde bağlanmanın nerdeyse sona erdiği görülmektedir.



Şekil 10. 550°C'de 12 saat ısıl işlem sonrası Al-AISI304 katmanlarının ara yüzey görüntüsü ve alan EDS analizi.

Genel olarak, mikroyapı çalışmalarında, kalın ve belirgin oksit ve intermetalik tabakalarının oluştuğu belirlenmiştir. Bu da kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. Fe_2Al_5 intermetaliti, Al ve Fe arasında oluşan tüm alüminitler arasında en sert ve kırılğan faz olarak tanımlanmıştır [37]. Bu nedenle Al-Fe ara yüzeyinde oluşan bu kırılğan fazın kalınlığının artması katmanlı kompozitler arasındaki bağı azaltmış ya da bitirmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Artan ısıtıl işlem sıcaklık ve süreleri sonrası Al ve AISI 430 tabakalarının sertliği kademeli olarak azalırken, AISI 304'ün sertliği ilk aşamada artıp sonrasında azalmıştır. Bu değişim genel olarak kompozitin levhalarına ayrı ayrı uygulanan çekme testlerinde de gözlenmiş %0,2 akma ve maksimum çekme mukavemeti benzer bir değişim sergilemiştir. Kompozitin genel çekme testi sonucunda ise akma ve maksimum çekmede ısıtıl işlemin belirgin bir etkisi görülmemiştir. Süneklikte ise belirgin bir fark oluşmuş, AISI 304'ün süneklik değişimine benzer bir değişim belirlenmiştir. Genel olarak kompozitte en düşük mekanik özellikler ve en yüksek süneklik 550°C'de 12 saat yapılan ısıtıl işlem sonrası ölçülmüştür.

450°C'de farklı sürelerde yapılan ısıtıl işlemlerde benzer ara yüzey oluşumları gözlemlenmiştir. Bu işlemler sonrası bağ kuvveti ısıtıl işlem süresinin artması ile bir miktar artmıştır. Ara yüzey incelemelerinde iki farklı süre uygulamasında da benzer oluşumlar gözlenmiştir. Al/AISI 430 arasında değişken kalınlıkta Fe₂Al₅ fazı, Al/AISI 304 arasında ise

ortalama 1µm kalınlığında (Fe, Cr, Ni)₂Al₅ fazı tespit edilmiştir. 550°C'de yapılan ısıtıl işlem sonrası ise ara yüzeyde kalın ve kırılmış Fe₂Al₅ intermetalığı ve metal oksitler gözlemlenmiştir. Bunlara bağlı olarak arayüzey bağ ölçülemeyecek kadar düşük olmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (KBÜBAP-21-DS-093). Ayrıca malzeme tedariki için Kocaoğlu Paslanmaz firmasına teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Yazarların bu çalışmaya katkısı eşittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] A. Dudek, B. Lisiecka, and R. Ulewicz, "The effect of alloying method on the structure and properties of sintered stainless steel," *Archives of Metallurgy and Materials*, vol. 62, pp. 281–287, 2017.
- [2] F. Presuel-Moreno, J. R. Scully, and S. R. Sharp, "Literature review of commercially available alloys that have potential as low-cost corrosion resistant concrete reinforcement," *Corrosion* 2009, 2009.
- [3] Z. Li *et al.*, "Interfacial characteristics and mechanical properties of duplex stainless steel bimetal composite by heat treatment," *Materials Science and Engineering: A*, vol. 787, p. 139513, 2020.
- [4] G. Casalino, A. Angelastro, P. Perulli, C. Casavola, and V. Moramarco, "Study on the fiber laser/TIG weldability of AISI 304 and AISI 410 dissimilar weld," *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 35, pp. 216–225, 2018.
- [5] M. H. Bina, M. Jamali, M. Shamanian, and H. Sabet, "Investigation on the resistance spot-welded austenitic/ferritic stainless steel," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 75, no. 9–12, pp. 1371–1379, 2014.
- [6] A. K. Lakshminarayanan, K. Shanmugam, and V. Balasubramanian, "Effect of welding processes on tensile and impact properties, hardness and microstructure of AISI 409M ferritic stainless joints fabricated by duplex stainless steel filler metal," *Journal of iron and steel research, International*, vol. 16, no. 5, pp. 66–72, 2009.
- [7] J. R. Berretta, W. de Rossi, M. D. M. das Neves, I. A. de Almeida, and N. D. V. Junior, "Pulsed Nd: YAG laser welding of AISI 304 to AISI 420 stainless steels," *Optics and Lasers in Engineering*, vol. 45, no. 9, pp. 960–966, 2007.
- [8] G. Sharma *et al.*, "Novel development of nanoparticles to bimetallic nanoparticles and their composites: a review," *Journal of King Saud University-Science*, vol. 31, no. 2, pp. 257–269, 2019.
- [9] Z. Li *et al.*, "Hot deformation behaviour and interfacial characteristics of bimetal composite at elevated temperatures," *Intermetallics*, vol. 125, p. 106893, 2020.
- [10] V. Jindal, V. C. Srivastava, A. Das, and R. N. Ghosh, "Reactive diffusion in the roll bonded iron–

- aluminum system,” *Materials letters*, vol. 60, no. 13–14, pp. 1758–1761, 2006.
- [11] D. Naoi and M. Kajihara, “Growth behavior of Fe₂Al₅ during reactive diffusion between Fe and Al at solid-state temperatures,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 459, no. 1–2, pp. 375–382, 2007.
- [12] D. R. Lesuer, C. K. Syn, O. D. Sherby, J. Wadsworth, J. J. Lewandowski, and W. H. Hunt, “Mechanical behaviour of laminated metal composites,” *International Materials Reviews*, vol. 41, no. 5, pp. 169–197, 1996.
- [13] M. L. S. Jekla, O. NA, K. Materialih, I. Z. VRO, and I. M. Valjanjem, “Mechanical Properties of Laminated Steel-Based Composite Materials Fabricated by Hot Rolling,” *Materiali in tehnologije*, vol. 51, no. 4, pp. 557–561, 2017.
- [14] V. I. Mali *et al.*, “Microstructure and mechanical properties of Ti/Ta/Cu/Ni alloy laminate composite materials produced by explosive welding,” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 93, no. 9, pp. 4285–4294, 2017.
- [15] K. Liu, Y. Li, C. Xia, and J. Wang, “Microstructural evolution and properties of TLP diffusion bonding super-Ni/NiCr laminated composite to Ti-6Al-4V alloy with Cu interlayer,” *Materials & Design*, vol. 135, pp. 184–196, 2017.
- [16] X. Gao, D. Wei, and Z. Jiang, “Analysis of temperature field in liquid-solid bimetal casting of laminated metal composite,” *Advanced Science Letters*, vol. 15, no. 1, pp. 48–52, 2012.
- [17] A. Farid and S. Guo, “On the processing, microstructure, mechanical and wear properties of cermet/stainless steel layer composites,” *Acta Materialia*, vol. 55, no. 4, pp. 1467–1477, 2007.
- [18] C. M. Cepeda-Jiménez, P. Hidalgo, M. Pozuelo, O. A. Ruano, and F. Carreño, “Influence of constituent materials on the impact toughness and fracture mechanisms of hot-roll-bonded aluminum multilayer laminates,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 41, no. 1, p. 61, 2010.
- [19] Q. Huang, X. Yang, L. Ma, C. Zhou, G. Liu, and H. Li, “Interface-correlated characteristics of stainless steel/carbon steel plate fabricated by AAWIV and hot rolling,” *Journal of Iron and Steel Research International*, vol. 21, no. 10, pp. 931–937, 2014.
- [20] J. Yuan, Y. Pang, and T. Li, “Multilayer clad plate of stainless steel/aluminum/aluminum alloy,” *Journal of Wuhan University of Technology-Mater Sci Ed*, vol. 26, no. 1, pp. 111–113, 2011.
- [21] K. S. Lee, D. H. Yoon, S. E. Lee, and Y. S. Lee, “The effect of thermomechanical treatment on the interface microstructure and local mechanical properties of roll bonded pure Ti/439 stainless steel multilayered materials,” *Procedia Engineering*, vol. 10, pp. 3459–3464, 2011.
- [22] H. Danesh Manesh and A. Karimi Taheri, “Study of mechanisms of cold roll welding of aluminium alloy to steel strip,” *Materials science and technology*, vol. 20, no. 8, pp. 1064–1068, 2004.
- [23] T. Tabata, S. Masaki, and K. Azekura, “Bond criterion in cold pressure welding of aluminium,” *Materials Science and Technology*, vol. 5, no. 4, pp. 377–381, 1989.
- [24] J. An, Y. Lu, D. W. Xu, Y. B. Liu, D. R. Sun, and B. Yang, “Hot-roll bonding of Al-Pb bearing alloy strips and hot dip aluminized steel sheets,” *Journal of materials engineering and performance*, vol. 10, no. 2, pp. 131–135, 2001.
- [25] R. Cao, Y. Ding, Y. Yan, X. Zhang, and J. Chen, “Effect of heat treatment on interface behavior of martensite/austenite multilayered composites by accumulative hot roll bonding,” *Composite Interfaces*, 2019.
- [26] B. X. Liu *et al.*, “Deformation behavior and strengthening mechanisms of multilayer SUS304/Cr17 steels with laminate/network interface,” *Metallurgical and Materials Transactions A*, vol. 51, no. 7, pp. 3658–3673, 2020.
- [27] M. Talebian and M. Alizadeh, “Manufacturing Al/steel multilayered composite by accumulative roll bonding and the effects of subsequent annealing on the microstructural and mechanical characteristics,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 590, pp. 186–193, 2014.
- [28] A. Mendes, I. Timokhina, A. Molotnikov, P. D. Hodgson, and R. Lapovok, “Role of shear in interface formation of aluminium-steel multilayered composite sheets,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 705, pp. 142–152, 2017.
- [29] H. Takuda, H. Fujimoto, and N. Hatta, “Formabilities of steel/aluminium alloy laminated composite sheets,” *Journal of materials science*, vol. 33, no. 1, pp. 91–97, 1998.
- [30] F. Yoshida, R. Hino, and T. Okada, “Stretch bending and the subsequent straightening of sheet metal laminates,” in *Advances in Engineering Plasticity and its Applications*, Elsevier, 1993, pp. 1097–1104.
- [31] F. X. Yin, L. Li, Y. Tanaka, S. Kishimoto, and K. Nagai, “Hot rolling bonded multilayered composite steels and varied tensile deformation behaviour,” *Materials Science and Technology*, vol. 28, no. 7, pp.

783–787, 2012.

- [32] M. A. Abdulstaar, E. A. El-Danaf, N. S. Waluyo, and L. Wagner, “Severe plastic deformation of commercial purity aluminum by rotary swaging: Microstructure evolution and mechanical properties,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 565, pp. 351–358, 2013.
- [33] S. Nambu, M. Michiuchi, J. Inoue, and T. Koseki, “Effect of interfacial bonding strength on tensile ductility of multilayered steel composites,” *Composites Science and Technology*, vol. 69, no. 11–12, pp. 1936–1941, 2009.
- [34] K. Bouche, F. Barbier, and A. Coulet, “Intermetallic compound layer growth between solid iron and molten aluminium,” *Materials Science and Engineering: A*, vol. 249, no. 1–2, pp. 167–175, 1998.
- [35] V. I. Dybkov, “Interaction of 18Cr-10Ni stainless steel with liquid aluminium,” *Journal of Materials Science*, vol. 25, no. 8, pp. 3615–3633, 1990.
- [36] K. Barmak and V. I. Dybkov, “Interaction of iron-chromium alloys containing 10 and 25 mass% chromium with liquid aluminium Part I Dissolution kinetics,” *Journal of materials science*, vol. 38, no. 15, pp. 3249–3255, 2003.
- [37] S. Kobayashi and T. Yakou, “Control of intermetallic compound layers at interface between steel and aluminum by diffusion-treatment,” *Materials science and engineering: A*, vol. 338, no. 1–2, pp. 44–53, 2002.

Combined Effect of Cryogenic and Aging Treatments on Wear Behavior of Ti-6Al-4V α/β Alloy for Biomedical Applications

Nihal YUMAK^{1*}

¹Department of Mechanical Engineering, Afyon Kocatepe University,
Gazlıgol Rd., Afyon, 03200, TURKEY
(ORCID: [0000-0003-4492-7142](https://orcid.org/0000-0003-4492-7142))



Keywords: Ti-6Al-4V titanium alloy, α/β alloy, Cryogenic treatment, Aging treatment, Wear.

Abstract

Ti-6Al-4V α/β titanium alloy is used in the biomedical industry to produce artificial joints due to its excellent osseointegration property, low density, and low Elasticity modulus compatible with bone structure. Ti-6Al-4V alloy is expected to have high wear resistance to prevent toxic elements such as Al, V from being released into the body environment during joint movement. In this study, aging treatment and a combination of aging and cryogenic treatment were applied to the alloy to obtain advanced tensile properties and wear resistance. Cryogenic treatments were conducted at deep (-196°C) and shallow (-140°C) cryogenic treatment temperatures. After that, single-step and duplex aging treatment were conducted to the one group of samples after the cryogenic treatment, while another group was single-step and duplex aged without cryo treatment. The heat treatments' influence on the alloy's tensile, wear, and microstructural properties were determined by tensile, wear tests, XRD phase analysis, and microstructural investigations. After applying the duplex aging treatment amount of the β phases decreased, a good balance between tensile strength and the elongation was obtained, and the wear resistance of the alloy increased compare to the single-step aging. In addition, the decrease of the cryogenic treatment temperature slowed down the phase transformation kinetics, and it caused a decrease in precipitation of α phases at both single-step and duplex aged samples. Superior wear resistance was obtained with the decreasing of β phases in the microstructure of the samples that were duplex aged after cryogenic treatment.

1. Introduction

Ti-6Al-4V alloy, also known as Ti 6-4, was developed firstly for use in the aerospace industry in the 1950s [1]. However, nowadays, Ti 6-4 alloy is highly used in the biomedical sector in orthopedics implant applications [2]. Ti 6-4 alloy is an ideal material for long-term use, thanks to its excellent biocompatibility, high strength, and high fatigue strength compared to commonly used materials in biomedical applications such as cobalt-based alloys and stainless steel [3]. However, recent studies in the literature revealed that Ti 6-4 alloy could be induced Alzheimer's diseases because of the Al and V elements toxic effects [4]. Ti 6-4 alloy's low tribological behavior could cause the release of Al and V elements. The wear resistance

of the Ti 6-4 alloy that is widely used at artificial joints is needed for detailed investigation and enhancement when considering this discovery. In addition, the alloy is expected to have high tensile properties to work safely under the loads it is exposed to in the field of use. Studies have recently been made that marked improvement of the alloy's impact behavior, fatigue strength, and tensile strength was obtained by applying the heat and thermomechanical treatments[5]–[7]. Nevertheless, keeping a good balance between the tensile strength and elongation and getting advanced wear resistance is still challenging.

Cryogenic treatment traditionally is applied to the tool steel to transform retained austenite to martensite, precipitate the fine carbide, and eliminate residual stress [8]. Recently, the cryogenic

*Corresponding author: nyumak@aku.edu.tr

Received: 13.09.2021, Accepted: 30.11.2021

treatment has been widely used to improve the vibration damping capacity of rotating shafts [9]–[12]. Studies have shown that the damping ability of AISI 4140 steel increased significantly after deep cryogenic treatment. However, in the literature review, studies that cryogenic treatment conducted to the titanium alloy's were also found. These studies concentrated on the cryogenic treatment effect on the titanium alloy's low-velocity impact behavior [7], fatigue crack propagation behavior [13], and fracture toughness [14]. Cryogenic treatment could be conducted at two temperatures range as shallow between the -80°C and -160°C ($193\text{--}113\text{K}$) and deep between the -160°C and -196°C ($113\text{--}77\text{K}$) cryogenic treatment [15]. In the study made by Senthilkumar et al., it was obtained that deep cryogenic treatment generates more compressive residual stress compared to the shallow cryogenic treatment [16]. The residual stress generated during cryogenic treatment determined the alloy's tensile properties and hardness. The wear resistance of the Ti 6-4 alloy, which was the cryo treated at different temperatures (-80°C , -140°C , and -196°C), was studied by Gu et al. [17]. The study showed that wear resistance improved with the reduction of the cryogenic treatment temperature thanks to the diminished of the β phase volume fraction and the grain refinement. Aging treatment is another heat treatment type applied with different treatment steps and parameters to the titanium alloys with/without cryogenic treatment [4]. Mainly, multi-step aging treatments have been applied to the titanium alloy lately with satisfying results [18]. Junior and Correa studied the effect of the two-step aging treatment on the Ti 6-4 alloy stress corrosion cracking behavior [19]. Decomposing the β phases by applying the two-step aging treatment improved the Ti 6-4 alloy's stress corrosion cracking behavior.

As seen in the literature review, studies investigating the mechanical strength of the Ti 6-4 alloy by applying the cryogenic treatment with/without aging treatment have been made [12, 15]. However, the influence of the multi-step aging combined with cryogenic treatment on the Ti 6-4 alloy's tensile properties and wear behavior has been under-considered. Therefore, the authors applied shallow and deep temperature cryogenic treatment to Ti 6-4 alloy followed by a single-step and duplex aging treatment to examine the Ti 6-4 alloy's microstructural and tensile properties and wear behavior.

2. Material and Method

Ti 6-4 α/β alloy was supplied as annealed and plate form ($2000 \times 2000 \times 2$ mm). The annealed sample's tensile test results were given in another study conducted by the author [7]. Ti 6-4 α/β titanium alloy's chemical composition is given in the Table I.

Table 1. The chemical compositions of Ti 6-4 alloy (wt %)

Weight	Al	V	C	Fe	O	Ti
Ti 6-4	6.7	3.83	0.08	0.03	0.2	Balance

2.1. Application of the Cryogenic and Aging Treatment Steps

Cryogenic treatment was carried out in the cryogenic tank, which is cooled down to the cryogenic temperatures via a computer control system using nitrogen. In this study, cryogenic treatment was conducted to the alloy at shallow and deep cryogenic treatment temperatures. Deep cryo treatment was conducted on the samples at -196°C for 24 hours. Also, shallow cryo treatment was applied to the samples at -140°C for 6 hours. The cooling/heating rate was $2^{\circ}\text{C}/\text{minute}$. Single-step and duplex aging treatments were conducted to the Ti 6-4 titanium alloy with or without cryo treatment. Single-step aging treatment was conducted on the samples at 600°C for 1 hour. Duplex aging was applied with an extra aging treatment step on the single-step aging treatments. During duplex aging treatments, samples were first aged at 600°C for 1 hour, and then an extra aging step was applied at 400°C for 1 hour. The detail of the treatment temperature, time, and the samples' coding system are shown in Table 2. Also, a schematic presentation of heat treatment steps is shown in Figure 1.

2.2. Microstructural Observations and Mechanical Tests

Microstructural analysis was made via scanning electron microscope (SEM) and XRD analyses. Heat-treated samples were ground with abrasive papers (800, 1000, and 1200 mesh numbers) and were polished $1\mu\text{m}$ alumina solution. After that, Kroll solution (5% HF, 10% HNO_3 , and 85% distilled H_2O) was used for etching to heat-treated samples. The solution was applied to the samples for 25 s

Table 2. Heat-treated sample groups and coding system

Coding System	Heat treatment temperature and time					
	Cryogenic treatment		Pre-aging		Second-step aging	
	Temperature(°C)	Time(h)	Temperature(°C)	Time(h)	Temperature(°C)	Time(h)
S	-	-	600	1	-	-
D	-	-	600	1	400	1
C ₁ S	-140	6	600	1	-	-
C ₁ D	-140	6	600	1	400	1
C ₂ S	-196	24	600	1	-	-
C ₂ D	-196	24	600	1	400	1

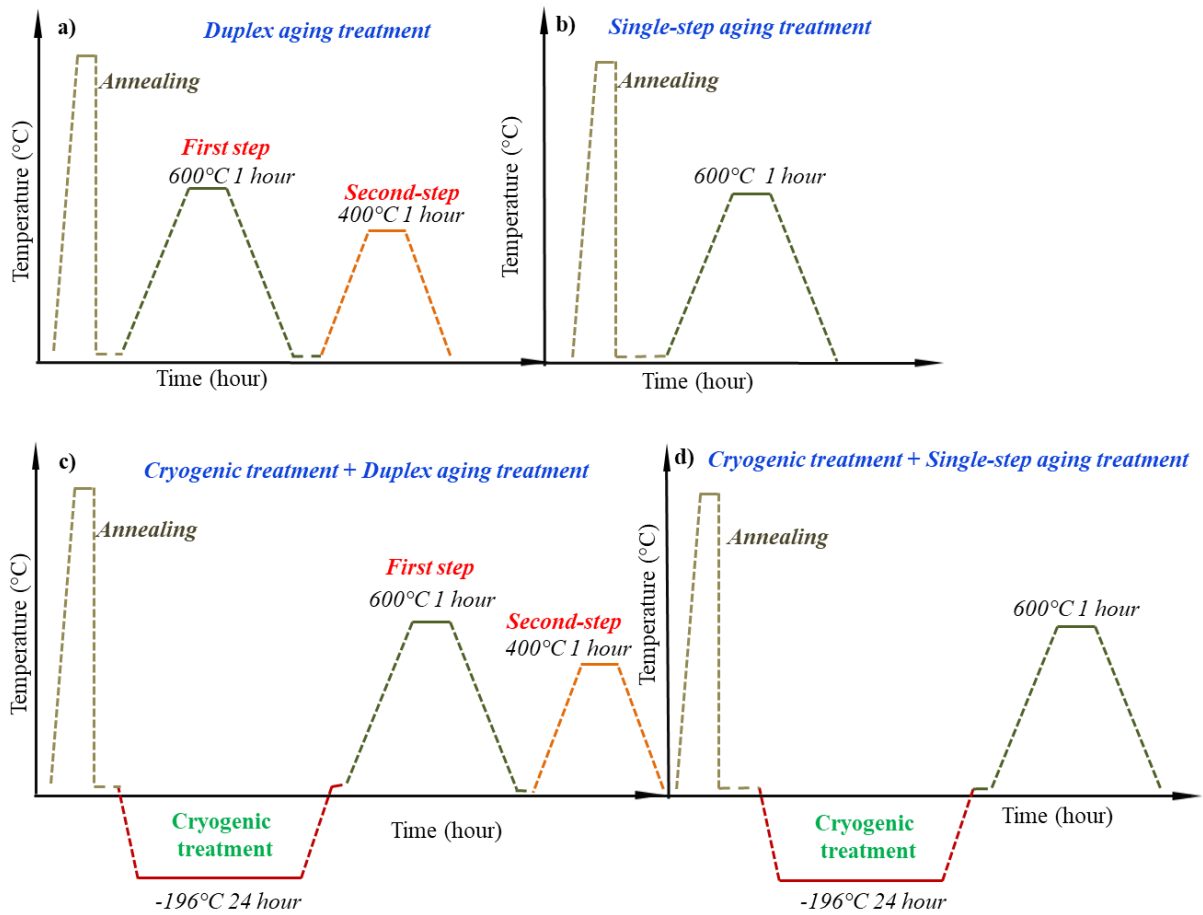


Figure 1. Schematic presentation of heat treatment steps, a) Sample D, b) Sample S c) Sample C₂D, d) Sample C₂S

Tensile tests were applied with the Instron brand tensile test device according to the ASTM E8-04 with a 1 mm/min loading rate. Vickers hardness tests were applied under a 100g load, and the tests were repeated ten times for each sample. XRD analyses were performed on the heat-treated samples with Bruker Model diffractometer with a 2.2 KW Cu anode, Nickel filter, (scanning rate was 1°/min, 2θ was scanned between 30-90°). The wear resistance of the samples was evaluated under dry

sliding conditions by pin-on-disk test. The sliding distance was 100 meters, the load was 5N, and the sliding velocity was 0.25 m/s. The coefficients of friction were recorded during tests, and mass loss of the wear test samples was determined by measuring the test samples' weight before and after the test. After the wear tests, wear traces were observed with the LEO 1430 VP model SEM.

3. Result and Discussion

3.1. Microstructural Analysis

During cryogenic treatment, Ti 6-4 alloy is cooled to subzero temperatures; therefore, the vanadium content of the β phases diminishes, and metastable β phases transform into the β_{lean} and β_{rich} phases. The β_{lean} and β_{rich} phases transform at the end of the cryogenic treatment to ($\beta_{lean} \rightarrow \beta$) β and ($\beta_{rich} \rightarrow \alpha$) α phases[21]. Completing the transformation sequences causes a decrease in the quantity of β phases in the cryo-treated Ti 6-4 alloy microstructure[17]. Similarly, in this study, the application of cryogenic treatment caused a decreased quantity of β phases at the Ti 6-4 microstructure. As seen from Figure 2, β phases amount decreased in samples that were aged after cryogenic treatment compared to the aged samples. Also, it is known that metastable phases (α' , α'' , β) can transform into β and α phases after aging treatment[22]. Likewise, in the duplex aged sample, these phase formations increased with the applied second step aging treatment, and the quantity of β phases decreased more than in the single-step aged sample. Thus, a noticeable increase in the α phases was found after the duplex aging treatment. After the cryo treatment, this phase precipitation tendency did not change with one exception. The samples that were cryo-treated at -140°C for 6 hours before single-step aging treatment was the exception. C_1S sample's amount of α phases was found higher than C_1D sample. With the reduction of the cryogenic treatment temperature to -196°C from -140°C , phase transformation kinetics decreased since the movement of the atoms slowed down[17]. As can be seen in Figure 2, the ratio of α phases decreased.

XRD analysis of the heat-treated samples demonstrated that new phases were not formed after the aging or cryogenic treatments. However, phases intensity changed with the application of the heat treatment steps. As can be seen from Figure 3a, α phases peak intensity increased obviously with the application of cryogenic treatment at -140°C for 6 hours at $2\theta \sim 40$ and $2\theta \sim 70$. Compared to the C_2S , α phases peak intensity increased at C_1S after increasing the cryo treatment temperature because of the slow down of the phase transformation kinetics at low cryogenic temperatures. The same tendency was acquired in the duplex-aged samples after the cryogenic treatment (Figure 3b). Also, the application of the second-step aging treatment after the single-step aging treatment, α phases peak intensity incremented as against the single-step aged samples.

3.2. Tensile and Microhardness Test Results

Microhardness test results show that the hardness of the duplex aged samples was lower than the single-step aged samples. This tendency continued in the same way in the samples that were aged after the cryogenic treatment. For this reason, the highest hardness value was obtained as 460 HV in the single-step aged sample, while the lowest hardness value was obtained as 441 HV in the duplex aged sample after shallow cryogenic treatment. As a result, the hardness decreased by 4% with cryogenic and duplex aging treatment in the C_1D sample compared to the single-step aged sample. Another remarkable issue in the test results is that the hardness increased with the decreasing the cryo processing temperature.

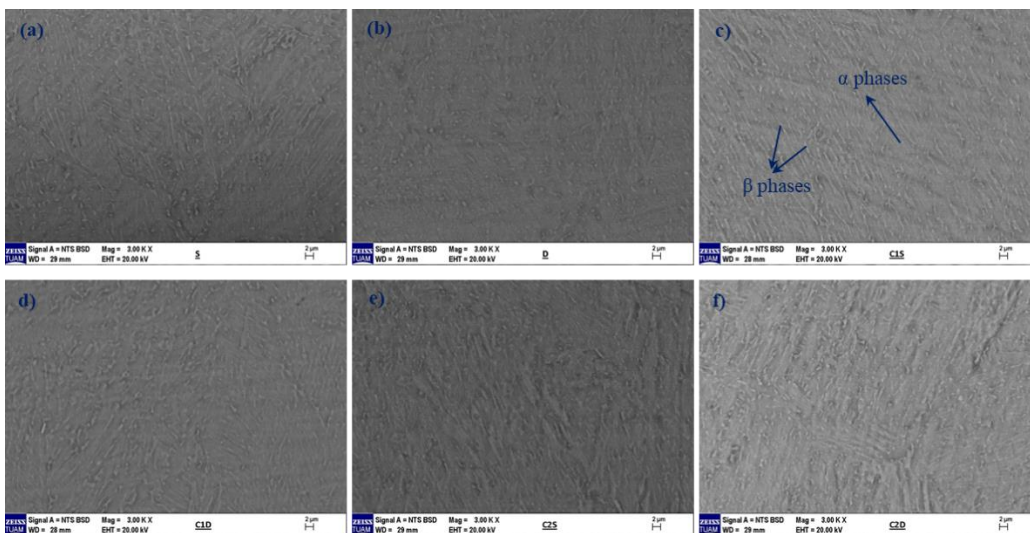


Figure 2. Microstructure images of the heat-treated samples, a) Sample S, b) Sample D, c) Sample C_1S , d) Sample C_1D , e) Sample C_2S , f) Sample C_2D

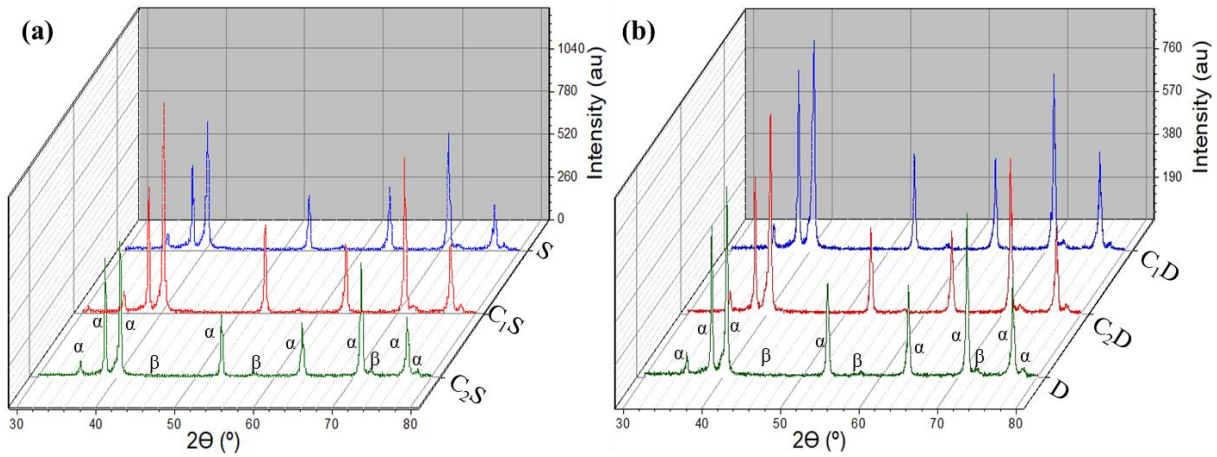


Figure 3. XRD phase analysis, a) S, C₁S, C₂S samples, b) D, C₁D, C₂D samples

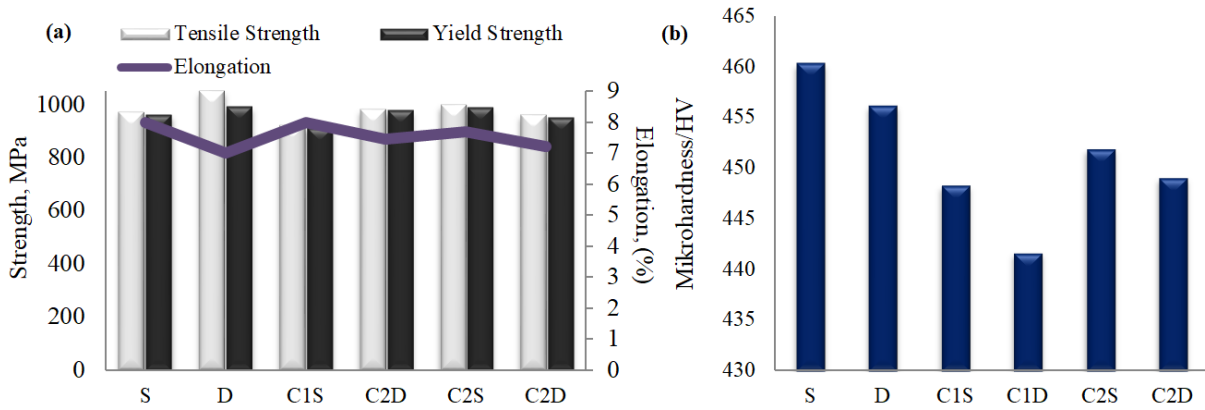


Figure 4. Heat-treated samples tensile and hardness test results, a) Tensile test results, b) Hardness test results

As can be seen, with the decrease in cryogenic temperature from -140°C to -196°C, the hardness of both single-step and duplex aged samples increased. The tensile test results of the samples show that duplex aging treatment increased the tensile and yield strength of the alloy as against

the single-step aging treatment. Nevertheless, duplex aging treatments have a negative impact on the elongation of the Ti 6-4 alloy. Also, with the application of the cryo treatment, tensile strength decreased, and elongation increased slightly in both single-step and duplex-aged samples.

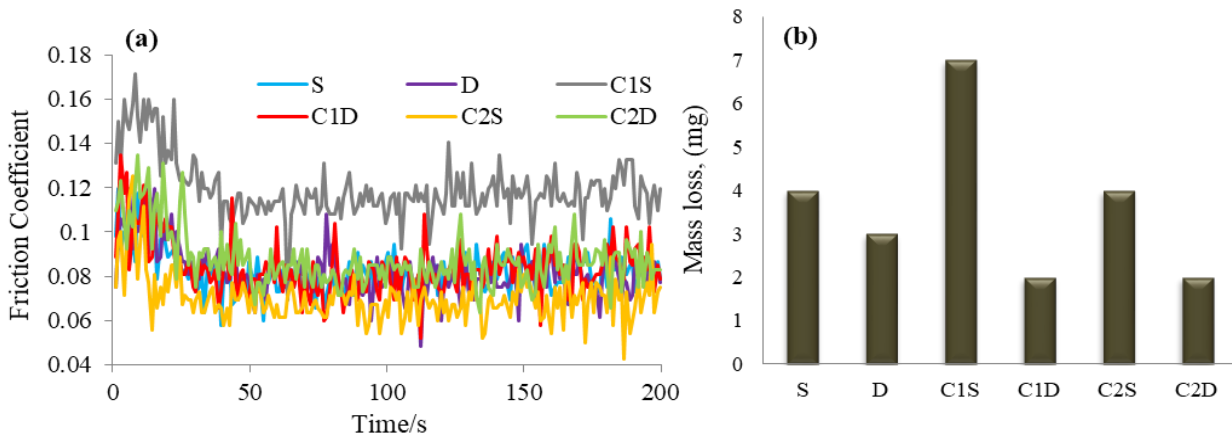


Figure 5. Wear test results of heat-treated samples, a) Comparison of friction coefficients, b) Mass loss value in heat-treated wear test samples

3.3. Wear Tests Results

As can be seen from Figure 5, the wear resistance increased, and the mass loss decreased due to the decreasing β phases in the microstructure with the application of duplex aging treatment as against the single-step aging treatment. Similar results were observed in duplex-aged samples after cryogenic treatment too. Another result obtained from the wear tests is that, as a result of the decrease of β phases after the cryo treatment, the wear resistance was found to be higher than the only aged samples. The increase in wear resistance after cryogenic treatment was explained by the decrease of β phases, high dislocation density, and the formation of twinning in the literature [17]. The decrease of the cryogenic treatment temperature to -196°C

increased the wear resistance and caused the reduction of the mass loss after the wear tests. However, the wear resistance decreased with the increase of the cryogenic treatment temperature, and the highest friction coefficient was obtained in the C1S sample.

Worn surfaces are shown in Figure 6 of the heat-treated samples. As seen in Figure 6a-b, smoother surfaces were obtained at the duplex aged sample against the single-step aged sample. However, in the C1S secondary crack occurred on the worn surfaces because of the decrease of the wear resistance (Fig. 6c). On the other hand, the wear resistance increased, and the secondary cracks on the surface disappeared in the sample, in which the duplex aging process was applied after the shallow cryogenic treatment (Fig. 6d).

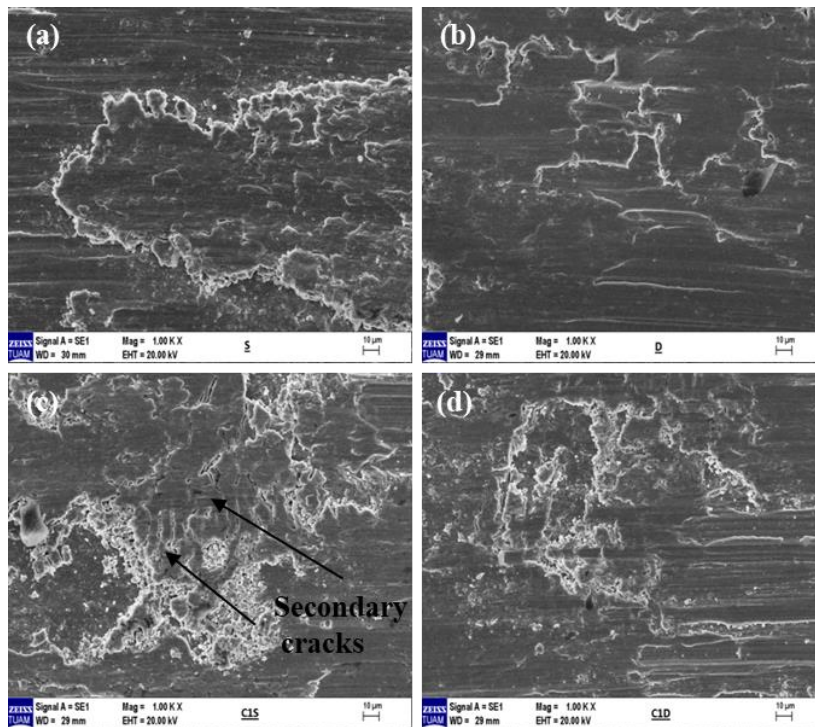


Figure 6. Worn surfaces analysis, a) S, b) D, c) C₁S, d) C₁D

4. Conclusion

Ti 6-4 titanium alloy is used in the biomedical industry due to its high fatigue strength, tensile properties, and low Elasticity modulus. However, some studies recently published in the literature have shown that elements such as Al and V may be released due to the low wear resistance of the alloy and that the use of the alloy in the long term may cause diseases such as Alzheimer's. In this study, aging treatment and a combination of aging and cryogenic treatment were applied to the alloy to

obtain high tensile properties and wear resistance. Cryogenic treatments were conducted at deep (-196°C) and shallow (-140°C) cryogenic treatment temperatures. Also, the alloy was aged with/without cryogenic treatment as a single-step or duplex. Heat treatment steps' effect on the tensile and wear properties of the alloy were investigated in detail. Some significant conclusions obtained from the study were listed as follows;

- Duplex aging treatment increased the α phase

volumetric fraction, a good balance between tensile strength and elongation was obtained in comparison with the single-step aging treated samples.

- The decrease of cryogenic treatment temperature slowed down the phase transformation kinetics and caused a decrease in precipitation of α phases at both single-step and duplex aged samples. The highest hardness was measured in the single-step aged sample, while the lowest

hardness value was obtained in the duplex aged sample after shallow cryogenic treatment.

- Superior wear resistance was obtained with the reduction of β phase quantity in the samples that were duplex aged after cryogenic treatment.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were complied with in the study.

References

- [1] K. Prasad et al., "Metallic Biomaterials: Current Challenges and Opportunities," *Mater.* 2017, Vol. 10, Page 884, vol. 10, no. 8, p. 884, Jul. 2017, doi: 10.3390/MA10080884.
- [2] C. dVeiga, J. Davim, and A. Loureiro, "Properties and applications of titanium alloys: a brief review," *Rev. Adv. Mater. Sci.*, vol. 32, no. 2, pp. 133–148, 2012.
- [3] W. S. W. Harun, M. S. I. N. Kamariah, N. Muhamad, S. A. C. Ghani, F. Ahmad, and Z. Mohamed, "A review of powder additive manufacturing processes for metallic biomaterials," *Powder Technol.*, vol. 327, pp. 128–151, Mar. 2018, doi: 10.1016/j.powtec.2017.12.058.
- [4] N. Yumak and K. Aslantas, "A review on heat treatment efficiency in metastable b titanium alloys: The role of treatment process and parameters," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 6, pp. 15360–16280, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.10.088.
- [5] N. Yumak and K. Aslantas, "Effect of notch orientation and single overload on crack interaction in Ti–6Al–4V alloy," *J. Brazilian Soc. Mech. Sci. Eng.*, vol. 41, no. 8, Aug. 2019, doi: 10.1007/s40430-019-1816-6.
- [6] R. Ding, Z. X. Guo, and A. Wilson, "Microstructural evolution of a Ti–6Al–4V alloy during thermomechanical processing," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 327, no. 2, pp. 233–245, Apr. 2002, doi: 10.1016/s0921-5093(01)01531-3.
- [7] N. Yumak, K. Aslantas, and Y. Pekbey, "Effect of cryogenic and aging treatments on low-energy impact behaviour of Ti–6Al–4V alloy," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China (English Ed.)*, vol. 27, no. 3, pp. 514–526, Mar. 2017, doi: 10.1016/s1003-6326(17)60058-x.
- [8] P. Baldissera and C. Delprete, "Deep Cryogenic Treatment: A Bibliographic Review," *Open Mech. Eng. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, Jan. 2008, doi: 10.2174/1874155x00802010001.
- [9] M. Kam and H. Saruhan, "Vibration damping capacity of deep cryogenic treated AISI 4140 steel shaft supported by rolling element bearings," *Mater. Test.*, vol. 63, no. 8, pp. 742–747, Aug. 2021, doi: 10.1515/mt-2020-0118.
- [10] M. Kam, H. Saruhan, U. Kabasakaloglu, and T. Guney, "Vibration damping capacity of a rotating shaft heat treated by various procedures," *Mater. Test.*, vol. 63, no. 10, pp. 966–969, Oct. 2021, doi: 10.1515/mt-2021-0026.
- [11] Menderes Kam, Hamit Saruhan, And Ufuk Kabasakaloğlu, "Experimental Investigation Of Vibration Generated From The Cryogenic Treated And Induction Surface Hardened Rotating Shafts," in 3 rd International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'16), Sep. 2016, pp. 142–148, Accessed: Nov. 03, 2021.
- [12] M. Kam and H. Saruhan, "Experimental Vibration Analysis Of Cryogenic Treated Rotating Aisi 4140 Steel Shafts," in 3 rd International Symposium on Railway Systems Engineering (ISERSE'16), 2016, vol. 3, pp. 157–164, Accessed: Nov. 03, 2021.
- [13] A. K. Singla et al., "Impact of Cryogenic Treatment on HCF and FCP Performance of β -Solution Treated Ti-6Al-4V ELI Biomaterial," *Mater.* 2020, Vol. 13, Page 500, vol. 13, no. 3, p. 500, Jan. 2020, doi: 10.3390/ma13030500.
- [14] K. Nagai, T. Yuri, O. Umezawa, and K. Ishikawa, "Fatigue and Fracture of Ti Alloys at Cryogenic Temperatures," in 11th International Conference on Magnet Technology (MT-11), Springer Netherlands, 1990, pp. 754–759.
- [15] D. Das, A. K. Dutta, and K. K. Ray, "Sub-zero treatments of AISI D2 steel: Part II. Wear behavior," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 527, no. 9, pp. 2194–2206, Apr. 2010, doi: 10.1016/j.msea.2009.10.071.

- [16] D. Senthilkumar, I. Rajendran, M. Pellizzari, and J. Siiriainen, "Influence of shallow and deep cryogenic treatment on the residual state of stress of 4140 steel," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 211, no. 3, pp. 396–401, Mar. 2011, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2010.10.018.
- [17] K. Gu, J. Wang, and Y. Zhou, "Effect of cryogenic treatment on wear resistance of Ti-6Al-4V alloy for biomedical applications," *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 30, pp. 131–139, Feb. 2014, doi: 10.1016/j.jmbbm.2013.11.003.
- [18] N. Yumak and K. Aslantas, "Effect of Heat Treatment Procedure on Mechanical Properties of Ti-15V-3Al-3Sn-3Cr Metastable β Titanium Alloy," *J. Mater. Eng. Perform.*, pp. 1–9, 2021, Accessed: Jan. 12, 2021.
- [19] P. C. P. Santos and E. O. Correa, "Effect of Duplex Aging Heat Treatment on the Stress Corrosion Cracking Behavior of Ti-6Al-4V $\alpha+\beta$ Titanium Alloy in Methanol," *Mater. Res.*, vol. 24, no. 3, p. 20200456, May 2021, doi: 10.1590/1980-5373-MR-2020-0456.
- [20] N. Yumak, K. Aslantaş, and A. Çetkin, "Cryogenic and Aging Treatment Effects on the Mechanical Properties of Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn Titanium Alloy," *J. Test. Eval.*, vol. 49, no. 5, 2020,
- [21] K. Gu, H. Zhang, B. Zhao, J. Wang, Y. Zhou, and Z. Li, "Effect of cryogenic treatment and aging treatment on the tensile properties and microstructure of Ti-6Al-4V alloy," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 584, pp. 170–176, Nov. 2013, doi: 10.1016/j.msea.2013.07.021.
- [22] L. Zeng and T. R. Bieler, "Effects of working, heat treatment, and aging on microstructural evolution and crystallographic texture of α , α' , α'' and β phases in Ti-6Al-4V wire," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 392, no. 1–2, pp. 403–414, Feb. 2005, doi: 10.1016/J.MSEA.2004.09.072.

Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu)'nde yaşayan *Capoeta banarescui* Türünün Kondisyon Faktörü, Boy-Ağırlık ve Boy-Boy İlişkileri

Derya BOSTANCI¹, Serdar YEDİER^{1*}, Nazmi POLAT²

¹Ordu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ordu, Türkiye

²Öndokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Samsun, Türkiye

(ORCID: [0000-0003-3052-9805](https://orcid.org/0000-0003-3052-9805)) (ORCID: [0000-0003-0017-3502](https://orcid.org/0000-0003-0017-3502)) (ORCID: [0000-0001-9785-9927](https://orcid.org/0000-0001-9785-9927))



Anahtar kelimeler: Kondisyon faktörü, Boy-boy ilişkisi, Boy-ağırlık ilişkisi, *Capoeta banarescui*, Kurtuluş Deresi, Ordu.

Öz

Bu çalışmada, Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu)'nde yaşayan *Capoeta banarescui* bireylerinin kondisyon faktörü, boy-boy ve boy-ağırlık ilişkileri incelenmiştir. Bu kapsamda Kurtuluş Deresi'nden elektroşoker yardımıyla 60 adet *C. banarescui* bireyi örneklenmiştir. Balık örneklerinin ortalama standart, çatal ve total boyları sırasıyla 11,097±0,475 cm, 12,082±0,477 cm ve 13,075±0,494 cm, ortalama ağırlıkları ise 33,08±3,69 g olduğu belirlenmiştir. Boy-ağırlık ilişki denklemi $W=0,0082TB^{3,1294}$ ($R^2=0,99$) olarak hesaplanmıştır. Analizlerimiz sonucunda Kurtuluş Deresi'ndeki *C. banarescui* türünün pozitif allometrik bir büyüme gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmamızda boy-ağırlık ilişkisi denklemindeki b değerinin %95 güven aralığının 3,1187-3,1362 olduğu belirlenmiştir. Total, çatal ve standart boylar arasında ilişki denklemleri $TB=1,0334ÇB+0,5895$ ($R^2=0,99$), $TB=1,036SB+1,5793$ ($R^2=0,99$), ve $ÇB=1,0034SB+0,9475$ ($R^2=0,99$) olarak hesaplanmıştır. *C. banarescui* türünün kondisyon faktörü değerlerinin 0,9298-1,3767 aralığında değiştiği ve ortalama kondisyon faktörünün ise 1,1364±0,0132 olduğu belirlenmiştir. *C. banarescui* türünün Kurtuluş Deresi'nde yaşayan popülasyonu üzerine daha önce yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada *C. banarescui* türünün bu habitattaki kondisyon faktörü, boy-ağırlık ve boy-boy ilişkileri ilk defa rapor edilmiştir.

Condition Factor, Length-Weight and Length-Length Relationships of *Capoeta banarescui* living in Kurtuluş Stream (Perşembe-Ordu)

Keywords: Condition factor, Length-length relationship, Length-weight relationship, *Capoeta banarescui*, Kurtuluş Stream, Ordu.

Abstract

In this study, the condition factor, length-length and length-weight relationships of *Capoeta banarescui* individuals living in Kurtuluş Stream (Perşembe-Ordu) were investigated. In this scope, 60 *C. banarescui* individuals were sampled from Kurtuluş Stream by using an electroshocker. It was determined that the mean standard, fork and total lengths of the fish samples were 11.097±0.475 cm, 12.082±0.477 cm and 13.075±0.494 cm, respectively, and their average weight was 33.08±3.69 g. The length-weight relationship was calculated as $W=0.0082TL^{3.1294}$ ($R^2=0.99$). As a result of our analyzes, it was determined that the *C. banarescui* in Kurtuluş Stream showed a positive allometric growth. In our study, it was determined that the 95% confidence interval of the b value in the length-weight relationship equation was 3.1187-3.1362. Relationship equations between total, fork and standard lengths were calculated as $TL=1.0334FL+0.5895$ ($R^2=0.99$), $TL=1.036SL+1.5793$ ($R^2=0.99$), and $FL=1.0034SL+0.9475$ ($R^2=0.99$). It was determined that the condition factor values of *C. banarescui* ranged between 0.9298-1.3767 and the average condition factor was 1.1364±0.0132. There is no previous study on the population of *C. banarescui* living in Kurtuluş Stream. In this study, the condition factor, length-

*Sorumlu yazar: serdar7er@gmail.com

Geliş Tarihi: 16.09.2021, Kabul Tarihi: 28.01.2022

weight and length-length relationships of *C. banarescui* in this habitat were reported for the first time.

1. Giriş

Türkiye, kendisini çevreleyen farklı özellikteki denizleri ve çok sayıda iç su kaynaklarıyla balık türlerinin yayılımı için oldukça fazla potansiyeli bulunan bir ülkedir [1]. Karadeniz Bölgesi de akarsular bakımından Türkiye'nin en zengin bölgelerinden biri konumundadır. Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Ordu ili ise iklim ve jeomorfolojik özellikleri nedeniyle çok sayıda tatlı su ekosistemine sahiptir. Ordu ili sınırları içerisinde yer alan Alaçayır Deresi, Armutkolu Çayı, Aybastı Çayı, Bolaman Çayı, Çaka Deresi, Çalış Deresi, Çamalan Deresi, Ceviz Deresi, Curi Deresi, Elekçi Irmağı, Eriklik Deresi, Gacalı Deresi, Ilıca Irmağı, Karakoyun Çayı, Karakuş Çayı, Kavaklar Deresi, Kavranbeli Deresi, Köklük Deresi, Kurtuluş Deresi, Melet Irmağı, Meşe Irmağı, Orman Deresi, Pencik Deresi, Porsuk Deresi, Reşadiye Çayı, Salman Deresi, Sarıkaya Deresi, Şimşir Deresi, Turnasuyu Deresi, Uyanık Deresi, Yalıköy Deresi, Ulugöl, Gaga Gölü ve Çiğ Gölü bu tatlı su habitatlarına örnek verilebilir.

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de değişen çevre koşulları ve kirlilik bu habitatlarda yaşamını sürdüren balık türlerini tehdit etmektedir [1], [2]. Ülkemizdeki mevcut balık popülasyonları üzerine yapılmış çalışmalar ise diğer çevre ülkelerle oranla oldukça az sayıdadır. Bunun için ülkemiz sularında bulunan mevcut balık türlerinin popülasyon özelliklerinin araştırılması gerekmektedir. Literatür incelendiğinde boy-boy, boy-ağırlık ilişkileri ve kondisyon faktörü türün popülasyon özelliklerinin araştırılmasında yaygın olarak kullanılan parametreler arasında öne çıkmaktadır [3]–[6]. Bu parametreler balıkçılık yönetimi ve balıkçılık biliminde oldukça önemli bir yere sahiptirler [7]–[9]. Bu parametreler araştırmacılara popülasyon/stok değerlendirmeleri, büyüme tipinin belirlenmesi ve balıkların habitatla olan ilişkileri hakkında bilgi sağlamaktadır [10], [11]. Ayrıca bu veriler sayesinde bölgeler arasında karşılaştırmalar yapılarak balık türlerinin yaşam geçmişleri, üreme geçmişleri ve daha genel olarak da

popülasyon ekolojisi ortaya çıkarılabilir [12]–[14]. Balık türlerinde boy-ağırlık ilişkisi denklemindeki b değerinin 2,5-3,5 [6] veya 2-4 arasında değiştiği rapor edilmiştir [15]. Boy-ağırlık denklemindeki b değeri balığın yaşam ortamında ne tür bir büyüme eğiliminde olduğu hakkında bilgi verir. Örneğin $b=3$ ise izometrik büyüme, $b>3$ ise pozitif allometrik büyüme, $b<3$ ise de negatif allometrik bir büyümeden söz edilebilir [3]. Balıkçılık biyolojisinde kondisyon faktörü büyümenin önemli göstergelerinden birisi olup balık popülasyonlarının incelenmesinde ve balıkların beslilik durumlarının mukayese edilmesinde de bir ölçüt olarak kullanılabilir [16]. Ülkemiz denizlerinde ve iç sularında yayılış gösteren birçok balık türünün boy-ağırlık, boy-boy ilişkileri ve kondisyon faktörleri üzerine yapılmış birçok çalışma mevcuttur [17]–[20].

Capoeta cinsi Cyprinidae familyasının bir üyesi olup yaygın olarak hızlı akan akarsular ve nehirler başta olmak üzere göller ve tatlı su kaynaklarında da bulunabilmektedir [21]. Bu cins, Anadolu'dan Levant'a, Türkmenistan'a, İran'a, Transkafkasya'ya, Dicle ve Fırat havzalarına ve Kuzey Afganistan'a hatta Batı Asya'ya kadar geniş bir dağılım göstermektedir [22]. Dünyada 36 türle temsil edilen bu cinsin 20 türünün Türkiye sularında da yayılış gösterdiği bilinmektedir [23]–[25]. Bunlardan biri olan *Capoeta banarescui* Turan, Kottelat, Ekmekçi & Imamoglu, 2006 türünün popülasyon özellikleri üzerine yapılmış sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Literatürde ise *C. banarescui* türünün Ordu ili Kurtuluş Deresi popülasyonu ile ilgili bir çalışma da bulunmamaktadır. Bu çalışmanın amacı, Kurtuluş Deresi (Ordu)'nde yaşayan *C. banarescui* türünün boy-ağırlık, boy-boy ilişkilerini ve kondisyon faktörünü belirlemektir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, *Capoeta banarescui* bireyleri Ordu ili Perşembe ilçesi sınırları içerisinde bulunan Kurtuluş Deresi'nden 2021 yılında elektroşoker

yardımla örneklenmiştir (I. istasyon=41°06'48"N-37°42'35"E; II. istasyon=41°06'40"N-37°42'35"E; III. istasyon=41°06'29"N-37°42'28"E; IV. istasyon=41°06'17"N-37°42'28"E) (Şekil 1). Balık örnekleri yakalandıktan sonra balık taşıma kaplarına aktarılmış ve sonrasında Ordu Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi bünyesinde

bulunan Hidrobiyoloji Laboratuvarına getirilmiştir. Burada ihtiyolojik materyallerin teşhisleri yapıldıktan sonra direk taze örnekler üzerinden balık ağırlıkları (W) ($\pm 0,1$ g) kaydedilmiştir. Daha sonra ise örneklerin total (TB), çatal (ÇB) ve standart (SB) boy ölçümleri ($\pm 0,1$ cm) yapılmıştır. *C. banarescui* bireylerinin cinsiyetleri gonadların mikroskopik incelenmesi sonrasında belirlenmiştir.



Şekil 1. *Capoeta banarescui* bireylerinin Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu)'ndeki örnekleme istasyonları ve koordinatları

Capoeta banarescui türünün boy-ağırlık ilişkisinin hesaplanmasında $W=aL^b$ formülünden faydalanılmıştır [4]. Bu formülde W = balık ağırlığını (g), L = balığın total boyunu (cm), a ve b ise ilişki sabitlerini temsil etmektedir. Bu çalışmada *C. banarescui* türü için b değerinin %95 güven aralığı da (%95CI) hesaplanmıştır [26]. Boy-ayrık ilişkilerin hesaplanmasında $y=ax\pm b$ lineer ilişki denklemi kullanılmıştır. Buna göre total boy-

standart boy, total boy-çatal boy, çatal boy-standart boy değerleri arasındaki ilişkiler hesaplanmış ve korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Çalışmada, Fulton'un kondisyon faktörü (K) ise; $K=100(W/L^3)$ denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çalışmamızda dişi ve erkek bireylerin boy ve ağırlık ölçümleri arasında istatistiksel fark olup olmadığı t-testi kullanılarak test edilmiştir. Türün boy-ağırlık ilişkisinden elde edilen b değerlerinin

istatistiksel olarak 3'ten farklı olup olmadığı da test edilmiş ve türün büyüme tipi belirlenmiştir. Çalışmamız kapsamında tüm istatistiksel analizler SPSS (IBM 21) programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

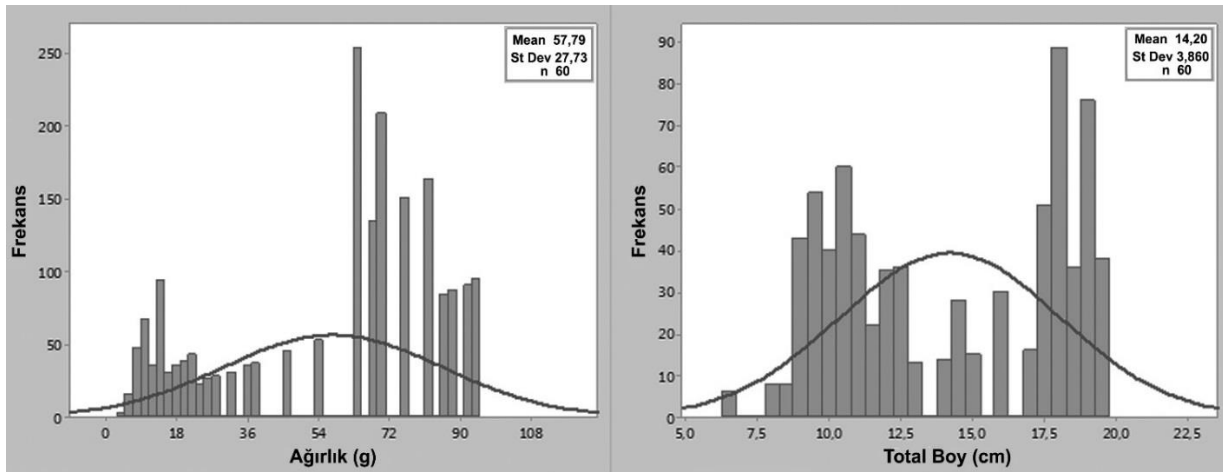
3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu)'nden toplam 60 adet *C. banarescui* bireyi incelenmiştir. Balık örneklerinin total, çatal ve standart boyları sırasıyla 6,5-19,7 cm, 6,0-18,3 cm ve 5,5-17,4 cm, ağırlıkları ise 3,2-95,0 g arasında olduğu belirlenmiştir. *C. banarescui* bireylerinin ortalama total boy ve ağırlık değerleri sırasıyla 13,075±0,494 cm ve 33,08±3,69 g'dır. Örneklerin %58,33'ü dişi, %38,34'ü erkek, %3,33'ünün ise

cinsiyeti belirlenememiş bireylerden oluşmaktadır. Dişi ve erkek bireylerin ortalama ağırlık ve total boy değerleri sırasıyla 39,31±5,15 g; 13,95±0,66 cm ve 26.10±4,98 g; 12,24±0,69 cm olarak belirlenmiştir. *C. banarescui* örneklerinin boy ve ağırlık değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Bu karakterlerden balık ağırlığının en yüksek varyasyon katsayısına, total boyun ise en düşük varyasyon katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Örneklerin total boy-frekans ve ağırlık-frekans dağılımları Şekil 2'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Dişi ve erkek *C. banarescui* bireylerinin hem boy hem de ağırlık değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı belirlenmiştir (t-testi; $P>0,05$). Bunun için değerlendirmeler dişi ve erkek bireylerin tümünü kapsayacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu)'nde yayılış gösteren *C. banarescui* türünün ağırlık ve boy verilerinin tanımlayıcı istatistik değerleri

	Ağırlık (g)	Total Boy (cm)	Çatal Boy (cm)	Standart Boy (cm)
Ortalama±S.H.	33,08±3,69	13,075±0,494	12,082±0,477	11,097±0,475
Minimum	3,20	6,5	6,0	5,5
Maksimum	95,00	19,7	18,3	17,4
Varyasyon Katsayısı	86,45	29,24	30,59	33,15



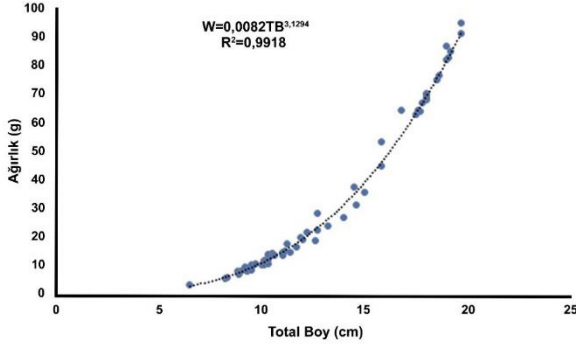
Şekil 2. Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu)'nde yaşayan *C. banarescui* türünün ağırlık-frekans ve total boy-frekans dağılım grafikleri

Bu çalışmada *C. banarescui* türünün Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu) popülasyonu için boy-ağırlık ilişkisi $W=0,0082TB^{3,1294}$ ($R^2=0,9918$) olarak hesaplanmıştır (Şekil 3). Çalışmamızda boy-ağırlık ilişkisi denklemindeki b değeri 3,1294 olarak belirlenmiştir. Bu değer hem Tesch [15] tarafından hem de Froese [6] tarafından rapor edilen değerler arasında olup literatürle de

uyumlu olduğu görülmektedir. *C. banarescui* örneklerinin boy-ağırlık ilişkisi denklemindeki b değerinin %95 güven aralığının da 3,1187-3,1362 olduğu belirlenmiştir. Çalışmamızda belirlenen b değeri de bu %95 güven aralığı içerisindedir.

Çalışmamızda *C. banarescui* türünün boy ve ağırlık verilerinin dişi ve erkek bireyler arasında istatistiksel olarak farklı olmadığı belirlenmiştir (t-

testi; $P>0,05$). Ancak Keskin [27] Melet Irmağı'nda yaşayan *C. banarescui* türünün boy ve ağırlık değerlerinin dişi ve erkek bireyler arasında istatistiksel olarak farklılık gösterdiğini rapor etmiştir ($P<0,05$). Bunun için de türün boy-ağırlık ilişkilerini erkek, dişi ve tüm bireyler olmak üzere ayrı ayrı hesaplamıştır.



Şekil 3. Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu)'nde yayılış gösteren *C. banarescui* türünün boy-ağırlık ilişkisi grafiği

İnnal [28] Antalya'daki Düden Çayı'nda yayılış gösteren *C. antalyensis* türünün boy-ağırlık ilişkilerini dişi ve erkek bireyler için ayrı ayrı hesaplamıştır. Benzer şekilde Emre ve ark. [29] Menzelet Barajı ve Fırınz Çayı'ndan yakalanan *C. angorae* türünün boy-ağırlık ilişkisini dişi ve erkek bireyler ayrı ayrı olacak şekilde hesaplamışlardır. Ayrıca çalışmamızda hesaplanan b değerinin, t -testi sonucuna göre istatistiksel olarak 3 değerinden farklı olduğu belirlenmiştir ($P<0,05$). Bu analiz sonucunda Kurtuluş Deresi'ndeki *C. banarescui* türünün pozitif allometrik bir büyüme gösterdiği belirlenmiştir. Keskin [27] *C. banarescui* türünün Melet Irmağı popülasyonunda erkek bireylerin negatif allometrik, dişi bireylerin ise pozitif allometrik büyüme gösterdiğini rapor etmiştir. Ayrıca, Keskin [27] *C. banarescui* türünün tüm bireyleri için boy-ağırlık ilişkisini $W=0,0088TB^{3,072}$ olarak hesaplamış ve çalışmamızın sonuçlarına benzer şekilde türün tüm bireyleri için bu habitatta pozitif allometrik bir büyüme gösterdiğini rapor etmiştir.

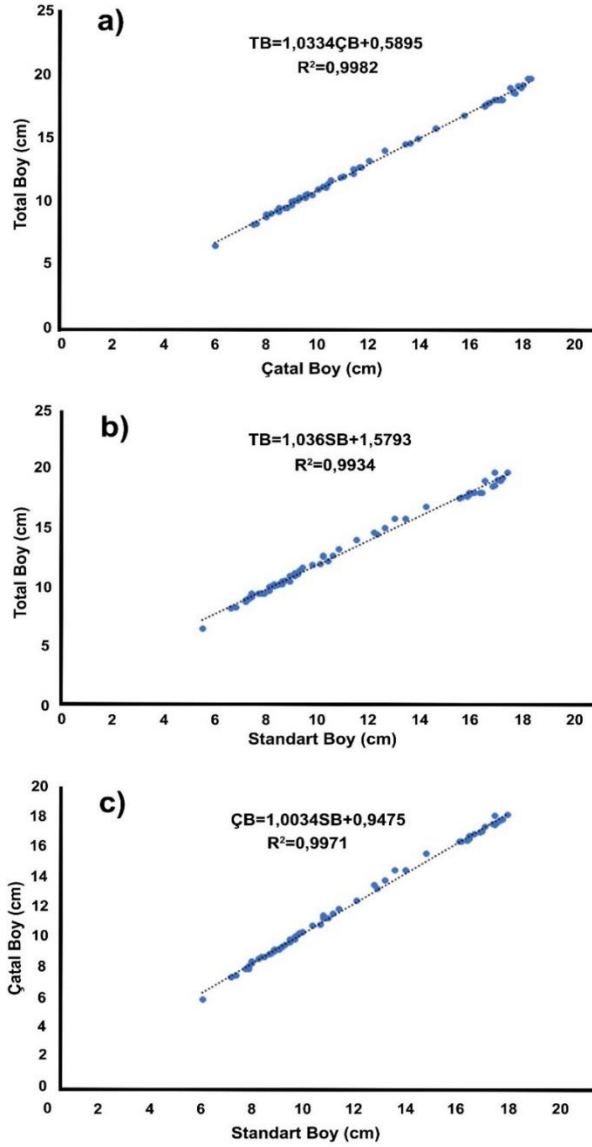
Bostancı ve ark. [18] Ordu ili sınırları içerisinde bulunan Yalıköy Deresi'nde yayılış gösteren *C. banarescui* türünün boy-ağırlık ilişkisini $W=0,0055TB^{3,2726}$ olarak hesaplamışlar

ve çalışmamızın sonuçlarına benzer şekilde türün tüm bireyleri için Yalıköy Deresi'nde de pozitif allometrik bir büyüme gösterdiğini rapor etmişlerdir. Mazlum ve ark. [30] Türkiye iç sularında yayılış gösteren beş *Capoeta* türünün (*C. baliki*, *C. banarescui*, *C. ekmekciae*, *C. erhani*, *C. turani*) boy-ağırlık ilişkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, Artvin ve Erzurum iç sularında (Bulanık, Tortum, Çifteköprü, Aralık, Aksu, Büyükköy ve Ardanuç dereleri) *C. banarescui* türünün bizim çalışmamızın aksine bu habitatlarda izometrik bir büyüme gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca *C. baliki* türünün Kırşehir, Ankara, Samsun ve Sivas iç sularında (Ilhanlı, Kızılcahamam, Deliceirmak, Abdal ve Zara dereleri) negatif allometrik, *C. ekmekciae* türünün Artvin iç sularında (Bulanık ve Çifteköprü dereleri) izometrik, *C. erhani* türünün Kahramanmaraş iç sularında (Aksu ve Geçit dereleri) izometrik ve *C. turani* türünün Üçürgene Deresi'nde (Adana) izometrik büyüme gösterdiğini bildirmişlerdir.

Patimar ve Mohammadzadeh [31] Doğu İran'da yayılış gösteren *C. fusca* türünün erkek bireylerinin negatif allometrik, dişi bireylerinin ise izometrik büyüme gösterdiğini rapor etmişlerdir. Literatür incelendiğinde boy-ağırlık ilişki denklemindeki b değerinin ve dolayısıyla da büyüme tipinin birçok faktörden etkilendiği rapor edilmektedir [4], [18], [32]. Çalışmalarda incelenen balıkların özellikle cinsiyet, beslenme özellikleri, örneklem büyüklüğü, habitat farklılıkları gibi faktörlerin bu değerlerin değişmesinde etkili olabileceği bildirilmiştir [4], [18], [32]. Nitekim bu durum çalışmamız kapsamında değerlendirilen *C. banarescui* türü için de geçerlidir.

Boy-boy ilişkileri balıkçılık yönetiminde ve özellikle de tek boy tipinin tercih edildiği karşılaştırmalı büyüme çalışmalarında oldukça önemli parametrelerdendir [33], [34]. Ayrıca boy-boy ilişkileri morfolojik olarak zarar görmüş balık bireylerinin total, çatal ve standart boylarından herhangi birini kullanarak diğerlerinin tahmin edilmesine de olanak sağlamaktadır. Çalışmamız kapsamında *C. banarescui* türünün Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu) popülasyonu için boy-boy ilişkileri $TB=1,0334ÇB+0,5895$;

TB=1,036SB+1,5793 ve ÇB=1,034SB+0,9475 olarak hesaplanmıştır. *C. banarescui* türünün boy-boy ilişkileri detaylı incelendiğinde ise standart boy, çatal boy ve total boy değerlerinin birbirleriyle kuvvetli doğrusal ilişkiler gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu)'nde yayılış gösteren *C. banarescui* türünün total boy-çatal boy (a), total boy-standart boy (b), çatal boy-standart boy (c) ilişkisi grafikleri

Keskin [27] *C. banarescui* türünün Melet Irmağı popülasyonu için boy-boy ilişkilerini hesaplamış ve çalışmamıza benzer şekilde türün boy ölçümleri arasında (TB-ÇB, $R^2=0,99$; TB-SB, $R^2=0,98$; ÇB-SB, $R^2=0,99$) kuvvetli doğrusal ilişkiler olduğunu rapor etmiştir. Ayrıca Bostancı

ve ark. [18] Yalıköy Deresi'nde yayılış gösteren *C. banarescui* türü için boy-boy ilişkilerini $TB=1,0326ÇB+0,5849$; $TB=1,004SB+0,9079$ olarak hesaplamışlar ve çalışmamıza benzer şekilde boy değerleri arasında kuvvetli doğrusal ilişkiler olduğunu bildirmişlerdir.

Kondisyon faktörü, balıkların hayatta kalma, üreme, olgunluk ve sağlığını anlamak için yaygın olarak kullanılan popülasyon parametrelerinden biridir [35]. Ayrıca, belirli bir habitat veya ekosistemde yaşayan balık popülasyonlarının genel sağlığının ve su kalitesinin iyi bir göstergesi olarak da kullanılabilir [36]. Kurtuluş Deresi (Perşembe-Ordu)'nde yayılış gösteren *C. banarescui* örneklerinin minimum ve maksimum kondisyon faktörleri sırasıyla 0,9298 ve 1,3767 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ortalama kondisyon faktörü de $1,1364\pm0,0132$ olarak belirlenmiştir. Çalışmamızın sonuçlarına benzer şekilde, *C. banarescui* türünün Yalıköy Deresi popülasyonu için kondisyon faktörünün 0,827-1,307 aralığında ve ortalama kondisyon faktörünün de $1,069\pm0,113$ olduğu [18], Melet Irmağı popülasyonu için ise kondisyon faktörünün 0,79-1,35 aralığında ve ortalama kondisyon faktörü değerinin de $1,07\pm0,007$ olduğu rapor edilmiştir [27]. Balıklarda kondisyon faktörü değeri türden türe değişiklik gösterebileceği gibi, tür içerisinde de beslenme, gonad gelişimi, yaş, cinsiyet, üreme periyotları ve diğer habitat koşullarına göre değişim gösterebilmektedir [1], [12], [37], [38].

4. Sonuç ve Öneriler

Türkiye, her ne kadar üç tarafı denizlerle çevrili olsa da özellikle iç su kaynakları açısından zengin bir ülke değildir. Çünkü ülkemiz yıllık ortalama 643 mm yağış miktarı (501 milyar m^3) ile dünya ortalamasının (800 mm) altında kalmaktadır [39], [40]. Bunun yanı sıra, küresel ısınma ve kirlilik gibi faktörler de mevcut su kaynaklarını tehdit etmektedir [41], [42]. Ayrıca bu faktörler ülkemiz balık faunasını da olumsuz etkilemekte hatta bazı türlerin yok olmasına bile sebep olabilmektedir [43], [44]. Bunun için bu zenginliğimizin korunması ve gelecek nesillere de aktarılması oldukça önem arz etmektedir. Bunun da en önemli

yollarından biri, bu habitatlarda yaşayan balık türlerimizin ve bu türlerin popülasyon özelliklerinin detaylı bir şekilde araştırılmasıyla sağlanabilir. Bunun için ülkemizde bu türün farklı habitatlardaki boy-boy, boy-ağırlık ilişkileri ve kondisyon faktörü değerleri belirlenerek bölgesel ve habitatlar arası karşılaştırmalar yapılabilir ve bu veriler yaş, büyüme, ölüm ve üreme gibi diğer popülasyon parametreleriyle de desteklenerek tür hakkında daha kapsamlı bilgilere ulaşılmasına olanak sağlanabilir. Kurtuluş Deresi'nde yaşayan *C. banarescui* türünün daha önce popülasyonu üzerine yapılmış bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada türünün bu habitatteki boy-boy, boy-

ağırlık ilişkileri ve kondisyon faktörü ilk defa rapor edilmiştir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar bu çalışmaya eşit katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] S. Yedier, S. Konaş, and D. Bostancı, "Length-length and length-weight relationships of lessepsian *Saurida undosquamis* from the İskenderun Bay, Turkey (Eastern Mediterranean)" *Journal of the Institute of Science and Technology*, vol. 10, no. 1, pp. 616-623, 2020. doi: 10.21597/jist.551092
- [2] H. Steinfeld, P. J. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. De Haan, *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*, Rome, Italy: FAO, 2006.
- [3] W. A. Ricker, "Computation and interpretation of biological statistics of fish populations" *Bul. Fish. Res. Board Can.*, vol. 191, pp. 1-382, 1975.
- [4] T. B. Bagenal, and F. W. Tesch, "Age and Growth," in *Methods for assessment of fish production in fresh waters*, T. Bagenal, Ed. Oxford, UK: Blackwell Science Publications, 1978, pp. 101-136.
- [5] R. Froese, and D. Pauly, *Fishbase 1998: concepts, design and data sources*, Manila, Philippines: ICLARM, 1998.
- [6] R. Froese, "Cube law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations" *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 22, no. 4, pp. 241-253, 2006. doi: 10.1111/j.1439-0426.2006.00805.x
- [7] E. K. Mbaru, E. N. Kimani, L. M. Otwoma, A. Kimeli, and T. K. Mkare, "Abundance, length-weight relationship and condition factor in selected reef fishes of Kenyan marine artisanal fishery" *Adv. J. Food. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 1-8, 2011.
- [8] Ş. G. Kirankaya, F. G. Ekmekçi, Ş. Y. Özdilek, B. Yoğurtçuoğlu, and L. Gençoğlu, "Condition, length-weight and length-length relationships for five fish species from Hirfanlı Reservoir, Turkey" *Journal of FisheriesSciences.com*, vol. 8, no. 3, pp. 208-213, 2014.
- [9] S. Yedier, S. Konaş, and D. Bostancı, "Condition factor, length-length and length-weight relationships for *Pagellus acarne* inhabiting the Sea of Marmara" *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, vol. 4, no. 2, pp. 82-88, 2019. doi: 10.35229/jaes.542005
- [10] S. Yılmaz, O. Yazıcıoğlu, M. Erbaşaran, S. Esen, M. Zengin, and N. Polat, "Length-weight relationship and relative condition factor of white bream, *Blicca bjoerkna* (L., 1758), from Lake Lâdik, Turkey" *J. Black Sea/Medit. Environ.*, vol. 18, no. 3, pp. 380-387, 2012.
- [11] A. Kara, C. Sağlam, D. Acarli, and Ö. Cengiz, "Length-weight relationships for 48 fish species of the Gediz estuary, in İzmir Bay (Central Aegean Sea, Turkey)" *J. Mar. Biol. Assoc. U. K.*, vol. 98, no. 4, pp. 879-884, 2018. doi: 10.1017/S0025315416001879
- [12] G. Petrakis, and K. I. Stergiou, "Weight-length relationships for 33 fish species in Greek waters" *Fish. Res.*, vol. 21, no. 3-4, pp. 465-469, 1995. doi: 10.1016/0165-7836(94)00294-7
- [13] K. Sivashanthini, "Length-weight relationships and condition of Gerreids (Pisces: Gerreidae) from the Parangipettai waters (SE coast of India)" *Asian Fish. Sci.*, vol. 21, no. 4, pp. 405-419, 2008.

- [14] R. Baitha, A. Sinha, S. K. Koushlesh, T. N. Chanu, K. Kumari, P. Gogoi, M. H. Ramteke, S. Borah, and B. K. Das, "Length-weight relationship of ten indigenous freshwater fish species from Gandak River, Bihar, India" *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 34, no. 1, pp. 233-236, 2018. doi: 10.1111/jai.13555
- [15] F. W. Tesch, "Age and growth," in *Methods for assessment of fish production in fresh waters*, W. E. Ricker, Ed. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications, 1971, pp. 98-130.
- [16] A. Ş. Korkmaz, *Popülasyon Dinamiği*, Ankara, Türkiye: Ankara Üniversitesi Basımevi, 2011.
- [17] S. Saygın, M. Özpiçak, A. Aydın, E. Hançer, S. Yılmaz, and N. Polat, "Length-weight and length-length relationships of the European bitterling, *Rhodeus amarus* (Bloch, 1782) inhabiting inland waters of Samsun province" *J. BAUN Inst. Sci. Technol.*, vol. 20, no. 2, pp. 201-210, 2018. doi: 10.25092/baunfbed.425934
- [18] D. Bostancı, S. Yedier, S. Konaş, G. Kurucu, and N. Polat, "Length-weight, length-length relationships and condition factors of some fish species in Yalıköy Stream (Ordu-Turkey)" *Aquaculture Studies*, vol. 17, no. 4, pp. 375-383, 2017. doi: 10.17693/yunusae.v17i31121.339920
- [19] M. Özpiçak, S. Saygın, E. Hançer, A. Aydın, S. Yılmaz, and N. Polat, "Length-weight and length-length relationships of chub (*Squalius cephalus*, L., 1758) inhabiting a few inland waters of the Middle Black Sea Region" *Ege J.F.A.S.*, vol. 35, no. 2, pp. 175-179, 2018. doi: 10.12714/egejfas.2018.35.2.10
- [20] S. Yedier, "Estimation of some population parameters of *Squalius cephalus* (Linnaeus 1758) in Tabakane Stream (Ordu-Turkey)" *S.A.U.J.S.*, vol. 26, no. 1, pp. 14-23, 2022. doi: 10.16984/saufenbilder.998273
- [21] D. Turan, M. Kottelat, F.G. Ekmekçi, and H.O. Imamoğlu, "A review of *Capoeta tinca*, with descriptions of two new species from Turkey (Teleostei: Cyprinidae)" *Rev. Suisse Zool.*, vol. 113, no. 2, pp. 421-436, 2006. doi: 10.5962/bhl.part.80358
- [22] P. M. Banarescu, *The Freshwater Fishes of Europe, vol. 5, Cyprinidae 2. Part I: Rhodeus to Capoeta*, Wiebelsheim, Germany: AULA-Verlag, 1999.
- [23] R. Froese, and D. Pauly, 2022, *Fishbase, Capoeta banarescui*, Accessed: Jan 14, 2022. [Online]. Available: <https://www.fishbase.se/summary/Capoeta-banarescui.html>
- [24] E. Çiçek, S. Sungur, and R. Fricke, "Freshwater lampreys and fishes of Turkey; a revised and updated annotated checklist 2020" *Zootaxa*, vol. 4809, no. 2, pp. 241-270, 2020. doi: 10.11646/zootaxa.4809.2.2
- [25] R. Fricke, W. N. Eschmeyer, and R. van der Laan, 2022. *Freshwater Fish List, Eschmeyer's Catalog of Fishes: Genera, Species*. Accessed: Jan 7, 2022. [Online]. Available: <http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>
- [26] J. H. Zar, *Biostatistical Analysis*, 4th Ed. New Jersey, USA: Upper Saddle River, Prentice Hall, 1999.
- [27] G. Keskin, "Aşağı Melet Irmağı'nda (Ordu) yaşayan *Capoeta banarescui*'nin yaş, büyüme ve otolit özellikleri" Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, Türkiye, 2013.
- [28] D. İnnal, "Identifying growth parameters for two endemic species [*Capoeta antalyensis* (Battalgil, 1943) and *Pseudophoxinus antalyae* Bogutskaya, 1992] in Duden Creek, Antalya, Turkey" *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 30, no. 2, pp. 294-299, 2014. doi: 10.1111/jai.12191
- [29] Y. Emre, H. Ayyıldız, Ö. Özen, and A. Yağcı, "Menzelet Barajı ve Fırınz Çayı'ndan yakalanan *Capoeta angorae* (Cyprinidae)'nin yaş, büyüme ve otolit morfometrisi (Türkiye)" *Ege J.F.A.S.*, vol. 31, no. 2, pp. 79-85, 2014. doi: 10.12714/egejfas.2014.31.2.04
- [30] R. E. Mazlum, D. Turan, and S. Bilgin, "Length-weight relationships of nine Cyprinid species from inland waters of Turkey" *Turkish J. Fish. Aquat. Sci.*, vol. 15, no. 2, pp. 381-384, 2015. doi: 10.4194/1303-2712-v15_2_22
- [31] R. Patimar, and B. Mohammadzadeh, "On the biological characteristics of *Capoeta fusca* Nikolskii, 1897 in eastern Iran" *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 27, no. 3, pp. 873-878, 2011. doi: 10.1111/j.1439-0426.2010.01572.x
- [32] S. Yedier, D. Bostancı, and N. Polat, "Some population characteristics of *Oxynoemacheilus angorae* (Steindachner, 1897) from Perşembe Plateau Meandering Streams in Ordu-Turkey" *Fisheries & Aquatic Life*, vol. 29, no. 2, pp. 100-107, 2021. doi: 10.2478/aopf-2021-0012
- [33] D. K. Moutopoulos, and K. I. Stergiou, "Length-weight and length-length relationships of fish species from the Aegean Sea (Greece)" *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 18, no. 3, pp. 200-203, 2002. doi: 10.1046/j.1439-0426.2002.00281.x

- [34] L. J. Wang, F. You, Q.X. Wang, Z.H. Wul, and M.X. Liu, "Length-weight and length-length relationships of 11 fish species from Zhimai River estuary, China" *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 31, no. 2, pp. 435-436, 2015. doi: 10.1111/jai.12692
- [35] E. D. Le Cren, "The length-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*)" *J Anim Ecol.*, vol. 20, no. 2, pp. 201-219, 1951. doi: 10.2307/1540
- [36] M. Tsoumani, R. Liasko, P. Moutsaki, I. Kagalou, and I. Leonardos, "Length-weight relationships of an invasive cyprinid fish (*Carassius gibelio*) from 12 Greek lakes in relation to their trophic states" *J. Appl. Ichthyol.*, vol. 22, no. 4, pp. 281-284, 2006. doi: 10.1111/j.1439-0426.2006.00768.x
- [37] İ. Erkoyuncu, *Balıkçılık Biyolojisi ve Popülasyon Dinamiği*, Yayın No:95, Sinop, Türkiye: Ondokuzmayıs, Üniversitesi Yayınları, 1995.
- [38] D. Avşar, *Balıkçılık Biyolojisi ve Popülasyon Dinamiği*, Adana, Türkiye: Nobel Kitapevi, 2005.
- [39] K. Altan, A. Teksoy, and S.K. Akal Solmaz, "Türkiye'de yağış ve sıcaklığın su kaynakları, tarımsal ürün verimi ve su politikalarına etkisi" *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 25, no. 3, pp. 1253-1270, 2020. doi: 10.17482/uumfd.787493
- [40] *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü 2018 Yılı Faaliyet Raporu*, 2019 [Online]. Available: <https://cdn.nys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/759/1107/DosyaGaleri/dsi-2018-faaliyet-raporu.pdf>. Accessed: Jan 22, 2022.
- [41] S. Kılıç, "Küresel iklim değişikliği sürecinde su yönetimi" *İ.Ü. Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi*, vol. 39, pp. 161-186, 2008.
- [42] M.L. Yılmaz, and H. S. Peker, "Su kaynaklarının Türkiye açısından ekono-politik önemi ekseninde olası bir tehlike: su savaşları" *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 3, no. 1, pp. 57-74, 2013.
- [43] L. Bat, "Kirlilik ve balıkçılık" *Karadeniz ve balıkçılık Çalıştayı*, 13-14 Ekim 2016, Sinop, Türkiye, pp. 17-54.
- [44] F. E. Kayhan, G. Kaymak, Ş. Tartar, C. Akbulut, H. E. Esmer, and N. D. Yön Ertuğ, "Küresel ısınmanın balıklar ve deniz ekosistemleri üzerine etkileri" *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 31, no. 3, pp. 128-134, 2015.



Denetimsiz Anomali Tespiti Yaklaşımı ile Düşme Algılama

Abdullah Talha SÖZER^{1*}

¹Karabük Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Mühendisliği, Karabük
(ORCID: [0000-0002-7855-6119](https://orcid.org/0000-0002-7855-6119))



Anahtar kelimeler:

Düşme tespiti,
Anomali tespiti, Gauss
karışım modeli.

Öz

Yaşlı nüfusunun hızla artması ve yaşlılığa bağlı olarak karşılaşılan fiziksel, duyuşsal ve bilişsel gerilemeler, düşmeyi her geçen gün büyüyen bir problem olarak karşımıza çıkarmakta ve düşme tespiti çalışmalarının hız kazanmasına sebep olmaktadır. Günlük aktivitelerin düşmeden ayırt edilmesinden ibaret olan düşme tespiti probleminde, denetimli öğrenme yaklaşımları kullanılmasına rağmen, düşmenin nadir rastlanan ve çok farklı biçimlerde karşılaşılabilen bir olay olması genel bir model elde edilmesine izin vermemektedir. Bu çalışmada denetimsiz anomali tespiti ile düşmenin belirlenmesi önerilmektedir. Denetimsiz öğrenme modelinin elde edilmesinde ve model vasıtasıyla düşmenin tespitinde 35 tip düşme ve 44 tip günlük aktiviteye sahip kapsamlı bir veri setinden faydalanılmıştır. Denetimsiz öğrenme yöntemi olan Gauss karışım modelinin eğitiminde, günlük aktivitelerden toplanan 3-eksen ivmeölçer sinyallerinden elde edilen öznitelikler kullanılmıştır. Test aşamasında model, düşme ve günlük aktivite verileri ile karşılaşmış, modele göre olasılığı çok düşük olan veriler anomali, dolayısıyla düşme olarak kabul edilmiştir. Testlerde düşmeler %91 civarında doğru olarak tespit edilmiş ve elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar düşmenin anomali tespiti yaklaşımları ile belirlenebileceğini ve makine öğrenmesi modelinin elde edilmesi için yalnız günlük aktivite verilerinin yeterli olduğu yaklaşımını doğrulamaktadır.

Fall Detection Using Unsupervised Anomaly Detection Approach

Keywords: Fall detection,
Anomaly detection, Gaussian
mixture model.

Abstract

The rapid increase in the elderly population and the physical, sensory, and cognitive declines encountered due to old age cause falling as a growing problem day by day and induce fall detection studies to accelerate. Although supervised learning approaches are used in the fall detection problem, which consists of distinguishing daily activities from falling, it does not allow obtaining a general model because falling is a rare event that can be encountered in many different ways. This study proposes determining the fall with unsupervised anomaly detection. A comprehensive data set with 35 types of falls and 44 types of daily activities was used to obtain the unsupervised learning model and to detect falls through the model. In the training of the Gaussian mixture model, which is an unsupervised learning method, features obtained from 3-axis accelerometer signals collected from daily activities were used. During the test phase, the model was subject to fall and daily activity data, and the data with very low probabilities according to the model were accepted as anomalies, therefore falling. In the tests, the falls were detected with an accuracy of around 90.5% and the results were compared with other studies. The results confirm that the fall can be detected by anomaly detection approaches and that only daily activity data is sufficient to obtain the machine learning model.

*Sorumlu yazar: talhasozer@karabuk.edu.tr

Geliş Tarihi: 20.09.2021, Kabul Tarihi: 22.02.2022

1. Giriş

Dünya sağlık örgütü, düşmeyi, bir kişinin vücut pozisyonunun mevcut konumundan zemin gibi daha alçak bir konuma istemsiz olarak yer değiştirmesi olarak tanımlamaktadır. Her yıl düşmenin, 684 bin ölüme sebep olduğu ve bu rakamın kaza sebebi ile ölümden trafik kazalarından sonraki en büyük rakam olduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte ölüme sebep olan düşmeler hariç tıbbi müdahale gerektiren 37,3 milyon ağır düşme meydana gelmekte, kalıcı hasarlar bırakabilmektedir [1]. Ayrıca düşme sonrası uygulanan tedaviler en masraflı tıbbi müdahaleler arasındadır [2]. Düşmenin ve ağır sonuçlara sebep olma riskinin yaşlı insanlarda daha fazla olduğu ve dünya genelinde yaşlı nüfusunun arttığı göz önüne alındığında düşme büyüyen bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Dünya nüfusunun %12'si, yaşı 60'ı aşkın bireyler tarafından teşkil edilmektedir ve bu oranın 2030 yılına gelindiğinde %16, 2050 yılında ise %22 ulaşması öngörülmektedir [3]. Türkiye'de ise nüfusunun %9,5'ini 65 yaş üstü bireyler oluşturmakta, bu rakamın 2030 da %12,9 ve 2050'de %19,5 olması beklenmektedir [4]. Yaşlanma ile karşılaşılan fiziksel, duyuşsal ve bilişsel değişiklikler, düşme ihtimalini artırmaktadır. Yaşlı bireylerde düşmeden kaynaklanan ciddi yaralanma veya ölüm olayına sıklıkla rastlanmaktadır. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde düşen yaşlıların %20-30'u, morluklar, kalça kırıkları veya kafa travması gibi orta ila şiddetli yaralanmalardan muzdariptir [1]. 65 yaş ve üstü bireylerin %28'i ve 70 yaş ve üstü bireylerin %32'si her yıl düşmektedir ve ölümcül düşmelerin en fazla olduğu grup yaşlı bireylerdir [5].

Düşme hadisesini bu kadar tehlikeli bir hale getiren düşmeden sonra yerde kalış süresidir. Yaralanma ile sonuçlanan 313 düşmeden 148'inde bireyin düşmenin ardından ayağa kalkamadığı ve bunun dehidrasyon ve hipotermi gibi olumsuz sonuçlara yol açabildiği bildirilmektedir. Düşme sonrası uzun süre yerde kalan yaşlıların yarısının 6 ay içinde öldüğü gözlemlenmiştir [5]. Bu ciddi sağlık tehdidinin üstesinden gelmek için, otomatik düşme algılama ve alarm işlevlerine sahip sistemler üzerine yoğun çalışmalar yürütülmektedir. Otomatik düşme algılama sistemleri, düşmeleri tespit edip hastaneyi/ hasta bakıcıları anında uyarılmaktadır [6]–[10]. Bu sistemler, düşme ile tıbbi müdahale arasındaki süreyi azaltarak düşmeler ve uzun süre yerde kalma ile ilgili sağlık komplikasyonlarını en aza indirebilir.

Sistemler, kullanılan sensörlere göre, giyilebilir tabanlı, ortam tabanlı olmak üzere iki sınıfta değerlendirilebilir. Ortam tabanlı yaklaşımda kamera, kızıl ötesi kamera, Kinect sensör, hareket sensörü, radar sensörü, basınç ve titreşim sensörleri vasıtası ile düşme tespit edilmeye çalışılmaktadır [2], [11], [12]. Ortam tabanlı yaklaşımlarda, düşme ile günlük hareket oldukça başarılı bir şekilde ayırt edilebilmesine rağmen bu sistemlerin belirli ortam ile sınırlı olması, maliyet, bireylerde sürekli izleniyor izlenimi uyandırması ve mahremiyet kaygısı gibi olumsuz yanları vardır. Giyilebilir tabanlı yaklaşımda, elbiseye/vücuda yerleştirilen sensörler ile ivme, basınç, yön, manyetik alan [13] gibi değişikliklerin yanısıra kalp atış hızı [7] gibi fizyolojik değişiklikler de ölçülerek günlük hareket ile düşme ayırt edilmektedir. Cihazın kullanılabilirliği göz önüne alınarak sensörler çoğunlukla bilek, bel ve boyuna takılmaktadır. Düşme tespitinde en sık kullanılan sensör olan 3 eksenli ivmeölçer, az güç tüketimi sayesinde giyilebilir cihazın kullanılabilirliğini artırmaktadır.

Düşme tespiti çalışmaları, büyük çoğunlukla düşme simülasyonları ve günlük aktiviteler esnasında toplanan veriler ile yürütülmektedir. Bu çalışmada, önceki çalışmalardan farklı olarak halihazırdaki en kapsamlı düşme veri tabanı olan, 15 denek ile 35 tip düşme ve 44 tip günlük aktivite gerçekleştirilerek oluşturulan FallAID [13] veri setindeki belden toplanan 3 eksen ivmeölçer sinyalleri kullanılarak denetimsiz öğrenme temelli anomali tespit yöntemi ile düşmeler tespit edilmiştir. Gauss karışım modelinin (GMM) kullanıldığı bu çalışmada düşme durumları %91 oranında doğru olarak tespit edilmiştir ve elde edilen sonuçlar literatür ile karşılaştırılmıştır. Böylece, düşme olayının anomali olarak değerlendirilebileceği ve anomali tespiti yöntemlerinin düşme algılama çalışmalarında kullanılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca hangi tip günlük aktivitelerin düşme olarak tespit edildiği detaylı olarak incelenmiş ve seçilen bazı günlük aktivite tipleri ile deneyler tekrarlanmıştır. Böylece düşme tespit sistemlerinin performansını arttırabilmek için belirli tip aktivitelerin üzerinde odaklanılabileceği gösterilmiştir.

Bölüm 2'de ilgili çalışmalar sunulacaktır. Bölüm 3'te kullanılan veri seti, sensör sinyallerinin ön işleme, kullanılan öznitelikler, GMM yöntemi ve tespit sonuçlarını değerlendirme kriteri üzerinde durulacaktır. Bölüm 4'te deneysel sonuçlara yer verilecektir. Bölüm 5'te sonuçlar ve düşme tespiti problemindeki çalışmalar ve eksiklikler

tartışılacaktır. Bölüm 6'da bazı öneriler ile çalışma sonlandırılacaktır.

2. İlgili Çalışmalar

Düşme olayının günlük aktivitelere kıyasla nadir rastlanan bir durum olması, araştırmacıları düşme simülasyonları ile veri toplamaya sevk etmektedir. Literatürde birçok düşme veri setine rastlanmaktadır. Ancak düşmelerin sebebi, şekli, yönü, düşme sonrası eylem gibi durumları tanımlayan genel kabul görmüş kurallar bulunmaması sebebiyle veri setlerindeki düşmeler ve sayıları çok farklı olabilmektedir. Bununla beraber veri setlerinin barındırdığı günlük aktivite tipleri ve sayısı da farklılık göstermektedir. Örneğin halka açık bir veri tabanı olan MobiAct, 9 tip günlük aktivite ve 4 tip düşme içermektedir [14]. SisFall veri seti, 19 tip günlük aktivite ve 15 tip düşme gerçekleştirilirken yapılan ölçümler ile oluşturulmuştur [15]. ASLH veri seti, 16 tip günlük aktivite ve 20 tip düşme barındırır [16]. UMAFall veri seti ise 8 tip günlük aktivite ve 3 tip düşmeye ait verilerden oluşmaktadır [17]. Seçilen düşme ve günlük aktivitelerin sayısı ve biçimsel farklılığı, geliştirilen düşme tespit yönteminin doğru sınanmasında baş rol oynamaktadır. Bu sebeple, çalışmada, diğer veri setlerine kıyasla yüksek sayıda günlük aktivite ve düşme tipleri barındıran ve düşmenin yönü, sonrası gibi durumları göz önünde bulunduran FallAIIID veri seti kullanılarak, önerilen düşme tespit yöntemi değerlendirilmiştir.

Düşmenin tespiti, sensör verilerinin bir eşik ile kıyaslanması [9] veya denetimli/denetimsiz makine öğrenmesi yöntemleriyle [18] ile gerçekleştirilmektedir. Destek vektör makinesi (SVM) [19] k-en yakın komşular (KNN) [20], ileri beslemeli sinir ağı (NN) [21], derin öğrenme mimarileri [22], [23] denetimli öğrenme ile düşme tespitinde kullanılmıştır. Denetimli öğrenme ile, düşme tespitinde kullanılacak modeller elde edilebilmesine rağmen; düşmenin çok çeşitli olabilmesi (kayma, takılma, yana düşme, düşerken dönme...), ve bireylerin hareket biçimleri boy, kilo, yaş, cinsiyet, vücut biçimi... gibi sayısız etken ile değişmesi sebebi ile genel geçer bir eğitim modeline ulaşılması zordur. Denetimsiz anomali tespiti yaklaşımları bu engellere karşı farklı bir çözüm önerir.

Bir anomali, beklenen, alışılmış olandan farklı durum ve verilerdir. Düşme olayı günlük aktivitelere nazaran nadir rastlanan bir durumdur ve düşme olayının ürettiği sensör verilerinin günlük aktivite verilerinden farklı olması beklenir. Bu

durumda denetimsiz anomali tespiti yaklaşımı ile eğitim modelleri günlük aktivite verileri kullanılarak eğitilir ve modele göre anomali olduğu tespit edilen veriler düşmelere karşılık gelmektedir [7], [24], [25]. Düşme tespitinde, denetimsiz anomali algılama yaklaşımının denetimli öğrenmeye kıyasla sağladığı üstünlüklerden biri, eğitim modelinin yalnızca kolayca elde edilebilen günlük aktivite verileri gerektirmesidir. Böylece eğitim aşamasında düşme verileri kullanılmadığından, çok çeşitli düşme biçimlerinin dikkate alınmasına gerek yoktur. Bu artılarıyla denetimsiz anomali tespiti yaklaşımının uygulanabilirliği yüksektir. Literatürde oto kodlayıcı (autoencoder), tek sınıf KNN, tek sınıf SVM, GMM, Parzen olasılıksal NN gibi yöntemler ile düşme tespiti yapılmıştır [26]. GMM hızlı bir algoritmadır ve örneklerin anormallik derecesini hesaplamak için kullanılabilen istatistiksel çıkarımlar sağlar [27].

Young-Hoon ve arkadaşları ivmeölçer ve nabız sensörü verilerini beraber kullanarak GMM temelli denetimsiz makine öğrenimi yaklaşımı ile düşme tespiti gerçekleştirmişlerdir [7]. 6 tip düşme ve 13 tip günlük aktivite ile test ettikleri yöntemlerinin düşmeleri başarılı bir şekilde tespit edebildiklerini göstermiştir.

Lin Chen ve arkadaşları, bir düşme tespit çözümünün kullanım kolaylığını göz önüne alarak, akıllı saat üzerinde çalışan denetimsiz anomali tespiti yaklaşımı önermişlerdir [28]. Dışbükey gövde (convex hull) temelli tek sınıf sınıflandırmanın tercih edildiği çalışmalarında, geliştirilen yöntem 16 tip günlük aktivite ve 13 tip düşme ile test edilmiştir. Önerilen yöntem, denetimli öğrenme temelli düşme tespiti yöntemleri ile kıyaslanmış ve daha yüksek performans sağladığı bildirilmiştir.

Denetimsiz anomali tespiti yaklaşımı ile düşmelerin belirlenmesi ile ilgili en kapsamlı çalışma José ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [26]. İçlerinde GMM'nin de bulunduğu birden fazla denetimsiz makine öğrenimi yönteminin düşme tespitindeki başarısını farklı veri setleri üzerinde test etmişlerdir. Çalışmalarında eğitim esnasında düşmelere ihtiyaç duymayan bu yöntemlerin düşme tespiti performanslarının, denetimli makine öğrenimi yöntemlerine oldukça yakın olduğunu göstermişlerdir. Bununla beraber, bu denetimsiz öğrenme yöntemlerinin, eğitim esnasında karşılaşmadıkları günlük aktivite tiplerini kolaylıkla anomali olarak kabul edebildiğini dolayısıyla eğitim setinin kapsamlı olması gerektiğini belirtmişlerdir.

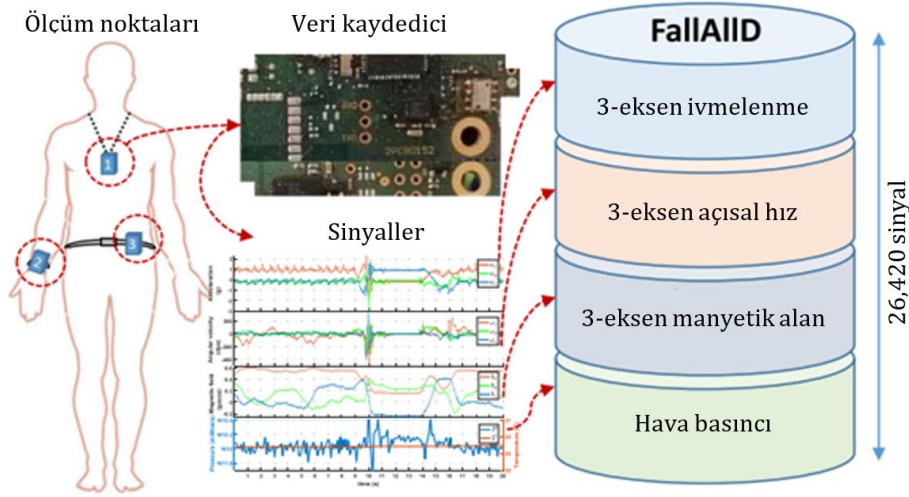
3. Materyal ve Yöntem

Bu bölümde kullanılan veri seti, ön işleme adımları ve anomali tespit yöntemi açıklanacaktır.

3.1 Veri seti

Düşme tespiti probleminde kullanılabilen halka açık birçok veri seti vardır. Bu veri setlerinde kullanılan sensörler, ölçüm noktaları, denek sayısı, günlük aktivite ve düşme tipi sayıları farklılık göstermektedir. Bu çalışmada kullanılan FallAIID veri seti, şu ana kadar geliştirilen en kapsamlı veri setidir. 35 tip düşme simülasyonuna ve 44 tip günlük aktiviteye karşılık gelen sinyalleri

barındırmaktadır. Veri seti, 15 denek ile bel, boyun ve bilekten ivmeölçer, jiroskop, barometre ve manyetometre ile alınan 20 saniyelik sinyaller ile oluşturulmuştur (Şekil 1). Günlük aktiviteler yürüme gibi düşmeden kolayca ayırt edilebilen periyodik hareketleri kapsadığı gibi çömelme, yatağa uzanma gibi düşmeye benzeyen geçici hareketleri de kapsamaktadır. Bununla birlikte denekler, alışık olmadıkları günlük aktiviteleri gerçekleştirmemiş ve rahat hissetmedikleri ölçüm noktalarını kabul etmemiştir. Bu sebeple deneklerin kullandığı cihazlar, ölçüm noktaları ve tercih ettiği düşme günlük aktivite tipleri farklılık arz etmektedir. Bu veri toplama prosedürleri, düşme tespit sisteminin performansının güvenilirliğini artırmaktadır.



Şekil 1. FallAIID ölçüm noktaları, ölçüm cihazı ve sinyaller ([13]'den alınarak düzenlenmiştir).

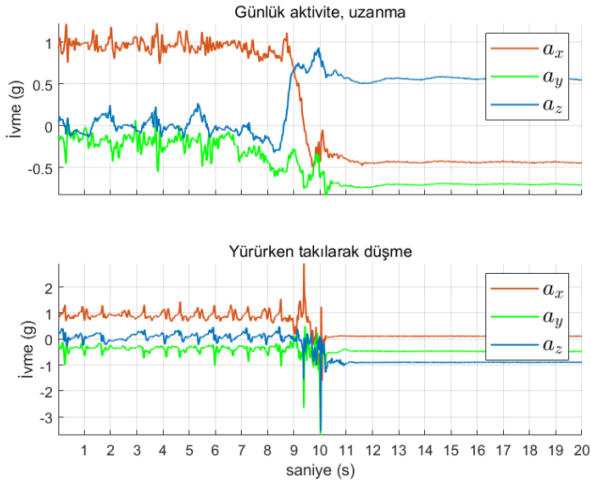
Ekteki Tablo 5'de günlük aktiviteler ve düşme tipleri gösterilmiştir. Günlük aktiviteler veri setini oluşturan araştırmacılar tarafından periyodik, kısmen periyodik ve geçici tip olarak sınıflandırılmıştır. Tabloda belden alınan ivme ölçer sinyallerinin karşılık geldiği günlük aktiviteler (35 tip) ve ayağa kalkma gibi geçici günlük aktiviteler (10 tip) işaretlenmiştir.

3.2 Ön-işleme ve öznetelikler

Farklı sensör tiplerinin eş zamanlı kullanılması ile daha başarılı düşme tespit sistemleri geliştirilmesine rağmen, az güç tüketimi sayesinde ivmeölçer kullanılabilirlik hususunda avantaj sağlamaktadır. Bireyin cihazı yatak, banyo gibi her ortamda kullanması arzu edildiğinde, veri toplama noktası için bilek ön plana çıkmaktadır. Ancak bileğin daha hareketli bir bölge olması sinyaldeki gürültü ve istenmeyen bileşenlerin artmasına sebep olmakta düşmenin tespitini zorlaştırmaktadır. Bu

durumlar göz önüne alınarak çalışmada düşme tespiti için belden toplanan 3-eksen ivmeölçer sinyalleri tercih edilmiştir. Şekil 2'de uzanma ve yürürken takılarak düşme olayları esnasında elde edilen 3-eksen ivmeölçer sinyalleri (a_x, a_y, a_z) gösterilmiştir.

3-eksen ivmeölçer tarafından üretilen sinyaller vücut hareketi bileşenleriyle beraber yerçekimi ivmesinin sebep olduğu bileşenlere de sahip olduğu için, yerçekimi ivmesinin sebep olduğu bileşenlerin sadece düşük frekansa sahip olduğu varsayılarak, 0,3 Hz. yüksek geçiren FIR filtre ile yerçekimi ivmesi bileşenleri süzülmüştür.



Şekil 2. Günlük aktivite ve düşme ile elde edilen 3-eksen ivmeölçer sinyalleri.

Günlük aktivite ve düşmeleri temsil eden öznitelikler için, düşme tespitinde sıklıkla tercih edilen, sinyalin zaman bölgesi ve enerji dağılımı özelliklerinden faydalanılmıştır [5], [7]. İvmeölçerin ürettiği her bir sinyalden Tablo 1'de görülen öznitelikler elde edilmiştir. Böylece düşme tespiti için 33 adet öznitelik hesaplanmıştır.

Tablo 1. Düşme tespitinde kullanılan öznitelikler

a_x, a_y, a_z 'nin ortalama değerleri (mean)
a_x, a_y, a_z 'nin ortanca değerleri (median)
a_x, a_y, a_z 'nin en büyük değerleri (max)
a_x, a_y, a_z 'nin standart sapmaları (std)
a_x, a_y, a_z 'nin aralığı (range)
a_x, a_y, a_z 'nin ortalama sapmaları (mad)
a_x, a_y, a_z 'nin basıklık değerleri (kurtosis)
a_x, a_y, a_z 'nin çarpıklık değerleri (skewness)
a_x, a_y, a_z 'nin spektral entropi değerleri
a_x, a_y, a_z 'nin enerjileri (tde)
a_x, a_y, a_z 'nin genlik alanı değerleri (sma)

3.3. Gauss karışım modeli ve anomali tespiti

Karışım modeli, alt kümelerden oluşan genel bir topluluğu ifade eden istatistiksel bir modeldir. Bu alt kümelerdeki gözlemlerin olasılık dağılımı normal dağılım olduğunda model Gauss karışım modeli adını alır [27]. K adet alt kümeye sahip tek boyutlu GMM denklem 1'de verilmiştir.

$$p(x) = \sum_{i=1}^K \phi_i N(x|\mu_i, \sigma_i) \quad (1)$$

$$N(x|\mu_i, \sigma_i) = \frac{1}{\sigma_i \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu_i)^2}{2\sigma_i^2}}, \quad \sum_{i=1}^K \phi_i = 1$$

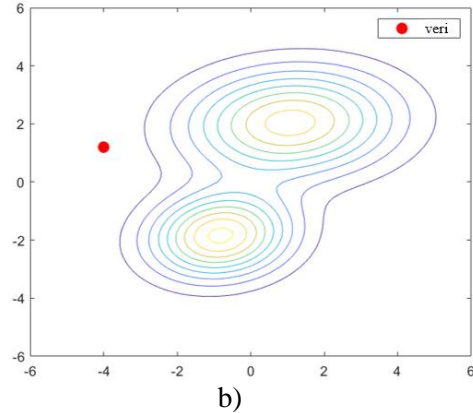
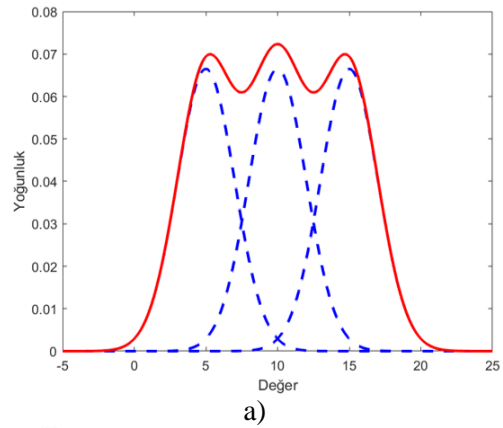
Burada N , x gözleminin alt kümelerine ait olasılık değeri, ϕ_i , μ_i , σ_i sırasıyla i . alt kümenin ağırlığı, ortalaması ve varyansdır. 3a'da 3 alt kümeye ait tek boyutlu karışım modelinin dağılımı görülmektedir. K adet alt kümeye sahip çok boyutlu GMM ise denklem 2 ile ifade edilir.

$$p(x) = \sum_{i=1}^K \phi_i N(x|\mu_i, \Sigma_i)$$

$$N(x|\mu_i, \Sigma_i) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^K |\Sigma_i|}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (x-\mu_i)}, \quad (2)$$

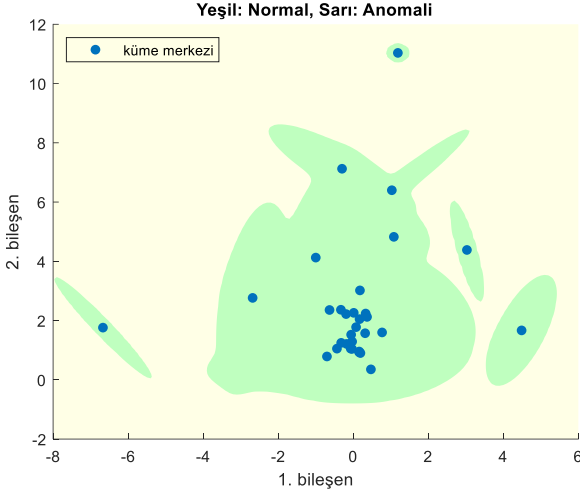
$$\sum_{i=1}^K \phi_i = 1$$

Burada μ_i ortalama vektörünü, Σ_i kovaryans matrisini ve ϕ_i küme ağırlığını ifade etmektedir. Topluluktaki gözlemlerin beklenen değerini en yüksek yapan alt küme parametrelerinin (ortalama, kovaryans ve ağırlık değerleri) hesaplanmasında beklenti maksimizasyonu (Expectation-maximization) algoritması tercih edilmektedir. Böylece denetimsiz olarak GMM oluşturulmuş, değer vektörleri K adet kümeye paylaştırılmış olur.



Şekil 3. Tek boyutlu GMM'nin dağılımı. Mavi ile alt kümelerin ağırlıklandırılmış ($\phi_1 = \phi_2 = \phi_3 = 1/3$) dağılımı, kırmızı ile karışım modelinin dağılımı gösterilmiştir. b) İki adet alt kümeye sahip 2 boyutlu GMM.

Bir anomali, nadir rastlanan, alışılmış olandan farklı verilerdir. Elde edilen GMM'ye göre, test edilen verinin olasılığı çok düşük, bu veri ile karşılaşılma ihtimali zayıf olduğunda bu veri anomali olarak kabul edilir. 3b' de 2 adet alt kümeye sahip 2 boyutlu GMM ve anomali olarak kabul edilebilecek bir veri görünmektedir.



Şekil 4. İki bileşenli GMM ile anomali tespiti yaklaşımı.

Bu çalışmada GMM ile düşme tespiti gerçekleştirilebilmek için, K adet alt kümeye sahip, elde edilen özneliklerin adedi olan 33 boyutlu model üretilmiştir. Burada alt küme sayısı K , Bulgular bölümünde bahsedilecek olan günlük aktivite tipi sayısıdır. Model, test aşamasında karşılaştığı olayların, her bir alt kümeye dahil olma olasılığını hesaplar. Alt kümelere dahil olabilmesi için gereken eşik değere ulaşamayan olaylar anomali, dolayısıyla düşme kabul edilmiştir. Bu eşik değeri, modelin oluşturulması esnasında eğitim verilerinin %1'i anomali olduğu farz edilerek belirlenmiştir. Düşme tespit yaklaşımını görselleştirmek için Şekil 'te, yalnız iki bileşen ile elde edilen modelin anomali sınırları ve küme merkezleri sunulmuştur. Test edilen bir veri, sarı bölgeye düştüğünde veri anomali olarak kabul edilmektedir.

3.4. Değerlendirme kriteri

Düşme tespiti sistemlerinin performansı doğruluk, duyarlılık ve özgüllük ve doğruluk kriterleri ile değerlendirilebilir

$$Duyarlılık = \frac{DP}{DP + YN} \quad (3)$$

$$Özgüllük = \frac{DN}{DN + YP} \quad (4)$$

$$Doğruluk = \frac{Duyarlılık}{2} + \frac{Özgüllük}{2} \quad (5)$$

Burada; DP düşmenin tespit edilebilmesini, YN düşmenin tespit edilememesini, DN günlük aktivitenin tespit edilebilmesini, YP ise günlük aktivitenin tespit edilememesini ifade eder. Bu durumda duyarlılık kriteri, düşmelerin ne kadar doğru tespit edilebildiğini vurgularken özgüllük ise sistemin günlük aktivite tespitindeki başarısı ile; farklı bir ifade ile düşme tespit sisteminin hatalı düşme alarmlarından kaçınması ile ilişkilidir.

Düşme tespiti sistemlerinde günlük aktivite ve düşme verilerinin sayısında dengesizlik olabileceği, karşılaşılan günlük aktivite verileri daha çok olacağı için sistem doğruluğu, duyarlılık ve özgüllük değerlerinden faydalanılarak hesaplanabilir.

4. Bulgular

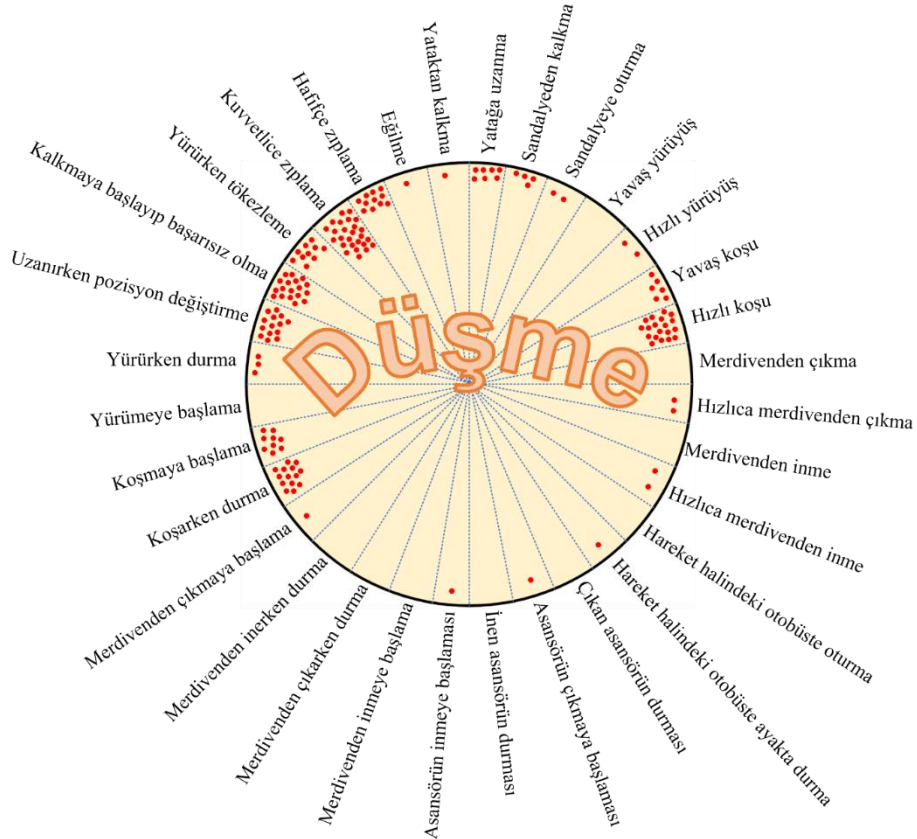
Önerilen yöntemin performansı, tüm tiplerdeki günlük aktivite ve sadece geçici tip günlük aktivite verilerinin kullanıldığı deneyler ile incelenmiştir. Deneylerde birini dışarda bırak çapraz doğrulama (Leave-one-subject-out cross validation) yaklaşımı kullanılmıştır. Bir denek hariç tüm deneklerdeki günlük aktivite verileri ile model eğitilmiş, dışarıda bırakılan denek için günlük aktivite ve düşme verileri ile model test edilmiştir.

Tablo 2. GMM ile tüm günlük aktivite tipleri kullanılan deneylerde elde edilen düşme tespiti sonucu. Tablodaki – simgesi denekte ivmeölçer ile belden alınan günlük aktivite veya düşme verisi olmadığını gösterir.

	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Doğruluk (%)
Denek 1	95,5	100,0	97,7
Denek 2	95,2	82,9	89,0
Denek 3	91,9	100,0	96,0
Denek 4	93,8	–	93,8
Denek 5	84,6	94,1	89,4
Denek 7	80,3	94,0	87,2
Denek 8	88,2	87,5	87,8
Denek 9	91,4	93,5	92,5
Denek 10	90,1	–	90,1
Denek 11	89,9	94,7	92,3
Denek 12	87,2	93,5	90,4
Denek 13	84,2	87,3	85,8
Denek 14	88,9	–	88,9
Denek 15	–	100	100
Ortalama	89	93,6	91,3

Tüm tiplerdeki günlük aktivite verilerinin kullanıldığı deneylerde, 32 alt kümeye sahip GMM eğitilmiştir. Elde edilen test sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur. 14 denek ile yapılan deneylerde (6. deneğe ait belden ivmeölçer verisi

bulunmamaktadır) ortalama %89 duyarlılık, %93,6 özgüllük ve %91,3 doğruluk değerlerine ulaşılmıştır. Şekil ’de ise hangi günlük aktivitelerin ne sıklıkla düşme olarak belirlendiği görülmektedir.



Şekil 5. Hatalı tespit edilen günlük aktiviteler. Burada kırmızı noktalar hatalı tespit edilen günlük aktivitelerin sayısını göstermektedir.

Sadece geçici ti günlük aktivite verilerinin kullanıldığı deneylerde ise GMM 10 adet alt kümeye sahiptir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’de görülmektedir. 14 denek ile yapılan deneylerde ortalama %91,7 duyarlılık, %85,4 özgüllük ve %88,6 doğruluk değerlerine ulaşılmıştır. Yalnızca düşmeyi andıran günlük aktivitelerin kullanılması özgüllük sonuçlarının düşmesine sebep olmuştur. Başka bir deyişle günlük aktivitelerin düşme olarak tespiti, hatalı düşme alarmlarının sayısı artmıştır.

Tablo 3. GMM ile geçici günlük aktivite tipleri kullanılan deneylerde elde edilen düşme tespiti sonucu. Tablodaki – simgesi denekte ivmeölçer ile belden alınan günlük aktivite veya düşme verisi olmadığını gösterir.

	Duyarlılık (%)	Özgüllük (%)	Doğruluk (%)
Denek 1	97,4	96,4	96,9
Denek 2	94,3	63,4	78,9
Denek 3	92,0	91,9	92,0
Denek 4	93,9	–	93,9
Denek 5	95,0	64,7	79,9
Denek 7	78,3	92,5	85,4
Denek 8	92,9	81,3	87,1
Denek 9	94,4	90,3	92,4
Denek 10	98,0	–	98,0
Denek 11	92,9	84,2	88,5
Denek 12	88,3	96,8	92,6
Denek 13	90,1	73,0	81,6
Denek 14	91,7	–	91,7
Denek 15	–	95,3	95,3
Ortalama	91,7	85,4	88,6

5. Tartışma

Deneysel sonuçlarda görüldüğü gibi GMM ile düşmeler %91 civarında doğru olarak tespit edilmiştir. Tablo 4’de elde edilen sonuç ile literatürdeki FallAİD veri setinde denetimli öğrenme ile elde edilen sonuçlar görülmektedir. Önerilen metot ile denetimli öğrenme temelli düşme tespit sonuçlarına benzer tespit doğruluğu elde edilmiştir. Yalnız günlük aktivite verileri kullanılarak eğitilen model ile elde edilen sonuçların, düşme ve günlük aktivite verileri ile eğitilen modele yakın sonuçlar vermesi, düşme tespiti için yalnız günlük aktivite verilerinin yeterli olduğu yaklaşımını desteklemektedir [7]. Düşme tespit sistemlerinin geliştirilmesinde yalnız günlük aktivite verilerinin kullanımı, yapay veya gerçek düşme verilerine ihtiyaç bırakmamakta, veri toplama adımını kolaylaştırmaktadır. Günlük aktivite verilerinin yeterliliği; “her ne kadar günlük aktiviteler sonucu ortaya çıkacak veriler, bireyler arasında çok değişiklik gösterecek olsa bile, bireylerdeki sıklıkla gerçekleştirilen aktivitelerin aynı/benzer olması sebebiyle, günlük aktivitelerden elde edilen veriler düşmelere kıyasla daha düzenli bir yapı sergiler” yaklaşımı ile açıklanabilir.

Tablo 4. FallAİD veri setinde önerilen yöntem ile denetimli öğrenme yöntemlerinin karşılaştırılması.

	Metot	Doğruluk
Önerilen	GMM	%91,3
Majd Saleh [13]	SVM	%85,9
Majd Saleh [13]	Derin Evrimsel NN	%93,1
Majd Saleh [13]	KNN	%89,7

Bu çalışmada, önerilen metot, her tipten günlük aktiviteler ile değerlendirilmesinin yanısıra yalnızca geçici tip günlük aktiviteler ile de değerlendirilmiştir. Bireylerin gerçekleştirdiği birçok günlük aktivite periyodik yapıdadır veya periyodik kısımlar içermektedir. Yürüme, merdiven çıkma, el sallama vb. gibi hareketler periyodik hareketlerdir. Ancak bireyin düşmesi ise anlık ortaya çıkan bir olaydır. Dolayısıyla periyodik günlük hareketler kolaylıkla düşme olayından ayırt edilebilirken geçici günlük aktiviteler ise düşme ile karışabilmektedir. Şekil ve Tablo 3’de bu durum açıkça görülmektedir. Bu ve benzeri tipteki olayların doğru tespiti için farklı özneliklerin geliştirilmesi çözüm olabilir.

Bir kısım günlük aktivite ve düşme tiplerinin kolaylıkla tespit edilirken -ki bu kısım gün boyu sıklıkla icra edilen periyodik hareketlerdir- bir kısmının ise sıklıkla hatalı tespit edilmesi, düşme tespit sistemlerinin

performansının tüm günlük aktivite ve düşmeler kullanılarak hesaplanan duyarlılık, özgüllük ve ortalama kriterlerine ek değerlendirme kriterlerine ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Günlük aktivite düşme tiplerinin üzerinde anlaşmaya varılmış bir taksonomisi yoktur, ancak bazı günlük aktivitelerin düşmeye yakın olarak etiketlenmesi ve bazı düşmelerin günlük aktiviteye yakın olarak etiketlenmesi ve bu sınıfların performansının ayrı ayrı hesaplanması genel sistem performansını daha fazla yansıtacaktır.

Düşme tespiti çalışmaları yaklaşık yirmi yıldır devam etmesine ve son yıllarda hız kazanmasına rağmen halen araştırmalara ihtiyaç duyan bir çalışma alanı olarak kabul edilmektedir. Eş zamanlı olarak çeşitli sensörlerin kullanılması, eşikleme ile tespit yöntemlerinin yerini makine öğrenmesi yaklaşımlarına bırakmasına rağmen tatmin edici bir veri seti olmaması düşme tespit probleminin aktifliğinin devam etme sebeplerinden biridir [10]. Tespit sistemlerinin hedef kitlesi yaşlı bireyler olmasına rağmen veri setleri ancak genç bireylerden, düşme senaryoları ile elde edilen verilerden oluşmaktadır. Yaşlı bireylerden gerçek düşme verilerinin elde edilmesi çok zor olması, düşme tespiti için yalnızca günlük aktivite verilerine ihtiyaç duyan anomali tespiti yöntemlerini desteklemektedir. Ayrıca yaşlı bireylerin günlük aktiviteleri yavaş, düşmenin ise kinematikleri tamamen farklı, ani ve hızlı bir eylem olması, düşmenin yaşlılarda anomali yaklaşımı ile tespitini kolaylaştıracağı öngörülebilir.

6. Sonuç

Bu çalışmada denetimsiz anomali yaklaşımı ile düşme tespiti için GMM temelli bir yöntem önerilmiş ve yöntem en kapsamlı veri seti FallAİD üzerinde test edilmiş ve sonuçlar literatürdeki denetimli öğrenme yöntemleri ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak, anomali yaklaşımı, düşme tespiti problemi için umut verici bir çözüm sunmaktadır. Farklı anomali tespit yöntemlerinin aynı ve geniş bir veri setinde incelenerek probleme uygun yöntem belirlenebilir. Ayrıca düşme ve günlük aktivite arasındaki farkları daha iyi betimleyen özneliklerin tanımlanması anomali yaklaşımının başarısını artıracaktır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı



Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

References

- [1] World Health Organization, “Falls.” [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>. [Accessed: 12-Jun-2021].
- [2] R. Rajagopalan, I. Litvan, and T. P. Jung, “Fall prediction and prevention systems: Recent trends, challenges, and future research directions,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 11, p. 2509, Nov. 2017.
- [3] United Nations, “World Population Ageing 2019.” [Online]. Available: <https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/ageing/WorldPopulationAgeing2019-Highlights.pdf>. [Accessed: 13-Jun-2021].
- [4] Türkiye İstatistik Kurumu, “İstatistiklerle Yaşlılar, 2020.” [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=İstatistiklerle-Yaşlılar-2020-37227>. [Accessed: 13-Jun-2021].
- [5] K.-C. Liu, C.-Y. Hsieh, H.-Y. Huang, S. J.-P. Hsu, and C.-T. Chan, “An Analysis of Segmentation Approaches and Window Sizes in Wearable-Based Critical Fall Detection Systems With Machine Learning Models,” *IEEE Sens. J.*, vol. 20, no. 6, pp. 3303–3313, Mar. 2020.
- [6] O. Kerdjidi, N. Ramzan, K. Ghanem, A. Amira, and F. Chouireb, “Fall detection and human activity classification using wearable sensors and compressed sensing,” *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, vol. 11, no. 1, pp. 349–361, 2020.
- [7] Y.-H. Nho, J. G. Lim, and D.-S. Kwon, “Cluster-Analysis-Based User-Adaptive Fall Detection Using Fusion of Heart Rate Sensor and Accelerometer in a Wearable Device,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 40389–40401, 2020.
- [8] M. Saleh and R. L. B. Jeannes, “Elderly Fall Detection Using Wearable Sensors: A Low Cost Highly Accurate Algorithm,” *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 8, pp. 3156–3164, 2019.
- [9] C. Wang *et al.*, “Low-Power Fall Detector Using Triaxial Accelerometry and Barometric Pressure Sensing,” *IEEE Trans. Ind. Informatics*, vol. 12, no. 6, pp. 2302–2311, 2016.
- [10] X. Wang, J. Ellul, and G. Azzopardi, “Elderly Fall Detection Systems: A Literature Survey,” *Front. Robot. AI*, vol. 7, Jun. 2020.
- [11] Y. M. Galvao, L. Portela, J. Ferreira, P. Barros, O. A. De Araujo Fagundes, and B. J. T. Fernandes, “A Framework for Anomaly Identification Applied on Fall Detection,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 77264–77274, 2021.
- [12] J. Nogas, S. S. Khan, and A. Mihailidis, “DeepFall: Non-Invasive Fall Detection with Deep Spatio-Temporal Convolutional Autoencoders,” *J. Healthc. Informatics Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 50–70, 2020.
- [13] M. Saleh, M. Abbas, and R. B. Le Jeannes, “FallAllD: An Open Dataset of Human Falls and Activities of Daily Living for Classical and Deep Learning Applications,” *IEEE Sens. J.*, vol. 21, no. 2, pp. 1849–1858, Jan. 2021.
- [14] G. Vavoulas, C. Chatzaki, T. Malliotakis, M. Padiaditis, and M. Tsiknakis, “The MobiAct dataset: Recognition of activities of daily living using smartphones,” *ICT4AWE 2016 - 2nd Int. Conf. Inf. Commun. Technol. Ageing Well e-Health, Proc.*, pp. 143–151, 2016.
- [15] A. Sucerquia, J. D. López, and J. F. Vargas-Bonilla, “SisFall: A fall and movement dataset,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 1, 2017.
- [16] A. T. Özdemir, “An analysis on sensor locations of the human body for wearable fall detection devices: Principles and practice,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 16, no. 8, 2016.
- [17] E. Casilari, J. A. Santoyo-Ramón, and J. M. Cano-García, “UMAFall: A Multisensor Dataset for the Research on Automatic Fall Detection,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 110, pp. 32–39, 2017.
- [18] S. Usmani, A. Saboor, M. Haris, M. A. Khan, and H. Park, “Latest Research Trends in Fall Detection and Prevention Using Machine Learning: A Systematic Review,” *Sensors*, vol. 21, no. 15, p. 5134, Jul. 2021.
- [19] W. Xiong *et al.*, “Accurate Fall Detection Algorithm Based on SBPSO-SVM Classifier,” *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 83–86, 2018.
- [20] F. Hussain, F. Hussain, M. Ehatisham-Ul-Haq, and M. A. Azam, “Activity-Aware Fall Detection and Recognition Based on Wearable Sensors,” *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 12, pp. 4528–4536, 2019.
- [21] E. Casilari-Pérez and F. García-Lagos, “A comprehensive study on the use of artificial neural networks in wearable fall detection systems,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 138, 2019.
- [22] X. Wu, Y. Zheng, C.-H. Chu, L. Cheng, and J. Kim, “Applying deep learning technology for automatic fall detection using mobile sensors,” *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 72, p. 103355, Feb. 2022.

- [23] M. M. Islam *et al.*, “Deep Learning Based Systems Developed for Fall Detection: A Review,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 166117–166137, 2020.
- [24] S. S. Khan and B. Taati, “Detecting unseen falls from wearable devices using channel-wise ensemble of autoencoders,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 87, pp. 280–290, 2017.
- [25] S. Zhao, W. Li, and J. Cao, “A user-adaptive algorithm for activity recognition based on K-means clustering, local outlier factor, and multivariate gaussian distribution,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 6, 2018.
- [26] J. A. Santoyo-Ramón, E. Casilari, and J. M. Cano-García, “A study of one-class classification algorithms for wearable fall sensors,” *Biosensors*, vol. 11, no. 8, 2021.
- [27] L. Li, R. J. Hansman, R. Palacios, and R. Welsch, “Anomaly detection via a Gaussian Mixture Model for flight operation and safety monitoring,” *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 64, pp. 45–57, Mar. 2016.
- [28] L. Chen, R. Li, H. Zhang, L. Tian, and N. Chen, “Intelligent fall detection method based on accelerometer data from a wrist-worn smart watch,” *Measurement*, vol. 140, pp. 215–226, Jul. 2019.

EK**Tablo 5.** FallAID veri setindeki günlük aktivite ve düşme tipleri. Belden alınan verilerin karşılık geldiği günlük aktiviteler ^b işareti ile gösterilmiştir. Geçici tip günlük aktiviteler italik yazılmıştır.

Günlük aktivite tipleri		Düşme tipleri				
						
		Düşme öncesi eylem	Düşme sebebi	Düşme yönü	Dönerek düşme	Düşme sonrası kalkma
^b Yavaş yürüyüş	<i>Tek sefer alkışlama</i>	Yürüyüş	Takılma	İleri	Hayır	Hayır
^b Hızlı yürüyüş	<i>El kaldırma</i>	Yürüyüş	Takılma	İleri	Hayır	Evet
^b Yavaş koşu	<i>El idirme</i>	Yürüyüş	Kayma	İleri	Hayır	Hayır
^b Hızlı koşu	<i>Elini kaldırıp hemen indirme</i>	Yürüyüş	Kayma	İleri	Hayır	Evet
^b Yavaşça merdivenden çıkma	<i>Masaya el ile vurma</i>	Yürüyüş	Kayma	İleri	Evet	Hayır
^b Hızlıca merdivenden çıkma	^b Yürürken durma	Yürüyüş	Kayma	İleri	Evet	Evet
^b Yavaşça merdivenden inme	^b Yürümeye başlama	Yürüyüş	Kayma	Geri	Hayır	Hayır
^b Hızlıca merdivenden inme	^b Koşmaya başlama	Yürüyüş	Kayma	Geri	Hayır	Evet
Alkışlama	^b Koşarken durma	Yürüyüş	Kayma	Geri	Evet	Hayır
El sallama	Alkışlamaya başlama	Yürüyüş	Kayma	Geri	Evet	Evet
El sıkışma	Alkışlarken durma	Yürüyüş	Baygınlık	Geri	Hayır	Hayır
^b Sandalyeye oturma	El sallamaya başlama	Yürüyüş	Baygınlık	Geri	Hayır	Hayır
^b Sandalyeden kalkma	El sallarken durma	Yürüyüş	Baygınlık	Yana	Hayır	Hayır
^b Kalkmaya başlayıp başarısız olma	^b Merdivenden çıkmaya başlama	Yürüyüş	Baygınlık	İleri	Hayır	Hayır
^b Yatağa uzanma	^b Merdivenden çıkarken durma	Oturma/yatma girişimi	Denge kaybı	İleri	Hayır	Hayır
^b Yataktan kalkma	^b Merdivenden inmeye başlama	Oturma/yatma girişimi	Denge kaybı	İleri	Hayır	Evet
^b Uzanırken pozisyon değiştirme	^b Merdivenden inerken durma	Oturma/yatma girişimi	Denge kaybı	Geri	Hayır	Hayır
^b Yürürken tökezleme	^b Asansörün inmeye başlaması	Oturma/yatma girişimi	Denge kaybı	Geri	Hayır	Evet
^b Haşifçe zıplama	^b İnen asansörün durması	Oturma/yatma girişimi	Denge kaybı	Yana	Hayır	Hayır
^b Kuvvetlice zıplama	^b Asansörün çıkmaya başlaması	Oturma/yatma girişimi	Denge kaybı	Yana	Hayır	Evet
^b Eğilme	^b Çıkan asansörün durması	Koşu	Takılma	İleri	Hayır	Hayır
^b Hareket halindeki otobüste oturma	^b Hareket halindeki otobüste ayakta durma	Koşu	Takılma	İleri	Hayır	Evet
		Koşu	Kayma	İleri	Hayır	Hayır
		Koşu	Kayma	İleri	Hayır	Evet
		Koşu	Kayma	İleri	Evet	Hayır
		Koşu	Kayma	İleri	Evet	Evet
		Yatış	Yatarken dönme	Yana	Hayır	Hayır
		Yatış	Yatarken dönme	Yana	Hayır	Evet
		Sandalyede oturuş	Baygınlık	İleri	Hayır	Hayır
		Sandalyede oturuş	Baygınlık	Geri	Hayır	Hayır
		Sandalyede oturuş	Baygınlık	Yana	Hayır	Hayır
		Ayakta bekleyiş	Baygınlık	İleri	Hayır	Hayır
		Ayakta bekleyiş	Baygınlık	Geri	Hayır	Hayır
		Ayakta bekleyiş	Baygınlık	Yana	Hayır	Hayır
		Ayakta bekleyiş	Baygınlık	Dik	Hayır	Hayır

Hydrogen Production from Sawdust Pyrolysis Catalysed by TiO₂ Impregnated Al₂O₃ Nanoparticles

Songül KASKUN ERGANİ^{1*}

¹Department of Environmental Engineering, Engineering Faculty, Karabuk University, 78050 Karabuk/Turkey

(ORCID: [0000-0002-2760-2218](https://orcid.org/0000-0002-2760-2218))



Keywords: Hydrogen production, TiO₂/Al₂O₃ nanoparticles, Catalytic pyrolysis, Wood sawdust, Biomass.

Abstract

In the present study, the hydrogen production of wood sawdust pyrolysis catalysed by TiO₂ impregnated Al₂O₃ (TiO₂/Al₂O₃) was investigated under temperatures of 600, 700 and 800 °C. The catalyst preparation was made by wet impregnation method for enhanced hydrogen-rich gas production from catalytic pyrolysis of sawdust. Characterization and morphology of TiO₂ doped Al₂O₃ nanoparticles were performed using X-ray diffraction (XRD), Scanning Electron Microscopy (SEM) and the gas product was analysed by gas chromatography. The presented TiO₂ doped Al₂O₃ catalyst showed the highest H₂ yield in sawdust pyrolysis as 17.04 mol/kg, and gas productivity 0.72 Nm³/kg biomass at temperatures of 800 °C. Furthermore, the carbon conversion rate of the sawdust pyrolysis was detected as 53.6% with the TiO₂ doped Al₂O₃ catalyst. It was observed that TiO₂ doped Al₂O₃ nanoparticles supplementation approximately 50% increased the hydrogen production of sawdust pyrolysis, compared to non-catalytic experiment of sawdust pyrolysis.

1. Introduction

The growing use of fossil fuels resulting in global warming and environmental pollution have made it necessary to use more alternative and renewable energy sources. Hydrogen energy is known the 21st century promising alternative energy resource and can be used in industry, buildings, and transport with huge energy density and zero carbon emissions [1]. Hydrogen can be produced from raw materials including fossil fuels, biomass and water electrolysis in environmentally friendly way for its large scale utilization [2].

Biomass is renewable, and eco-friendly energy resources due to its basic and clean structure. Different type of biomass differs in chemical composition, ash, and moisture content. Recent years, there has been huge interest to degrade biomass by thermo-chemical methods because of their ease of use and

fastness to economically produce hydrogen [3-5].

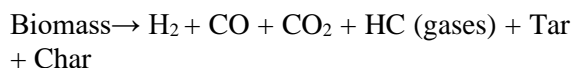
Biomass pyrolysis is a complicated process that numerous chemical reactions occur in the gas and the condensed phase. Bio-oil, bio-crude and CO, CO₂, H₂ and light hydrocarbon gases are produced by the pyrolysis process. Many studies have also been reported to obtain hydrogen with high efficiency from pyrolysis of biomass with catalysts [6-8].

Sol-gel, hydrothermal, chemical vapor deposition, and wet impregnation methods are used to prepare catalysts. The preparation methods of the catalysts and doping catalyst with some nanoparticles are applied to increase the catalytic activity [9]. Catalyst support materials such as titanium dioxide (TiO₂), aluminium oxide (Al₂O₃), silicon dioxide (SiO₂), carbon nanotubes, prevent agglomeration by allowing the catalyst to be easily dispersed on the support material, resulting in increased catalytic activity [10,11]. Increasing the catalytic activity also increases the active site of the catalyst. Furthermore, the active part of the catalyst

*Corresponding author: songulkaskun@karabuk.edu.tr

Received: 20.09.2021, Accepted: 29.12.2021

which is used in hydrogen production allows for higher hydrogen production. Therefore, the development of catalysts used in hydrogen production is of great importance in this field [12]. Pyrolysis of biomass is expressed as following:



Ji et al. depicted the hybrid-functional material Ni-CaO-Ca₂SiO₄ enhanced hydrogen production by sawdust decomposition. They found that 20 wt.% Nickel (Ni) loading generated the most H₂ yield compared to 0, 5, 10, 15, 25, 30 wt. % Ni loading on Ni-CaO-Ca₂SiO₄ catalyst. Also, 20 wt. % Ni loading sample showed the highest BET surface area of 56.948 m²/g. However, all catalyst that they produced with different Ni loading on Ni-CaO-Ca₂SiO₄ catalyst showed decreasing hydrogen production after 15 cycles. Moreover, H₂ gas purity decreased after 15 cycles approximately 25%. In summary of their study, 20 wt.% Nickel (Ni) loading showed 626 mL H₂ yield with 68% H₂ purity under pressure of 1 atm and at room temperature [13].

Liu et al. investigated the catalytic effect of Aluminium (Al) dross on H₂ yield of pine sawdust pyrolysis. In the study, aluminium dross was used as catalyst to pyrolysis of pine sawdust. They showed that, the amount of H₂ produced by pine sawdust pyrolysis increased from 98.97 ml/g to 131.86 ml/g with aluminium dross catalyst [14]. Additionally, it was investigated that aluminium dross makes catalytic transformation of CH₄ to H₂ easy by breaking the covalent bonds in pine.

Yang et al, investigated the H₂ yield of sawdust pyrolysis with the various Iron (Fe) based catalysts. They observed the highest H₂ yield as 217 mL/g biomass with the carbon conversion (η_c) rate of 2.5 using Al deposited Fe catalyst, compared to Mg deposited Fe catalyst and Ca deposited Fe based catalyst. Moreover, Al increased the reducibility of iron, providing more efficient active sites which inducing more catalytic conversions during biomass pyrolysis [15].

Zhao et al. studied the influence of Na₂ZrO₃, Li₄SiO₄, and Li₂ZrO₃ as bifunctional catalyst to enhance hydrogen production during biomass pyrolysis. They pointed out that the highest H₂ yield was observed with Li₄SiO₄ catalyst as 15.85 mmol/g and the lowest H₂ yield

was observed as 8.87 mmol/g while the H₂ yield was detected as 5.73 mmol/g without catalyst. Also, it was depicted that the conversion of carbon dioxide (CO₂) and coke into carbon monoxide (CO) supported by potassium, sodium, and lithium (K, Na, and Li) catalysts at temperatures below 750 °C [16].

In summary, hydrogen is the most important energy carrier and biomass-derived hydrogen has attracted many researchers to reduce fossil fuel consumption [17-19]. However, there is still room for further investigation on hydrogen production efficiency of sawdust pyrolysis with catalysts. This study is proposed to investigate the influence of the TiO₂ impregnated Al₂O₃ (TiO₂/Al₂O₃) catalyst on hydrogen production of sawdust pyrolysis under temperatures of 600, 700 and 800 °C. The TiO₂ impregnated Al₂O₃ catalyst shows a good catalytic activity in the pyrolysis process of sawdust to produce hydrogen-rich gas under the temperature of 800 °C.

2. Material and Method

The wood sawdust was obtained from Ankara wood pellets, Ankara, Turkey. Before experiments, sawdust was dried at 105 °C for overnight, ground and sieved to mesh size of 0.25 mm.

2.1. Catalyst Preparation

Ti₂(SO₄)₃, H₂SO₄ (99% purity) and Al₂O₃ nanoparticles were provided from Sigma Aldrich. The TiO₂/Al₂O₃ catalyst was prepared by the wet impregnation method. Desired amount of Al₂O₃ was mixed into a saturated solution of Ti(III) sulfate and H₂SO₄ with a magnetic stirrer for 6 h at 70 °C. The pH values of the solution were adjusted to 8-9 with NaOH solution. Then, the nanoparticles were separated from the solution by filtration, washed with distilled water and dried at 105 °C for overnight. The impregnated alumina was calcinated in an air gas stream for 4 h at 750 °C with a heating rate of 1 min⁻¹ in static air. The obtained TiO₂ doped Al₂O₃ catalyst was labelled as TiO₂/Al₂O₃ [20]. The Zeiss Ultra Plus field emission gun scanning electron microscopy (FESEM) and Rigaku Ultima IV X-ray diffraction (XRD) using Cu K α radiation was used to analyse the morphology and characterization of the TiO₂/Al₂O₃ catalyst. Analysis results were consistent with the data in the literature and TiO₂ impregnation on Al₂O₃ nanoparticles was obtained successfully.

2.2. Pyrolysis Experiment

The sawdust pyrolysis catalysed by $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ nanoparticles was performed in a fixed-bed pyrolysis tube furnace. The schematic representation of pyrolysis system was shown in Figure 1. The pyrolysis reactor system consists of reactor, tube furnace, liquid-gas phase separator, liquid product container, particle trap filter, moisture trap filter, thermo-couple, nitrogen tube, power supply, controller and Tedlar™ bag. The reactor, which was made of stainless steel, with dimensions of 6 cm diameter and 20 cm height was used.

In the pyrolysis experiment, a high temperature tube furnace was performed at the

pyrolysis temperature of 600 °C, 700 °C, 800 °C. The temperature of tube furnace was measured by K-type thermocouple. 10 gr amount of sample was put the reactor at the inception of the pyrolysis. While the amount of sawdust declined, the gas increased gradually which was collected by Tedlar™ gas sample bag. When the pyrolysis process of sawdust with the catalyst was completed, the tube furnace cooled down to room temperature. The Tedlar™ gas sample bag was analysed by gas chromatography (GC). In pyrolysis experiment, nitrogen was used as carrier gas (99.99% purity) at a flow rate of 50 mL/min.

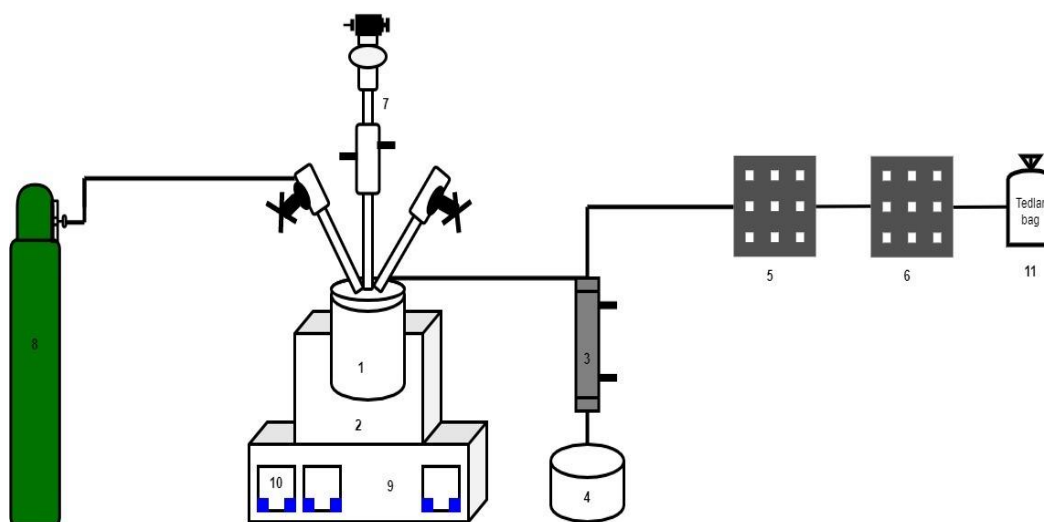


Figure 1. Schematic representation of the pyrolysis system 1- Reactor, 2- Tube furnace, 3-Liquid-gas phase separator, 4-Liquid product container, 5- Particle trap filter, 6-Moisture trap filter, 7-Thermo-couple, 8-Nitrogen tube, 9-Power supply, 10-Controller 11- Tedlar™ Bag

Tedlar™ Bag was used to collect non-condensed gases approximately 30 min to make sure the reaction completed. All experiments were repeated 3 times to ensure the reliability of the results. The obtained catalyst was mixed with sawdust in constant mass ratio 1:2, and the mixed complex was decomposed at a ramping rate of 50 °C min⁻¹ to 800 °C under the nitrogen at 50 ml min⁻¹. It was revealed that the volume of hydrogen produced by the pyrolysis of sawdust is increasing by increasing the temperature to 800 °C degree [21].

3. Results and Discussion

3.1. Morphology Characterization of TiO_2 Impregnated Al_2O_3 Catalyst

The morphology and the characterization of the present $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalyst were investigated by SEM and XRD analyses. The SEM images of the synthesized catalyst is shown in Figure 2 with varied sizes. It is clearly seen from the SEM images that TiO_2 nanoparticles impregnation on Al_2O_3 was well dispersed. The nanoparticles have higher surface area and smaller particle size. Also, the anatase phase was revealed because of the spherical shape of TiO_2 nanoparticles on Al_2O_3 nanoparticles.

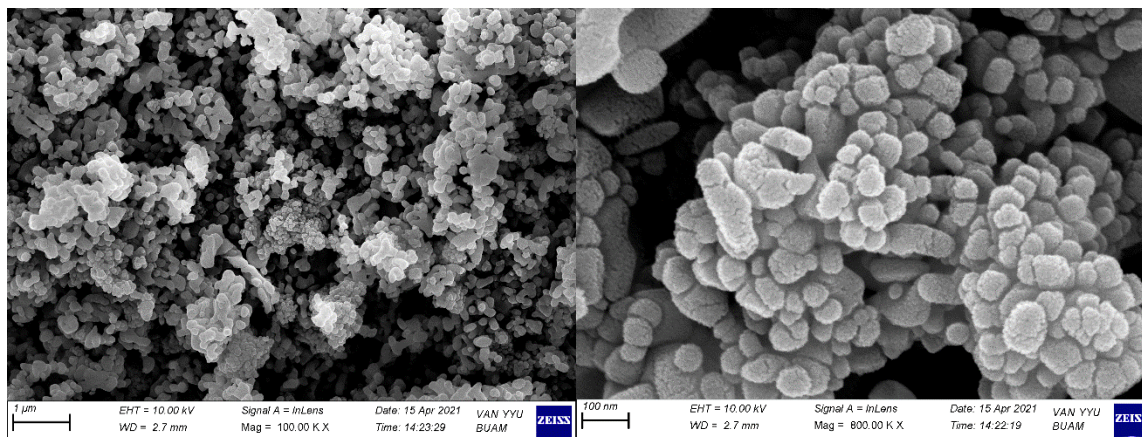


Figure 2. The SEM images of $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalyst

The XRD analysis result of $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ is presented in Figure 3. The strong diffraction peaks at 38.6° , 44.8° , 65.2° can be clearly indexed (311), (400), (440) peak intensity ratios from Al_2O_3 [Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS)] [22]. No characteristic peaks were observed for rutile phase and no peaks of impurities were detected. The diffraction peaks of XRD pattern corresponding to (311) is in good

agreement with the standard XRD peaks of TiO_2 (JCPDS Card No. 040477 [23]). All diffraction peaks were well indexed to purely anatase phase Al_2O_3 according to standard JCPDS card No. 00-010-0425). From the analysis of XRD, it could be finalized that TiO_2 nanoparticles have been efficaciously embedded into Al_2O_3 nanoparticles by wet chemical method.

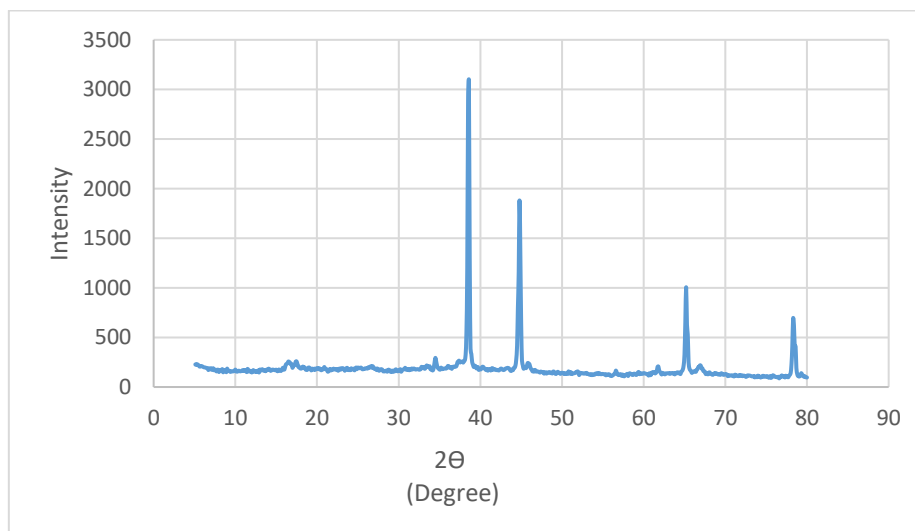


Figure 3. X-Ray Diffraction (XRD) pattern of $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ catalyst

3.2. Catalytic Pyrolysis of Sawdust by TiO_2 Impregnated Al_2O_3 Catalyst

H_2 , CO and N_2 were analysed with Agilent 6890 GC on a Alltech, Hayesep D 80–100 mesh column. Nitrogen was used as carrier gas with a flow rate of 20 ml/min. 40, 100 and 150 °C were set for oven, injector, and detector temperatures, respectively.

Elemental analysis of the sawdust was determined by using elemental analyzer (Leco CHNS-932). Table 1 presents the chemical components of the wood sawdust which consists of 48.7% Carbon, 44.1% Oxygen, 6.9% Hydrogen and 0.3% Nitrogen.

Table 1. Chemical components of the wood sawdust

Carbon (C) %	Hydrogen (H) %	Oxygen (O) %	Nitrogen (N) %
48.7	6.9	44.1	0.3

It is necessary to use a catalyst to increase the hydrogen-rich gas production from sawdust. The catalyst used allows the syngas to form higher amounts and higher purity of hydrogen [24-25]. The main feature of the catalyst to be used is that it has high ability to break C-C and C-O bonds, provides low char and tar formation, and has thermal and mechanical stability. The material of the catalyst support as well as the catalyst material is very important because the catalyst support

material must offer better catalytic activity to prevent coke formation.

Table 2 presents the yields of sawdust pyrolysis at different temperatures without catalyst. In the case of no catalyst, gas yield was low, but tar yield was relatively high. Moreover, the maximum hydrogen yield and the minimum tar yield of sawdust pyrolysis was seen at 800 °C without catalyst. Furthermore, the low pyrolysis temperatures resulting in the low yield of gas and high yield of tar on sawdust pyrolysis.

Table 2. Yields of sawdust pyrolysis at different temperatures without catalyst

Temperature (°C)	Gas Yield (Nm ³ /kg biomass)	Tar yield (g/Nm ³)	H ₂ yield (mol H ₂ /kg biomass)	η _c (%)
600 °C	0.26	24.62	5.12	30.4
700 °C	0.31	21.31	5.31	34.8
800 °C	0.37	19.71	5.79	41.2

The influence of TiO₂/Al₂O₃ catalyst on sawdust pyrolysis at different temperatures is shown in Table 3. It was seen that the presented catalyst drastically enhanced the gas yield of sawdust pyrolysis at different temperatures. Contrary to the increase in gas yield, tar yield decreased from 0.27 to 0.21 (g/Nm³). Moreover, there was a significant increase in H₂ yield from

11.54 mol H₂/kg biomass at 600 °C to 17.04 mol H₂/kg biomass at 800 °C. This is due to the high surface area of Al₂O₃, which is the catalyst support, and its ability to bind more effectively to the active sites in biomass. Additionally, the carbon conversion rate was enhanced from 43.8% to 53.6% by increasing the temperature from 600 to 800 °C.

Table 3. Yields of sawdust pyrolysis at different temperatures with TiO₂/Al₂O₃ catalyst

Temperature (°C)	Gas Yield (Nm ³ /kg biomass)	Tar yield (g/Nm ³)	H ₂ yield (mol H ₂ /kg biomass)	η _c (%)
600 °C	0.59	0.27	11.54	43.8
700 °C	0.69	0.23	15.03	48.1
800 °C	0.72	0.21	17.04	53.6

The maximum difference between hydrogen yield and tar yield was observed in sawdust pyrolysis at 800 °C with and without the catalyst. The maximum H₂ yield of sawdust pyrolysis was observed to be 17.04 mol H₂/kg biomass with catalyst and 5.79 mol H₂/kg biomass without catalyst at 800 °C. Also, the presented catalyst decreased very significantly the tar yield compared to without catalyst from 19.71 to 0.21 g/Nm³ at 800 °C.

The CO amount was drastically inhibited with the TiO₂/Al₂O₃ catalyst, as the amount of hydrogen significantly increased. This situation may be occurred the secondary cracking of covalent bonds to produce hydrogen [26]. In one

step process catalytic pyrolysis, water-gas-shift reaction doesn't take place easily because no water is added to reactor. The appearance of a beneficial H₂/CO ratio, although no water is added as an extra hydrogen source to the pyrolysis, indicates a Fischer Tropsch or methanol process [27].

According to the results of this experimental study, TiO₂/Al₂O₃ catalyst obviously influence hydrogen-rich gas production in sawdust pyrolysis at temperatures of 600, 700 and 800 °C. Hence, the maximum hydrogen yield was measured as 17.04 mol H₂/kg biomass on sawdust pyrolysis with TiO₂/Al₂O₃ catalyst at 800 °C. This finding was confirmed by repeated experiments.

4. Conclusions

TiO₂ nanoparticles are homogeneously doped to Al₂O₃ supporting powder by wet impregnation method and was used for catalytic biomass pyrolysis in this study. It was observed that TiO₂/Al₂O₃ catalyst supplementation to sawdust pyrolysis drastically enhanced the hydrogen production in gas mixture. The structure of the presented catalysts induced catalytic cracking of covalent bonds in sawdust to release more hydrogen gases. The highest H₂ yield 17.04 mol/kg biomass and the highest gas productivity of 0.72 Nm³/kg biomass were obtained with the presented TiO₂/Al₂O₃ catalyst at pyrolysis temperature of 800 °C. It was also revealed that, the higher temperatures make lower char yield, higher catalytic performance as well as hydrogen rich gas production on sawdust pyrolysis. Whereas carbon conversion rate of sawdust pyrolysis was observed as 41.2% without catalyst, it was significantly

increased to 53.6% with the presented catalyst at 800 °C. Therefore, the maximum hydrogen production was obtained in the presence of the TiO₂/Al₂O₃ catalyst in sawdust pyrolysis under the temperature of 800 °C. For future studies, the TiO₂/Al₂O₃ catalyst can be further developed for applications on hydrogen production of sawdust pyrolysis.

Acknowledgements

This research was fully supported by Karabuk University within the scope of Scientific Research Projects under the project number of FOA-2020-2316.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] J. A. Turner, "Sustainable hydrogen production," *Science*, vol. 305, no. 5686, pp. 972–974, 2004.
- [2] S. Kaskun, Y. Akinay, and M. Kayfeci, "Improved hydrogen adsorption of ZnO doped multi-walled carbon nanotubes," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 60, pp. 34949–34955, 2020.
- [3] Z.-X. Zhang, K. Li, S.-W. Ma, M.-S. Cui, Q. Lu, and Y.-P. Yang, "Fast pyrolysis of biomass catalyzed by magnetic solid base catalyst in a hydrogen atmosphere for selective production of phenol," *Ind. Crops Prod.*, vol. 137, pp. 495–500, 2019.
- [4] M. Besson, P. Gallezot, and C. Pinel, "Conversion of biomass into chemicals over metal catalysts," *Chem. Rev.*, vol. 114, no. 3, pp. 1827–1870, 2014.
- [5] T. Y. A. Fahmy, Y. Fahmy, F. Mobarak, M. El-Sakhawy, and R. E. Abou-Zeid, "Biomass pyrolysis: past, present, and future," *Environ. Dev. Sustain.*, vol. 22, no. 1, pp. 17–32, 2020.
- [6] G. Wang *et al.*, "A review of recent advances in biomass pyrolysis," *Energy Fuels*, vol. 34, no. 12, pp. 15557–15578, 2020.
- [7] R. C. Saxena, D. Seal, S. Kumar, and H. B. Goyal, "Thermo-chemical routes for hydrogen rich gas from biomass: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 12, no. 7, pp. 1909–1927, 2008.
- [8] Z. Abu El-Rub, E. A. Bramer, and G. Brem, "Experimental comparison of biomass chars with other catalysts for tar reduction," *Fuel (Lond.)*, vol. 87, no. 10–11, pp. 2243–2252, 2008.
- [9] A. Tanksale, J. N. Beltramini, and G. M. Lu, "A review of catalytic hydrogen production processes from biomass," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, no. 1, pp. 166–182, 2010.
- [10] M. S. İzgi, Ö. Şahin, E. Onat, and C. Saka, "Epoxy-activated acrylic particulate polymer-supported Co–Fe–Ru–B catalyst to produce H₂ from hydrolysis of NH₃BH₃," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 43, pp. 22638–22648, 2020.
- [11] M. S. İzgi, O. Baytar, Ö. Şahin, S. Horoz, "Studies on Catalytic Behavior of Co–Cr–B/Al₂O₃ in Hydrogen Generation by Hydrolysis of NaBH₄," *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, vol. 14 no. 4, pp. 1005-1012, 2019.

- [12] M. A. Salam, K. Ahmed, N. Akter, T. Hossain, and B. Abdullah, "A review of hydrogen production via biomass gasification and its prospect in Bangladesh," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 43, no. 32, pp. 14944–14973, 2018.
- [13] G. Ji, X. Xu, H. Yang, X. Zhao, X. He, and M. Zhao, "Enhanced hydrogen production from sawdust decomposition using hybrid-functional Ni-CaO-Ca₂SiO₄ materials," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, no. 19, pp. 11484–11492, 2017.
- [14] P. Liu *et al.*, "Co-pyrolysis of pine sawdust with aluminum dross for immobilization of heavy metal and enhancing hydrogen generation," *Fuel (Lond.)*, vol. 305, no. 121597, p. 121597, 2021.
- [15] S. Yang *et al.*, "Pyrolysis of sawdust with various Fe-based catalysts: Influence of support characteristics on hydrogen-rich gas production," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 137, pp. 29–36, 2019.
- [16] M. Zhao *et al.*, "Alkali metal bifunctional catalyst-sorbents enabled biomass pyrolysis for enhanced hydrogen production," *Renew. Energy*, vol. 148, pp. 168–175, 2020.
- [17] K. Nath, D. Das, "Hydrogen from Biomass," *Current Science*, vol. 2003, pp. 265-271, 2003.
- [18] M. Ni, D. Y. C. Leung, M. K. H. Leung, and K. Sumathy, "An overview of hydrogen production from biomass," *Fuel Process. Technol.*, vol. 87, no. 5, pp. 461–472, 2006.
- [19] Y. Kalinci, A. Hepbasli, and I. Dincer, "Biomass-based hydrogen production: A review and analysis," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 34, no. 21, pp. 8799–8817, 2009.
- [20] W. Zhaobin, X. Qin, G. Xiexian, E. L. Sham, P. Grange, and B. Delmon, "Titania-modified hydrodesulphurization catalysts," *Appl. Catal.*, vol. 63, no. 1, pp. 305–317, 1990.
- [21] S. Wang, X. Guo, K. Wang, Z. Luo, "Influence of the Interaction of Components on the Pyrolysis Behaviour of Biomass," *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 91 no. 1, pp. 183-189, 2011.
- [22] B. C. Lippens and J. H. de Boer, "Study of phase transformations during calcination of aluminum hydroxides by selected area electron diffraction," *Acta Crystallogr.*, vol. 17, no. 10, pp. 1312–1321, 1964.
- [23] R. Abazari, A. R. Mahjoub, and S. Sanati, "A facile and efficient preparation of anatase titania nanoparticles in micelle nanoreactors: morphology, structure, and their high photocatalytic activity under UV light illumination," *RSC Adv.*, vol. 4, no. 99, pp. 56406–56414, 2014.
- [24] S. Horisawa, M. Sunagawa, Y. Tamai, Y. Matsuoka, T. Miura, and M. Terazawa, "Biodegradation of nonlignocellulosic substances II: physical and chemical properties of sawdust before and after use as artificial soil," *J. Wood Sci.*, vol. 45, no. 6, pp. 492–497, 1999.
- [25] A. Demirbaş, "Gaseous products from biomass by pyrolysis and gasification: effects of catalyst on hydrogen yield," *Energy Convers. Manag.*, vol. 43, no. 7, pp. 897–909, 2002.
- [26] S. Li *et al.*, "Recent advances in hydrogen production by thermo-catalytic conversion of biomass," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 28, pp. 14266–14278, 2019.
- [27] J. Zhang, H. Toghiani, D. Mohan, C. U. Pittman, and R. K. Toghiani, "Product analysis and thermodynamic simulations from the pyrolysis of several biomass feedstocks," *Energy Fuels*, vol. 21, no. 4, pp. 2373–2385, 2007.

Haberler Üzerinden Ülkeler Arası İlişkilerin Analizi

Alp Bintuğ UZUN¹, Alperen ÖZER¹, Banu DİRİ^{1*}



¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Elektronik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul
(ORCID: [0000-0001-9246-9479](https://orcid.org/0000-0001-9246-9479)) (ORCID: [0000-0003-4020-5660](https://orcid.org/0000-0003-4020-5660)) (ORCID: [0000-0002-4052-0049](https://orcid.org/0000-0002-4052-0049))

Anahtar kelimeler:
Duygu analizi, VADER,
İnternet medya.

Öz

Tarih boyunca insanların ve toplulukların birbirleri hakkındaki görüşleri farklı iletişim ortamlarıyla gözlenebilmektedir. Medyanın kuruluşundan itibaren bir görüşün veya amacın daha geniş bir kitleye yayılması kolaylaşmıştır. Medya, hem aynı düşüncedeki insanların hem de farklı düşünen grupların birbirinden haberdar olmalarına yardımcı olmuştur. Bu durum göz önüne alındığında, medya tarafından yapılan haberler aracılığıyla, farklı toplulukların birbirleri ile olan etkileşimleri ve görüşleri incelenebilmektedir. Bu çalışma kapsamında seçilen ülkelerin, birbirleri hakkında yaptıkları haberler ile ilişkilerinin nasıl bir seviyede olduğunun ölçülmesi sağlanmıştır. Yapılan analizin gerçeğe uygunluğu ise, kullanılacak haber veri setinin büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir. Analizlerin sonuçları, kullanıcının seçtiği ülkeler arasındaki ilişkiyi sözel, sayısal ve görsel olarak raporlamaktadır. Geliştirilen uygulama üç temel adımdan oluşmaktadır; Birinci adım haberlerden hangi cümlelerin çekileceğine ve hangi ülke ile ilgili olduğuna karar verilmesi, ikinci adım VADER yardımı ile duygu analizinin yapılması ve son adımda da yapılan analiz sonuçlarının zengin bir içerikle kullanıcıya sunulmasıdır.

Analysis of Relations Between Countries Based on News

Keywords: Sentiment analysis, VADER, Internet media.

Abstract

Throughout the human history, people and societies have expressed their opinions about each other through different channels. Since the establishment of the internet media, it has been easier to spread an opinion or purpose to a wider audience. Internet Media not only helped people in the same group to be aware of each other, but also making them aware of different-minded groups. Considering this fact, the interactions and views of different communities with each other can be examined through the news made by their media. In the scope of this study, it is aimed to measure the level of the relations of the selected countries through the news they make about each other and to present the results of these measurements to the users in various ways. The closeness of the analysis to reality is directly related to the size of the news data set to be used. The results of the analyzes are presented to the user, both verbally, numerically and visually, together with many header information, with the aim of providing an inclusive understanding of the relationship between the countries chosen by the user. The developed application of three basic steps; finding which sentence is related to which country in the related news; sentiment analysis of the extracted sentences using VADER; presenting the results of the analysis to the user in a rich way with an interactive user interface.

*Sorumlu yazar: diri@yildiz.edu.tr

Geliş Tarihi:22.09.2021, Kabul Tarihi: 10.11.2021

1. Giriş

Son yıllarda ülkelerin haber ajanslarının bir kısmının kendi destekledikleri ideolojilere eğilim gösteren haberler yaparak, tamamen tarafsız habercilik ilkesini geride bırakmış olduklarını görmekteyiz. Böylece, bir ülke içerisinde farklı haber ajansları bir konu hakkında birbirine zıt haberler yapabilmektedir. Bu çalışma kapsamında, ülkelerin kendi içerisindeki fikir ayrılıkları göz önüne alınmadan, bir ülkeden çıkan tüm haberler aynı grupta incelenmiştir. Bu sebeple, hem seçilen ülkelerde bulunan haber ajanslarına ait haberler, hem de Dışişleri Bakanlıklarının yaptığı basın açıklamaları incelenerek hükümetin ve çeşitli haber ajanslarının düşünceleri aynı yerde toplanmıştır.

Bu çalışma için geliştirilen uygulamada, belirtilen haberler ve devlet yetkililerinin yaptıkları açıklamalar kullanılarak ülkeler arasındaki ilişkilerin seviyeleri etkileşimli bir arayüz ile kullanıcıya sunulmuştur. Çalışma sonucunda tasarlanan uygulama ile ülkeler arasındaki ilişkilerin duygu analizi yapılarak, ilişkinin derecesi renklerle görselleştirilerek kullanıcıya sunulmuştur. Böylece, insanların yüzlerce haber okumadan, genel diplomasi bilgisi olmadan ya da analiz becerilerine ihtiyaç duymadan çeşitli ülkelerin zaman içerisinde birbirleri hakkındaki genel tutumunu anlaşılır bir şekilde kavraması hedeflenmiştir.

Çalışmanın sonucunda gerçekleştirilen uygulamanın bir benzerine yapılan araştırmalar sonucunda rastlanmamıştır. Bu nedenle ilk olduğunu ve referans alınarak geliştirilebileceğine inanmaktayız. Ancak, kullanılan yöntem sözlük tabanlı puanlama ile duygu analizi yaptığı için farklı uygulama alanları için benzer onlarca çalışma mevcuttur. R. Adarsh ve arkadaşları [1] çalışmada on bin adet telefon yorumunu olumlu veya olumsuz olarak sınıflandırmak için Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short Term Memory – LSTM) ve VADER [2] kullanmıştır. Sınıflandırmada VADER'in başarısı %73,48 iken, LSTM'in başarısı %89,89 olmuştur. V. Kharde [3] tarafından yapılan çalışmada ise Twitter verileri ile duygu analizi yapmak için Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine – SVM) kullanılarak %86,40 ve kullanılan sözlük tabanlı model ile de %74 başarı elde edilmiştir. V. Kharde [3] ayrıca, çalışmada SVM için hem 500 hem de 50 bin örnek arasındaki farkın başarıya olan katkısını göstermiştir. Duygu analizi için tasarlanmış sistemlerde genel olarak SVM algoritmasının veya VADER sözlük tabanlı yaklaşımların kullanıldığı gözlenmiştir [4]-[6]. Bu

alandaki çalışmalarda doğal dil işlemenin ve araçlarının kullanılmasının veriyi temizlemek adımı büyük bir katkı sağladığı izlenmiştir. Pano [7] çalışmada sözlük tabanlı bir model olan VADER'i kripto para analizi için kullanmıştır. Çetin [8], iki farklı telekom sektörüne ait Twitter verilerini kullanarak geleneksel iki yöntemin ve altı farklı eğitici makine öğrenmesi algoritmasını kullanarak duygu analizi gerçekleştirmiştir. Film yorumları [9], [10], yemek yorumları [11] gibi farklı alanlarda da duygu analizi çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmanın amacı, bir ülkenin haber ajansları ve Dışişleri Bakanlıkları tarafından farklı ülkeler için yapılmış olan haberlerden duygu analizi yaparak, ülke ilişkilerinin zamana bağlı olarak değişimini incelemektir. Çalışma içerisinde üç adet araştırma sorusunun cevabı aranacaktır.

AS1: Haber metni içerisinden haberi yapan ve yapılan ülkeler ile ilgili haber cümleleri tespit edilebilir mi?

AS2: İki ülke arasındaki gerçek ilişki durumu, internet medyası üzerinden yayınlanan haberler ile tespit edilebilir mi?

AS3: Bir ülkede ki medyanın, dış politika hakkında haber yapabilme özgürlüğünün olup olmadığının tespiti mümkün müdür?

Makalenin ilerleyen bölümleri şu şekilde organize edilmiştir. İkinci bölüm Materyal ve Metotlar olup, veri seti hakkında bilgi verilip, sistemin tasarımı ve alt modülleri detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Üçüncü bölümde Bulgulara ve son bölümde de sonuçlara yer verilmiştir.

2. Materyal ve Metod

Bu bölümde kullanılan veri seti, geliştirilen sistemin tasarımı ve içerisinde yer alan alt modüllerden detaylıca bahsedilecektir.

2.1. Haber Veri Seti

Yapacağımız çalışma kapsamında kullanılmak üzere, herhangi bir hazır veri seti bulunamamıştır. Hazırlanacak veri seti için 10 adet ülke seçilmiştir; İran, ABD, İngiltere, Çin, Kanada, Japonya, Almanya, Fransa, İtalya ve Rusya. Ülkeler seçilirken G7 ülkeleri, G8'den çıkarılan Rusya, G7 ülkeleri ile sürekli çatışma halinde olan İran ve Çin Halk Cumhuriyeti'nin seçilmiş olma sebebi hem dayanışma hem de düşmanlık ilişkilerini öne çıkaracağını düşünülmesidir. Türkiye Cumhuriyeti tarafsızlığı korumak adına seçilen ülkeler arasına

Tablo 1. Farklı ülke haber kaynakları

Ülke	Haber Kanalları			
Almanya	Bild	Zeit	DW	Faz.net
Fransa	France 24	Expatica	RFI	Mediapart
İtalya	Esteri	Adnkronos	Ansa	Corriere
Japonya	Japan Times	Japon Today	Asahi	Sora News24
İngiltere	BBC	The Guardian	Dail Mail	Telegraph
ABD	ABC News	CNN	Fox News	NY Times
Rusya	Moscow Times	TASS	RT	Pravdal
Kanada	CBC	CTV News	Global News	
İran	IRNA	Tehran Times	YJC	The Star
Çin	Xinhua Net	China Daily	CGTN	ECNS

eklenmemiştir. Tablo 1'deki haber sitelerinden 1.857 adet haber toplanmıştır. Bu sayı, makine öğrenmesi modelleri için düşük kalmaktadır. Ancak, geliştirdiğimiz uygulamada sonuç almamız için yeterli görülmüştür. İdeal bir ortamda (tüm haberlere sahip veri seti), X ülkesinin Y ülkesi ile yaptığı haberlerin sayısı, X ülkesinin Y ülkesine olan ilgisini belirteceği için analize “olumluluk-olumsuzluk” ekseninin yanı sıra, ikinci bir boyut olarak haber sayıları eklenebilirdi. Ancak, bu çalışma kapsamında toplanan veri seti Tablo 2'den de görüleceği üzere az sayıda, eşit dağılıma sahip olmayan ve rastgele seçilen haberlerden oluştuğu için haber sayısının bir parametre olarak işleme katılmasının yapılan analizin tarafsızlığını bozacağı düşünüldükçe kullanılmamış sadece haberin olumlu ve olumsuz olduğu bilgisi dikkate alınmıştır. Veri setini hazırlarken asıl hedeflenen belli zaman aralığında yazılan haberleri toplamaktı ancak, bazı ülkelerin birbirleri ile ilgili çok az sayıda haber yapması nedeniyle bu ülkeler arasında en azından anlamlı bir sonuç alabilmek için tarih sınırı olmadan son yıllara ait haberler toplanmıştır. Ayrıca, yerel dillerde haber toplayarak çevirisini yapmak yerine, İngilizce yazılmış haberleri toplama yolu tercih edilmiş ve ilgili kaynakların uluslararası platformlarından İngilizce olanları seçilmiştir².

Tablo 2'yi incelediğimizde veri setindeki dengesizlik görülmektedir. Rusya'nın (RU) aktif olarak ABD (US) ile etkileşimde olması haber sayısının (86 adet) fazla olmasının sebebidir. Özellikle son ABD başkanlık seçimlerinden sonra ülkeler arasındaki ilişkinin değiştiği düşünülürse haber sayısının fazla olması normaldir. Diğer yandan İtalya'nın (IT) diğer ülkelerle yaptığı haber sayısı çok azdır. Bunun sebebi hem İtalya'nın göreceli olarak daha az haber yapması hem de yapılan haberlerin çoğunun İtalyanca olması ve İngilizce karşılıklarının bulunamamasıdır. Fransa (FR) için de aynı sorun mevcut iken, Dışişleri Bakanlığının aktif şekilde İngilizce haber yapması sebebiyle daha fazla sayıda haber toplanabilmiştir. Yine Tablo 2'den Japonya'nın (JP) ilişkide olduğu ülkeler hakkında haber paylaştığı, fazla etkileşiminin olmadığı ülkeler hakkında da daha az haber paylaştığı görülmektedir.

2.1. Sistem Tasarımı

Yapacağımız çalışma kapsamında kullanılmak üzere, herhangi bir hazır veri seti bulunamamıştır. Tasarlanan sistemin işlem adımları, haberleri toplamak, haber niteliği olan cümleleri seçmek, ülke bilgisine göre ayırmak, cümlenin duygu

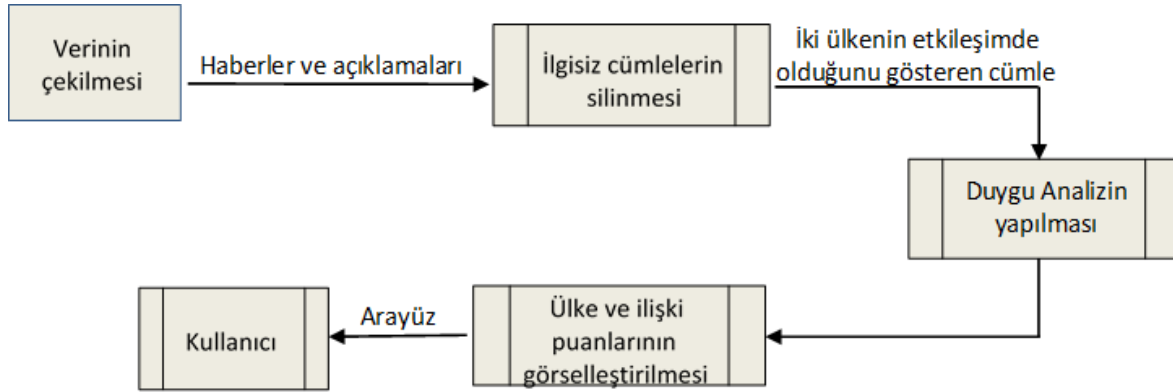
²Veri seti için ilgili link <https://github.com/BanuDiri/YTU-Country-Relations/blob/main/YTU-Country-Relations/dataset.csv>

Tablo 2. Ülkelerin birbiriyle ilgili yaptıkları haber sayıları³

	CA	CN	DE	FR	IR	IT	JP	RU	UK	US
CA	-	26	25	24	25	26	0	25	26	25
CN	25	-	25	25	26	25	24	25	25	29
DE	9	18	-	14	18	15	15	17	12	16
FR	11	17	15	-	22	15	15	16	19	20
IR	27	32	25	27	-	25	27	25	41	33
IT	10	8	11	10	9	-	10	9	9	16
JP	5	23	5	8	3	4	-	8	15	29
RU	9	21	27	19	13	7	12	-	31	86
UK	26	27	25	23	26	25	25	24	-	26
US	25	27	25	27	25	26	26	27	28	-

analizini yapmak ve iki ülke arasındaki ilişkiyi ülke sayısı N ise $N \times N$ boyutunda bir matris ile her bir hücre ülkelerin ilişki puan değeri olacak şekilde oluşturmaktır (Tablo 4). Sistemin tasarımının blok şeması Şekil 1'de gösterilmektedir. Öncelikle çekilen haberlerin ve açıklamaların ülkelere ilgili olup olmadığına karar veren bir filtreleme işlemi

gerçekleştirilmektedir. Filtreden geçen cümleler üzerinde sözlük tabanlı duygu analizi modülü çalıştırılarak, her ülkenin diğer ülkelerle olan ilişkileri puanlandırılmaktadır. Son aşamada da, alınan sonuçların kullanıcı tarafından kolayca yorumlanabilmesi için interaktif bir arayüz sunulmaktadır.

**Şekil 1.** Sistemin işlem adımları

³CA: Kanada, CN: Çin, DE: Almanya, FR: Fransa, IR: İran, IT: İtalya, JP: Japonya, RU: Rusya, UK: İngiltere, US: ABD

from	to	date	header	body
DE	CA	3.02.2021	Joint state	The G7 Foreign Minist
DE	CA	7.01.2019	Minister o	Minister of State Niels
DE	CA	12.04.2018	Peter Beye	Peter Beyer issued the
DE	CA	12.08.2019	Statement	Foreign Minister Heiko
DE	CA	13.08.2019	Partners fo	The focus of the trip t
DE	CA	16.04.2018	Foreign Mi	Foreign Minister Heiko
DE	CA	18.04.2019	Joint decla	Following a telephone
DE	CA	21.03.2019	Coordinat	Peter Beyer, the Coord
DE	CA	23.12.2018	Federal Fo	A Federal Foreign Offi
DE	FR	1.11.2018	Statement	Following the downin
DE	FR	4.04.2021	Germany,	Germany and France,

Şekil 2. Veri kümesi içeriği

2.1.1 Girdi Verisi

Çekilen haberler CSV (Comma Separated Value) dosya formatında saklanmış olup, her satır haberi yapan ülke, haberi yapılan ülke, haberin tarihi, başlığı ve içeriği alanlarından oluşmaktadır. Ülke isimleri iki harfli ülke kodları olarak kaydedilmiştir. Ülkeler adlandırılırken ISO 3166 Alpha 2 gösterilimi [12] kullanılmıştır. Tarih bilgisi de “ggaayyyy” formatında yazılmıştır. Veri kümesi ile ilgili bir örnek Şekil 2’de gösterilmektedir.

2.1.2 Cümle Seçimi

Bir ülkenin, başka bir ülke ile ilgili olan haberinin her cümlesi haberi yapılan ülke ile ilgili olmayabilir. İlgisiz olarak belirlenen cümlelerin, özne ve nesnesi haberi yapan ülke ve haberin yapıldığı ülke isminden farklı olabilir ve büyük bir çoğunlukla da cümle içerisinde başka bir ülkeden bahsedilmektedir. Bazen farklı ülkelerin Dışişleri Bakanlıkları basına toplu olarak açıklamada bulunabilir veya Avrupa Birliği gibi bir grup ülke, G7 gibi bir başka grup ülke ile ilgili açıklamalar yapılabilir. Haber açıklamasını birlikte yapan ülkeler, haberin içeriği olumsuz olsa da ortak hareket ettikleri için kendi aralarındaki ilişkileri

olumlu kabul edilirken, haberi yapılan ülke ile her bir ülkenin ilişkisi olumsuz olarak kabul edilir.

Birden fazla ülkeyi ilgilendiren bir haberde, örneğin X ülkesi, Y ülkesi ile Z ülkesi arasındaki savaşı anlatıyor olsun. Bu haberde, Y ülkesinin nasıl uluslararası hukuku çiğneyerek Z ülkesini işgal ettiğinden bahsediyorsa, bu noktada haber Y ve Z ülkesi ile ilgili olmakla beraber, cümlede Y ülkesine olumsuz eleştiriler yöneltildiğinden X ülkesi ile Y ülkesi arasındaki ilişki olumsuz, Z ülkesi ile ilişki olumlu olarak etiketlenmelidir. Bu ve benzeri noktalarda hangi cümlelerin haberi yapılan ülke ile alakalı olduğunun belirlenmesi önemlidir ve cümleler haberlerden bu noktalar dikkate alınarak çekilir.

2.1.3 Cümle Ayırma

Bir cümlenin özne ve nesnesinin tespiti öncesinde cümlelere ayırma işleminin doğru yapılması önemlidir. Bu işlem adımı için Python’un Natural Language Toolkit [13] kütüphanesi kullanılmıştır. Şekil 3’te cümlelere ayrılmış bir haber içeriği gösterilmektedir.

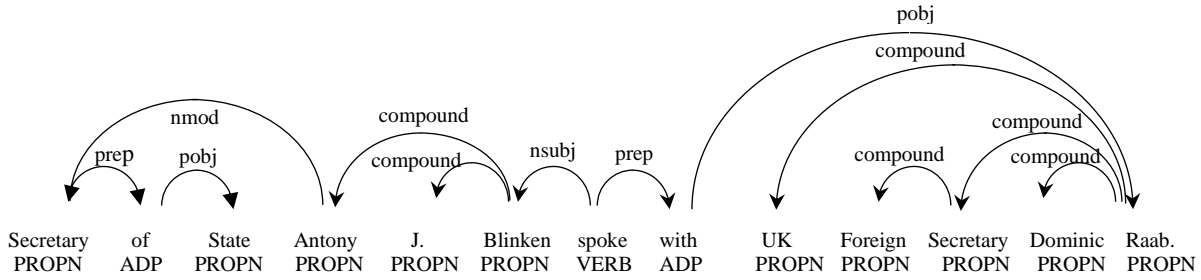
```
[ 'Secretary of State Antony J. Blinken spoke with UK Foreign Secretary Dominic Raab.', 'Secretary Blinken and Foreign Secretary Raab reaffirmed the special relationship between the United States and the UK.', 'They discussed the UK’s G7 presidency, multilateral engagement to combat climate change and the COVID-19 pandemic, and shared foreign policy priorities including the People’s Republic of China, Iran, and Russia. ']
```

Şekil 3. Haber metnlerinin cümlelere ayrılmış hali

2.1.4 Özne ve Nesnelerin Bulunması

Cümle içerisinde haberi yapan ve yapılan ülkenin belirlenmesi için cümlenin özne ve nesnesinin bulunması gerekir. Python programlama dilinde cümleyi öğelerine ayıran kütüphaneler mevcut olup, çalışma kapsamında ağaç yapısını kullanan spaCy [14] kütüphanesi tercih edilmiştir. Ağaç yapısından özne veya nesne düğümü seçilirse sadece tek kelimedenden oluşan öğeler bulunur. Ancak, bu öğeler duruma göre birden fazla kelimedenden oluşabilir. Örneğin, cümlelerden birinin

öznesi “Secretary of State Antony J. Blinken” olup, birden fazla isimden oluşmaktadır. Bu nedenle özne veya nesnenin tüm alt ağacının bulunması gerekmektedir. Böylece, öznenin yanındaki sıfatlar veya birden fazla isimden oluşan özneler sorunsuz bir şekilde tespit edilebilir. Şekil 4’te fiile bağlı olarak bulunan özne ve öznenin alt ağacı gösterilmektedir (Secretary of State Antony J. Blinken spoke UK Foreign Secretary Dominic Raab). Cümle içerisindeki özne ve nesnenin belirlenmesi ilerde ülkelerle ilişkili olan isimlerin çıkarılmasında, özne veya nesnenin kime ait olduğunun tespiti aşamalarında da kullanılacaktır.



Şekil 4. Fiil, özne ve öznenin alt ağacı

2.1.5 Ülkelerle İlgili Kelimelerin Bulunması

Haberlerin içerisinde ilgili cümlelerin seçilebilmesi için özne ve nesnenin hangi ülkeleri temsil ettiğinin bilinmesi gerekir. Bunun için her ülkenin kendisini temsil edecek başlangıçta Şekil 5’deki gibi bir isim listesinin hazırlanması gerekmektedir. Bulunan özne ve nesnenin listede yer alan bir isim ile eşleşip eşleşmediğinin kontrol edilmesi gerekir. Eğer eşleşme mevcut ise, o cümlenin hangi ülkeler ile ilgili olduğu tespit edilir. Her ülke için, işlem sürecinde zenginleştirilmek üzere temel seviyede bir isim listesi oluşturularak işleme başlanır. ABD için {“USA”, “United States”, “America”, “Washington”, “American”, “Donald Trump”, “Joe Biden”,...} gibi isimlerden bir liste oluşturulmuş olsun. Daha sonra gelen cümlenin özne veya nesnesinin bu kelime listesindeki herhangi bir isim ile eşleşip eşleşmediği kontrol edilir. Eğer bir eşleşme olmuş ise, bu cümle içinde yer alan özne veya nesnedeki diğer isimler de ilgili ülke listesine kaydedilir. Örneğin, özne “American Vice President Kamala

Harris” ise özne “American” ismini içerisinde bulundurduğu için bu öznenin ABD ile ilgili olduğu tespit edilir. “Vice” ve “President” kelimeleri özel bir isim olmadığı için listeye eklenmez ancak, arka arkaya geçen “Kamala” ve “Harris” kelimeleri “Kamala Harris” şeklinde birleştirilerek ABD kelime listesine eklenir.

Bir kelimenin isim olup olmadığını kontrol ederken kelimenin varsa sahip olduğu ekleri silinir ve kök formuna getirilir. Bunun için Python’ın Natural Language Toolkit kütüphanesindeki “WordNetLemmatizer” ve “PorterStemmer” fonksiyonları kullanılmıştır [13]. Sonrasında kelime kökünün İngilizce sözlük içerisinde olup olmadığı kontrol edilmektedir. Sözlük niteliğinde kullanılacak olan kelime listesi için yine Python’ın kütüphanesi olan “Natural Language Toolkit-NLT” in dahili kelime ağı kullanılmıştır.

Kelime ağı, bir liste olarak saklanmakta ve kelimenin listede olması durumunda türünün isim olduğuna karar verilmektedir. İki yüz adet haber üzerinde yapılan ön işlem adımlarından sonra elde edilen isim listesinin bir kısmı Şekil 6’da verilmiştir.

```

ca_kw = {"Canada", "Ottawa", "Canadian", "Canadians", "Justin Trudeau"}
fr_kw = {"France", "Paris", "French", "Emmanuel Macron", "Jean Castex"}
de_kw = {"Germany", "Alman", "GER", "Berlin", "German", "Angela Merkel", "
it_kw = {"Italy", "Rome", "Italian", "Sergio Mattarella", "Mario Draghi"}
jp_kw = {"Japan", "Tokyo", "Japanese", "Yoshihide Suga"}
ru_kw = {"Russia", "Moscow", "Russian", "Vladimir Putin", "Mikhail Mishustin"}
uk_kw = {"United Kingdom", "Great Britain", "England", "UK", "GB", "Britain"}
us_kw = {"United States", "America", "State", "States", "United States of Amer
cn_kw = {"China", "People's Republic of China", "PRC", "Beijing", "Chinese"}
ir_kw = {"Iran", "Persia", "Islamic Republic of Iran", "Tehran", "Iranian",

```

Şekil 5. Ülkeler için başlangıç isim listeleri

```

IT:
{'sergio mattarella', 'eurozone', 'enzo moavero milanesi', 'largest', 'rome', 'ansa', 'dario franceschini', 'angelino alfano',
'istituto', 'istituto affari internazionali', 'lega', 'michelle müntefering', 'steinmeier', 'sophia', 'republicanminister maa
s', 'mario draghi', 'coronavirus', 'researcherthe', 'craftwork', 'vigoni', 'vincenzo amendola', 'italy', 'italian', 'medicis',
'covid', 'sergio mattarella', 'di malo', 'ivan scalfarotto', 'madama', 'luigi di malo', 'maas'}

JP:
{'experiencing', 'tieswhen', 'tokyo', 'mofa', 'largest', 'issuesgermany', 'came', 'protectionismgermany', 'japanese', 'yomiuri
shimbun', 'masato otaka', 'cybersecurity', 'paralympic', 'disarmamentgermany', 'indo', 'japan', 'drian', 'shinrikyo', 'creatin
g', 'toshimitsu motegi', 'martinon', 'ghosn', 'covid', 'tarô kôno', 'yoshihide suga', 'carried', 'cyber', 'yves', 'maas'}

RU:
{'wiese', 'sidein', 'st', 'dr bärbel kofler', 'titov', 'russian', 'mikhail mishustin', 'vladimir', 'crimean', 'assad', 'fifa',
'vladimir putin', 'raceas', 'moscow', 'kremlin', 'sergey lavrov', 'russia', 'protectionif', 'andreas michaelis', 'differencesru
ssia', 'intersocietal'}

UK:
{'great britain', 'united kingdom', 'england', 'uk', 'britain', 'english', 'british', 'gb', 'dominic raab', 'london', 'boris',
'elizabeth ii', 'coveney', 'boris johnson'}

US:
{'kamala harris', 'towards', 'independentin', 'jcpoa', 'inf', 'caused', 'state', 'raab', 'us', 'heiko maas', 'donald trump', 'u
nited states', 'snapback', 'american', 'white house', 'drian', 'america', 'pompeo', 'deutschlandjahr', 'usa', 'joe biden', 'yve
s', 'washington', 'states', 'united states of america'}

CN:
{'zhang', 'wang', 'people's republic of china', 'zehua', 'chinese', 'à', 'jinpings', 'yucheng', 'beijing', 'qiushi', 'materiali
n', 'guo yezhou', 'prc', 'coronavirus', 'afghanistanthe', 'hong kong', 'zhang zhan', 'china', 'reeducation', 'huang', 'covid',
'undertaken', 'li keqiang', 'xi jinpings', 'infogerman'}

```

Şekil 6. Başlangıçta ülkeler için çıkarılan isim listeleri

2.1.6 İlgisiz Cümlelerin Silinmesi

Cümlenin özne ve nesnesinin hangi ülkeler ile ilgili olduğuna karar verildikten sonra, özne ve nesnenin haberi yapan ve yapılan ülkelerin isim veya temsilcilerinin isimlerinden biri değilse veya başka bir ülkenin ismi ise bu cümle ilgisiz bir cümle olarak işaretlenir ve haber içerisinden çıkarılır. Bu işlem veri setindeki tüm cümleler için tekrarlanır.

2.1.7 İlişki Skorunun Hesaplanması

İki ülke arasındaki ilişki skorunun hesaplanması için, her kelimeye [-4, 4] aralığında puan veren Python'nın kütüphanesi olan VADER'den yararlanılmıştır. Haberler içinden seçilmiş olan cümleler üzerinde önce noktalama işaretleri, bağlaç, edat gibi tek başına anlam ifade etmeyen kelimeler silinerek ön işlem uygulanır. Sonrasında VADER yardımıyla her cümle için pozitiflik, negatiflik ve tarafsızlık puan değerleri hesaplanır. Ülkeler arası ilişki skor değeri hesaplanırken, kullanıcının seçtiği tarihten önceki tüm haberlerde bu çalışma kapsamında işleme alınmıştır. Bunun sebebi, veri setimizin düzensiz olması ve belirli tarih aralıklarında iki ülke arasında yapılan haber sayısının, başka bir tarih aralığında yapılan haber sayısından çok farklı olmasıdır. Bu şekilde hareket

edilmez ise, X tarih aralığında 20 olumlu, 3 olumsuz haber varken, $X+1$ aralığında sadece bir olumsuz haber varsa, $X+1$ aralığında ilişkileri kontrol eden kullanıcı, bu iki ülke arasındaki ilişkiyi çok olumsuz olarak görebilecektir. İlişki puanı, yazılan haber sayısı ile net skorun çarpımı olarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşımı tercih etmemizin sebebi, iki ülke arasında olumlu ya da olumsuz ne kadar çok haber varsa, ilişkilerinin o kadar keskin olacağıdır. Azerbaycan ile Türkiye'nin birbirlerine destek çıkan 300, eleştiren 30 adet haberi var iken, Türkiye ile Kamboçya arasında sadece bir adet olumlu haber yapılmış ise Türkiye-Azerbaycan ilişkilerinin, Türkiye-Kamboçya ilişkilerinden daha olumlu ve güçlü olarak değerlendirilmesi hedeflenmiştir. İlişki skorlarına örnek olarak İran'ın 2021 yılının ilk yarısından önceki ilişkilerinin kümülatif puanlama değerleri Tablo 3'teki gibidir (pozitiflik ve negatiflik skorları ayrı ayrı hesaplanmıştır). Bu hesaplama sonucunda elde edilen değer aralığı geniş olup, verilerin [-200, 200] aralığına normalize edilmesi için eşitlik (1)'deki min_max normalizasyonu kullanılmış ve Tablo 3'deki her iki sütun değerine ayrı ayrı uygulanmıştır.

$$v' = \frac{v - \min_A}{\max_A - \min_A} * (n_{\max_A} - n_{\min_A}) + n_{\min_A} \quad (1)$$

Tablo 3. İran'ın farklı ülkeler ile olan ilişkilerinin puan değerleri

Ülkeler	Pozitiflik	Negatiflik
CA	-1827,29	+1426,18
CN	-1589,59	+1307,33
FR	-1901,57	+1530,17
DE	-1827,29	+1351,90
IT	-1663,87	+1441,03
JP	-1812,43	+1534,16
RU	-1693,584	+1411,32
UK	-1916,42	+1500,46
US	-2243,26	+1277,62

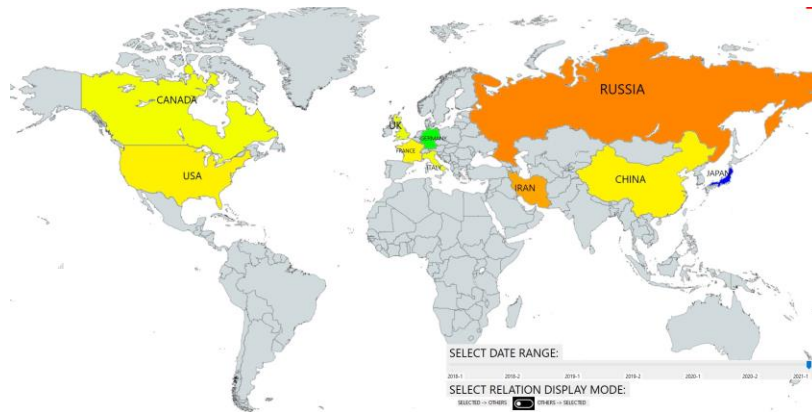
2.1.7 Arayüz

Elde edilen bilgilerin anlaşılabilir bir formda kullanıcıya sunulabilmesi için, sistemin hem görsel hem de yorumlanabilir verileri içerisinde barındıran ve göze hoş gelen bir arayüze ihtiyaç vardır. Arayüz beş parçadan oluşmaktadır: Harita, ülke detayları, kontrol paneli, haber okuyucu ve renk paleti.

Harita. Uygulamada haritanın kullanım amacı, Şekil 7'de görüleceği gibi ülkeler arasındaki ilişkileri renkler ile görselleştirmektir. Kullanıcı, bir ülkeye tıkladığında o ülkenin diğer ülkelerle olan ilişkisini görebilir. "Mavi" renk kullanıcının seçtiği ülkeyi gösterirken diğer ülkeler ilişkinin düzeyine göre, kırmızı (RGB formatında 255, 0, 0) ile yeşil (RGB formatında 0, 255, 0) renk aralığında

renklendirilerek gösterilir. Şekil 7'de seçilen ülke Japonya (mavi renkli) olup, hakkında haber topladığımız ülkelerin renkleri de Japonya ile olan ilişki derecelerine göre renklendirilmiştir. Renklendirme işlemi *Four Way Flood Fill* algoritması kullanılmış olup, bu algorithmada birbirinin devamı olmayan kara parçalarından oluşan bir ülke boyanırken hangi kara parçası seçilmiş ise boyama işlemi o alan için gerçekleştirilir. Örneğin Alaska, ABD'nin bir eyaleti olsa da ABD haritada boyanırken, Alaska haritada boyanmadan kalacaktır.

Ülke detayları. Bu modül ile seçilen ülkenin resmi adı, nüfusu, bulunduğu bölge, gayri safi yurt içi hasıla değeri, yönetim biçimi, seçilmiş tarih dilimi içerisinde en iyi ve en kötü ilişkisi olduğu ülkeler, ülkeyle ilgili haberlerde en sık kullanılan anahtar kelime ve isimler, seçilen harita moduna göre de haber listesi gösterilmektedir. Haber listesi sisteme kullanıcının toplanan haberlere kolayca erişebilmesini sağlamak amacıyla eklenmiştir (Şekil 8). Kullanıcı, harita modunu "seçilen ülkenin diğer ülkelere bakış açısı" olarak seçerse, sadece seçilen ülkeden çıkmış olan haberler kullanıcıya gösterilecektir. Eğer, "seçilen ülke hakkında diğer ülkelerin bakış açısı" seçilmiş ise, bu ülke ile ilgili diğer ülkelerin yazdığı haberler gösterilmektedir. Şekil 8'de liste şeklinde görülen haberlerin isimlendirilmesi şu şekildedir; "News" penceresinde yer alan ilk haber (JP-CA-03022021-1077) olup, ilk JP kodu haber kaynağını, CA kodu haber hedefini, ilk sayısal değer "ggaayyy" formatında haberin yayımlandığı tarihi ve son değerde ilgili haberin veri setindeki indisini göstermektedir. Eğer kullanıcı dahili haber okuma modülünü kullanmamayı tercih ederse, indisi kullanarak veri setinde ilgili habere erişebilmektedir.



Şekil 7. Kullanıcı arayüzü – Harita modülü

Şekil 8. Ülke detay modülü

Haber okuyucu modülü. Bu modülün amacı, kullanıcının veri seti dosyasını açmadan veri setine bakabilmesini sağlamaktır. Kullanıcının listeden bir habere tıklaması yeterlidir, sonrasında açılan pencere haberin içeriğini gösterecektir. Kullanıcı birden fazla haber dosyasını aynı anda açarak hangi haberlerin ülke ilişkileri üzerinde nasıl bir etkiye sahip olduğunu gözlemleyebilecektir. Şekil 9’da gösterildiği gibi Japonya (JP), Rusya (RU) ile ilgili bir haber paylaşmıştır. Haber “Rusya’nın Kırım’ı ilhakının gayrimeşru ve yasadışı” olduğunu belirtmekte ve “Rusya’nın Kırım yarımadasındaki insan hakları ihlallerini” kınadığını anlatmaktadır. Şekil 8’de görülen olumsuz ilişkinin kaynağı bu haber ile açıklanabilmektedir.

Kontrol Paneli. Hazırlanan kontrol panelinin iki amacı bulunmaktadır; tarih aralığını belirlemek ve harita modunu değiştirmektir. Harita modu, haber akışının yönünü belirlemektedir. Kullanıcı Şekil 10’da “*Select Relation Display Mode*” açıklamasının altında bulunan düğmeye tıklayarak harita modunu değiştirebilmektedir. Seçilen ülkenin, diğer ülkeler ile olan ilişkisini veren (select→others) veya diğer ülkelerin seçilen

ülke ile olan ilişkilerini gösteren (others→select) modu seçilebilir. Tarih aralığı seçeneği ile de hangi tarih aralığındaki haberlerin ilişki skoru hesaplanmasında kullanılacağı belirlenir.

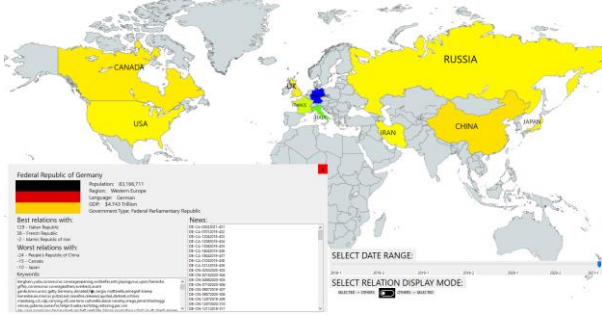
Kullanıcı Şekil 10’da “*Select Date Range*” açıklamasının altında bulunan kayan çubuk üzerindeki imlece basılı tutarak istediği bitiş tarihini belirleyebilir. Seçilen yıla kadar olan haberler ile ilişki değerleri güncellenir ve haritadaki renklerin ve ilişki değerlerinin güncellenmesi sağlanır.

Şekil 10. Kontrol paneli

Kontrol panelinin diğer modüllere olan etkileri. Kontrol paneline müdahale edilmeden Almanya’nın seçildiğini varsayalım. Şekil 11’deki harita Almanya’nın diğer ülkeler ile ilgili görüşlerini göstermektedir.

Şekil 9. Haber okuma modülü

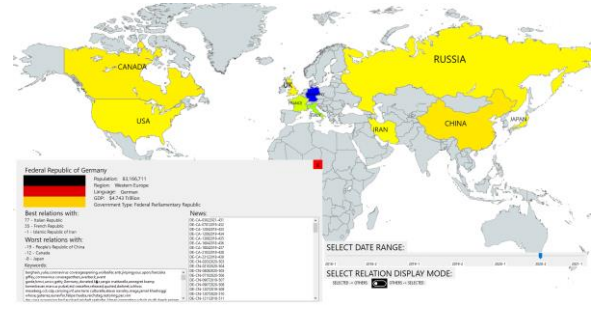
Şekil 11’de görüldüğü üzere kontrol paneli sadece 2021-1’e kadar (2021’in ilk yarısı) olan ilişkileri göstermektedir. Ülke detayları modülü incelendiğinde Almanya’nın en iyi ilişkisi 129 puan ile İtalya, en kötü ilişkisi de -24 puan ile Çin’ledir. Diğer ülkelerin Almanya ile ilgili düşüncelerini görmek için Harita Modu modülünden (others→select) düğmesine basılması yeterli olacaktır. Şekil 12’de görüldüğü gibi İtalya’nın Almanya ile ilgili düşünceleri olumlu iken, Çin ile düşünceleri olumsuzdur. Ancak, Almanya ile ilgili en iyi ve en kötü görüş bu ülkelerden çıkmamıştır. En iyi görüş 199 puan ile Japonya’dan, en kötü görüş ise -24 puan ile Kanada’dan çıkmaktadır. Eğer ilişkilerin belirlenmesinde tarih aralığı değiştirilmek istenirse tarih aralığı seçme imleci



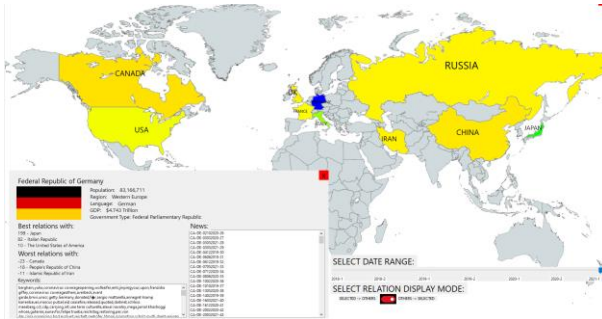
Şekil 11. Almanya'nın diğer ülkeler ile ilişkisi

istenilen bir bitiş noktasına çekilmelidir. Kullanıcının 2020-2'yi seçtiğini varsayarsak, Şekil 13’de görülen sonuçlar alınacaktır. Bu harita direkt olarak, Şekil 11’deki harita ile karşılaştırılmalıdır. İki şekilde de ülke detayları modülüne bakılırsa Almanya, İtalya ve Fransa ile ilgili olumlu görüşlere sahip iken Kanada ve Çin ile olumsuz görüşlere sahiptir.

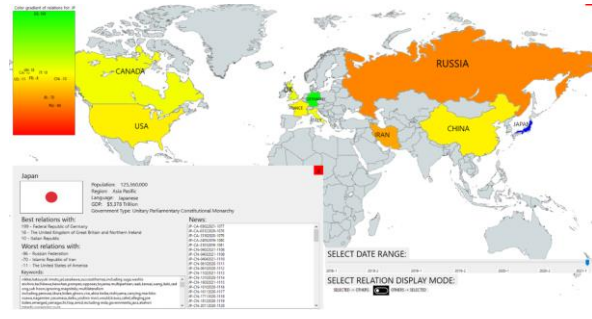
Renk Paleti. Renk Paleti modülü, haritada görülen renklerin karşı geldiği ilişki değerlerinin sayısal olarak görülmesi ve ülkenin diğer ülkelerle olan ilişkilerinin tek bir parçada gösterilmesini sağlar. Japonya’nın diğer ülkeler ile ilgili düşüncelerine karşılık gelen skorlar ve bu skorlara karşılık gelen renkler Şekil 14’ün sol üst köşesinde görülmektedir.



Şekil 13. Farklı zaman aralığı



Şekil 12. Harita Modu 2: Diğer ülkelerin seçilen ülke ile ilgili görüşleri



Şekil 14. Renklendirme açıklaması

3. Bulgular

Bu bölümde, çalışma kapsamında kullanılan yöntemlerin ve işlem adımlarının istenilen girdileri verme başarıları tartışılmıştır. Cümledeki özne ve nesnenin hatalı veya eksik tespit edilmesinin, ülkelere ait isim listelerinin eksik çıkarılmış olmasının alınan sonuçlara olan olumsuz etkilerine yer verilmiştir.

3.1. Veri Önişleme Sonuçları

Veri ön işleme sonuçlarının başarıya olan etkileri *Özne ve Nesnenin Bulunması* ve *İsminin Bulunması* olarak iki başlık altında incelenmiştir.

Özne ve Nesnenin Bulunması. Python’un SpaCy kütüphanesi yardımıyla cümleler Şekil 4’deki gibi öğelerine ayrılmaktadır. SpaCy kütüphanesi sadece cümlenin özne ve nesnesini değil, bunların isim ve unvan gibi tüm alt ağaçlarını da kapsamlı bir şekilde çıkarabilmektedir. Bu özelliği sayesinde, “United States Secretary Officer Anthony J. Blinken” gibi birden fazla isimden

oluşan öznelerin kolaylıkla tespit edilmesi sağlanabilmektedir. “Anthony J. Blinken” özne olarak bulunduğu ve ilgili ülkenin isimler listesinde yer almaması durumu karşımıza bir problem olarak çıkmaktaydı. SpaCy kütüphanesinin yardımı ile “United States Secretary Officer”, “Anthony J. Blinken” ile ilişkilendirildiğinden, “United State” ile ilgili olduğu tespit edilerek ABD’nin isimler listesine eklenebilmesi sağlanmıştır.

İsimlerin Bulunması. Yine bu çalışma kapsamında Python’un doğal dil işleme kütüphanesinin geniş bir kelime listesine sahip olmadığı gözlemlenmiştir. Bazen birden fazla kişi, özneye dahil olabilmektedir. Örneğin, “Amerikan Başkanı Donald Trump ve Çin Başkanı Xi Jinping” öznesinin Amerika ile ilgili olduğuna karar verip, özne içerisinde bulunan “Donald Trump” ve “Xi Jinping” isimleri ABD ile ilgili olan isimler listesine eklenmektedir. Bu gibi problemlerden dolayı ülkeler ile ilgili isim veya marka bulma işlemi beklendiği kadar başarılı olamamıştır.

İsimlerin sistem tarafından ne kadar başarı ile tespit edildiğini göstermek için Almanya ile ilgili çıkarılan isimler incelenmiş ve toplamda 373 isim bulunmuştur. “Almanya Dışişleri Bakanlığı Siyasi Direktörü Büyükelçi Andreas Michaelis” gibi Almanya ile ilgili isimler, toplam bulunan isimlerin %25’ini oluşturmaktadır. Alman otomobil markası “BMW” ve Alman basın ajansı “Bild” gibi Almanya ile ilişkili olup, kişiye ait olmayan isimler de bulunan isimlerin %15’ini teşkil etmektedir. Haberlerin toplandığı internet sitelerinde çoğu zaman yazım hataları mevcut olduğundan ve düzeltilmediklerinden yazım yanlışları veya anlamları bulunamamış kısaltmalarda isim listesinin %20’sini oluşturmaktadır. Örneğin, bir haber metninde “issues” ve “Italy” olmak üzere iki kelime olması gerekirken “issuesitaly” şeklinde boşluk verilmeden hatalı yazılmış olabilir. Almancada bazı kelimeler özel isim olmasa da büyük harfle başlayabilmektedir, bu gibi durumlar da isimler listesinin yaklaşık %5’ini oluşturmaktadır. Instagram veya Dario Franceschini gibi Almanca olmayan isim veya markalarda listenin %15’ine karşılık gelmektedir. Sözlüğümüzde kayıtlı olmadığından isim olarak bulunmuş ama aslında farklı anlamlarda kullanılmış olan kelimeler de isim listesinin yaklaşık %20’sini oluşturmaktadır. Bu bölüm içerisinde yapılan çalışmalar ile birinci araştırma sorumuza “AS1:Haber metni içerisinde haberi yapan ve yapılan ülkeler ile ilgili haber cümleleri tespit edilebilir mi?” cevap verilmiştir.

3.2. İlişki Sonuçları

Haber cümlelerinin sahip olduğu duyguyu tespit etmek için VADER kullanılarak her cümle için bir puan elde edilmiştir. Çıkarılan bu ilişki puanları aslında toplanan haberlere bağlıdır. Eğer, sistem sadece olumsuz haberlerle beslenirse ilişki puanlarının çoğu negatif çıkacaktır. Tablo 4’te görüldüğü gibi bizim veri setimiz için ortalama ilişki puanı [-200, 200] aralığına normalize edildiğinden veri seti ortalamamız (-5,78) çıkmaktadır. Alınan bu negatif sonuç, toplanan haber sayısının az olması ve haber sitelerinin negatif haberleri öne çıkararak tıklama alma çabalarından kaynaklanmaktadır. Bir ilişki analizinde sayısal bir değer hesaplamak zor olsa da Şekil 15’de görüldüğü üzere Rusya-ABD ilişkileri, Rusya’nın İran’ı bölgeye yönelik saldırganlığa karşı desteklemesi durumlarından dolayı gerçek yaşamdan izler taşımaktadır. Rusya’nın, İngiltere (Birleşik Krallık) ile göreceli olarak daha iyi ilişkilere sahip olması, Rusya’nın Avrupa’ya doğal gaz hattı dağıtımı ve İngiltere üzerindeki Rus yatırımı ile açıklanabilmektedir. Çin ile Rusya’nın ilişkilerinin iyi olması da BRICS [15] ile açıklanabilir. İkinci araştırma sorumuz “AS2: İki ülke arasındaki gerçek ilişki durumu, internet medyası üzerinden yayınlanan haberler ile tespit edilebilir mi?” için de aradığımız cevap bulunmuştur. Ancak, gerçek hayat ile daha uyumlu sonuçlar alabilmek için veri setindeki haber sayısının artırılması şart ve gereklidir. Aldığımız sonuçlar üzerinden daha genel bir yorum yapacak olursak, demokratik ülkelerin dışarıya verdiği haberlerde farklı görüşlere yer verilirken, Çin kaynaklı haberlerde kişisel görüşler veya duygu paylaşımı izlerine rastlanmamıştır.



Şekil 15. Rusya’nın diğer ülke ilişkileri

Çin ekonomisinin üretip dışarıya satmak üzerine kurulu olduğu göz önüne alındığında, düşman olarak görülen ABD’le bile ilişkilerinin “kötü” olmaması, Çin hükümetinin ticari ortakları

ile ilişkilerini zedeleyecek haberlerin yayımlanmasına izin vermemesi ile açıklanabilir. Aldığımız bu sonuç ile de üçüncü araştırma sorumuza “AS3: Bir ülkedeki medyanın, dış politika hakkında haber yapabilme özgürlüğünün

olup olmadığının tespiti mümkün müdür?” cevap bulunmuştur.

Tablo 4. Tüm ülkeler arası ilişki puanları

	Kanada	Çin	Almanya	Fransa	İran	İtalya	Japonya	Rusya	İngiltere	ABD
Kanada		-30	-23	-31	-49	-37	-1	-31	-26	-27
Çin	-13		-19	-18	-12	-14	-11	-11	-15	-1
Almanya	-15	-24		38	-2	129	-10	-7	-10	-7
Fransa	-1	-20	1		-12	-14	-11	-11	-15	-1
İran	-9	-4	-11	-8		-2	-1	-4	-9	-29
İtalya	101	52	82	41	-39		-4	-9	32	-10
Japonya	10	-10	199	-8	-70	10		-96	18	-11
Rusya	-21	-4	-8	-15	3	-9	-6		-3	-21
İngiltere	-10	-17	-11	-20	-10	-10	-11	-10		-8
ABD	-4	-9	10	-28	-10	-16	-18	-22	-31	

4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, haberler üzerinden ülkeler arası ilişki analizi yapabilen bir sistemin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Uygulama iki farklı modülden oluşmaktadır. İlk modül içerisinde, veri üzerinde ön işleme, haberler içerisinde bilgi içeren cümlelerin seçilmesi, cümleler üzerinden duygu analizinin yapılması ve haberin pozitif veya negatif olarak yorumlanması gerçekleştirilmektedir. İkinci modül de ise ülkeler arasındaki ilişkinin derecesi sayısallaştırılarak harita üzerinde belirli bir renk aralığında gösterilmekte, ülkeler ile ilgili bilgiler, haberlere ait anahtar kelimeler ve haberlerin içerikleri görsel bir arayüz ile kullanıcıya sunulmaktadır. Çalışmanın sonucunda ülkeler arasındaki ilişkilerin gerçek hayattaki dönemsel değişikliklerini saptamaya çalışan kapsayıcı bir sistem geliştirilmiştir. Çalışmanın daha ileri aşamalara taşınabilmesi için, otomatik veri toplama araçları geliştirilerek daha büyük veri kümeleri üzerinde çalıştırılması sağlanacaktır. Böylece,

yetersiz veriden kaynaklanan birçok sorunda çözülmüş olacaktır. Buna ek olarak gelecek çalışmalarda, cümlelerin hangi ülkelere yönelik yazıldığını daha kapsayıcı şekilde bulabilen alt modüllerin geliştirilmesi gereklidir.

Yazarların Katkısı

Yazarlardan Alp Bintuğ Uzun ve Alperen Özer kodlamayı gerçekleştirmiş olup, Banu Diri’de danışmanlık yapmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur

Kaynakça

- [1] R. Adarsh, A. Patil, S. Rayar and K. Veena, “Comparison of VADER and LSTM for sentiment analysis English,” *Int. Journal of Recent Technology and Engineering*, vol. 7, no. 6, pp. 540–543, Mart 2019.
- [2] “VADER Sentiment Analysis”, Mart 2022. [Online]. Mevcut: <https://github.com/cjhutto/vaderSentiment> [Erişim tarihi 8.03.2022].

- [3] V. Kharde and S. Sonawane, “Sentiment analysis of twitter data: A survey of techniques,” *Int. Journal of Computer Applications*, vol. 139, pp. 5–15, Nisan 2016.
- [4] A. Agarwal, B. Xie, I. Vovsha, O. Rambow and R. Passonneau, “Sentiment analysis of twitter data,” in *Proc. of the 2011 Workshop on Languages in Social Media-LSM’11*, Haziran 2011, Portland, Oregon [Online]. Mevcut: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.5555/2021109.2021114>. [Erişim tarihi: 8.03.2022].
- [5] C. Hutto and E. Gilbert, “VADER: A Parsimonious Rule-Based Model for Sentiment Analysis of Social Media Text,” *ICWSM*, vol. 8, no. 1, pp. 216-225, Mayıs 2014, Michigan, USA [Online]. Mevcut: <https://ojs.aaai.org/index.php/ICWSM/article/view/14550/14399>. [Erişim tarihi: 8.03.2022].
- [6] A. Shelar and C. Y. Huang, “Sentiment analysis of twitter data,” in *Int. Conference on Computational Science and Computational Intelligence-CSCI*, pp. 1301-1303, Aralık 2018, Las Vegas, NV, USA [Online]. Mevcut: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=8947771>. [Erişim tarihi: 8.3.2022].
- [7] T. Pano and R. Kashef, “A complete vader-based sentiment analysis of bitcoin (btc) tweets during the era of covid-19”. *Big Data and Cognitive Computing*, vol. 4, no. 33, pp.1-17, Kasım 2020.
- [8] M. Cetin and M. Amasyali, “Supervised and traditional term weighting methods for sentiment analysis,” in *21st Signal Processing and Communications Applications Conference-SIU*, pp. 1-4, Nisan 2013, Haspolat, Northern Cyprus [Online]. Mevcut: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6531173>. [Erişim tarihi: 8.03.2022].
- [9] U. Erogul, “Sentiment Analysis in Turkish,” M.S. Thesis, METU, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara, Turkey, 2009.
- [10] A. G. Vural, B. B. Cambazoglu, P. Senkul and Z. O. Tokgoz, “A framework for sentiment analysis in Turkish: Application to polarity detection of movie reviews in Turkish,” *Computer and Information Sciences III*, Springer, London, pp. 437–445, 2013.
- [11] H. Nizam and S. S. Akın, “Sosyal medyada makine öğrenmesi ile duygu analizinde dengeli ve dengesiz veri setlerinin performanslarının karşılaştırılması,” in *XIX. Türkiye’de Internet Konferansı*, Kasım 2014, İzmir, Türkiye.
- [12] “ISO 3166 Alpha 2 Codes”, [Online]. Mevcut: <https://www.iso.org/iso-3166-country-codes.html>. [Erişim tarihi 7.9.2021].
- [13] “NLTK – Natural Language Toolkit”, [Online]. Mevcut: <https://www.nltk.org/>. [Erişim tarihi 7.9.2021].
- [14] “spaCy: Industrial-strength”, 2020. [Online]. Mevcut: <https://spacy.io/>. [Erişim tarihi 7.9.2021].
- [15] “BRICS Information Portal”, 2015. [Online]. Mevcut: <https://infobrics.org/>. [Erişim tarihi 7.9.2021].



Yedikardeş Burcu'nun Dinamik Analizi

Rojbin İZGİ YÖNTEN¹, Mehmet Emin ÖNCÜ^{1*}, Mehmet CEBE²

¹Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Diyarbakır

²Dicle Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Diyarbakır

(ORCID: [0000-0001-8362-0392](https://orcid.org/0000-0001-8362-0392)) (ORCID: [0000-0001-6434-293X](https://orcid.org/0000-0001-6434-293X)) (ORCID: [0000-0003-3830-4619](https://orcid.org/0000-0003-3830-4619))



Anahtar Kelimeler:

Tarihi yapılar, Diyarbakır surları, Yedikardeş Burcu, Yapısal performans.

Öz

Bu çalışmada Diyarbakır'ın en önemli kültür mirası olan Diyarbakır Surlarının en büyük burçlarından biri olan Yedikardeş Burcunun (41 nolu burç) yapısal performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Yapısal özellikleri incelenen burç, makro modelleme tekniği kullanılarak üç farklı şekilde modellenmiştir. Burcun dinamik analizi ANSYS programı kullanılarak yapılmış ve sonuçlar üç model için karşılaştırılmıştır. Düşey yük ve azaltılmamış deprem etkisi altında oluşan asal gerilmelerin Yedikardeş Burcunun hesap dayanımlarını aşmadığı görülmüştür. Ayrıca burcun farklı kotlarındaki deplasmanlar alınarak hesaplanan öteleme oranının, tarihi yapıların indirgenmemiş deprem etkisi altında sınırlı hasar performans düzeyi için kabul edilen %0.3 öteleme oranı değerini aşmadığı görülmüştür. Bu nedenle Yedikardeş Burcunun sınırlı hasar performans düzeyini sağladığı değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda büyük hacimli tarihi yapılarda gerçek davranışı yansıtan modelin yapının özel durumuna göre değişebileceği görülmüştür.

Dynamic Analysis of Yedikardeş Bastion

Keywords:

Historical structures, Diyarbakır city walls, Yedikardeş Bastion, Structural performance.

Abstract

In this study, it is aimed to evaluate the structural performance of the Yedikardeş Bastion (41st bastion), one of the biggest bastions of Diyarbakır City Walls, which is the most important cultural heritage of Diyarbakır. The bastion, whose structural characteristics were examined, was modeled in three different ways by using macro modeling technique. Dynamic analysis of the bastion was performed using the ANSYS program and the results were compared for three different models. It has been observed that the principal stresses under the effect of vertical and unreduced earthquake loads do not exceed the strengths of Yedikardeş Bastion. In addition, it has been obtained that the drift ratio calculated by taking the displacements at different elevations of the bastion does not exceed the 0.3% drift ratio value, which is accepted for the limited damage performance level of historical structures under the effect of unreduced earthquakes. For this reason, it was evaluated that Yedikardeş Bastion provides limited damage performance level. As a result of the study, it has been seen that the model reflecting the real behavior in large-volume historical buildings can change according to the characteristics of the structures.

1. Giriş

Tarihi yapılar geçmişten günümüze varlıklarını sürdürebilmiş, birçok farklı yapı tekniği ile inşa

*Sorumlu yazar: oncume@dicle.edu.tr

Geliş Tarihi: 23.09.2021, Kabul Tarihi: 29.10.2021

edilmiş yapılardır. Her biri kendine özgü dokusu ve yapısıyla insanlığın önemli ve ortak değerleridir. Bu yapıların korunması, gerektiğinde doğru onarım yöntemleri ile orijinaline uygun olarak onarılması ve geleceğe güvenle aktarılması önem arz etmektedir. Bu doğrultuda tarihi yapıların mevcut durumlarının incelenerek dinamik analizlerinin yapıldığı çalışmalar önem kazanmaktadır.

Toker ve Günay [1] tarafından genel bir kemerli taş köprü örneği modellenmiştir. Çalışma ile yığma yapıların korunması ve restorasyon yöntemlerinin belirlenmesi amacıyla matematiksel modelleme yapılabileceği, modelleme sonucu yapılan analizler sonucunda yapının zayıf bölgelerinin belirlenebileceği, yapılarda yüklem altında meydana gelebilecek çatlakların yerlerinin belirlenebileceği sonuçlarına ulaşılmıştır. Bayraktar [2] tarafından farklı tipteki tarihi yapıların yapısal özelliklerine uygun güçlendirme teknikleri değerlendirilmiştir. Sevim ve ark. [3] tarafından Karadeniz bölgesinde bulunan Osmanlı ve Şenyuva kemer köprüleri üç boyutlu olarak ANSYS programında modellenerek bulunan frekans değerleri ile deneysel titreşim analizinden bulunan değerlerin uyumluluğu gösterilmiştir. Aksoy ve Aydoğmuş [4] tarafından yapılan çalışmada, Kargı Han'ın yapısal analizinden bulunan basınç ve kayma gerilmesi değerlerinin yönetmelikte verilen sınır değerleri aştığı görülmüştür. Aydın ve Taylan [5] tarafından Darıderesi-II Göleti ANSYS programı ile modellenmiştir. Onat ve Sayın [6] tarafından, Tunceli ilinin Çemişgezek ilçesindeki Tağar köprüsünün üç boyutlu sonlu eleman modelinin ANSYS programı kullanılarak doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri yapılmış, yer değiştirme-zaman grafikleri elde edilmiş, ilk hasarın meydana geldiği ana kadar frekans ve genlik değerlerinin aynı olduğu görülmüş ve hasarların köprü'nün mevcut performansını tehlikeye sokacak büyüklükte olmadığı sonucuna varılmıştır. Mangia ve ark.[7] tarafından çalışmada Tunceli ilinde bulunan Elti Hatun Camii'nin Diana sonlu elemanlar yazılımı ile modellenmiş, sayısal analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler ile yapının güvenlik seviyesinin kabul edilebilir seviyede olduğu sonucuna varılmıştır. Behnamfar ve Afshari [8], doğrusal olmayan dinamik analiz ile üç yığma kemer köprü'nün sismik analizini yapmışlardır. Köprü'nün sismik direnci, kemerin orta açıklıklı düğümünün enine

yer değiştirmesi ve kemerin farklı deprem kayıtları altında normal stres dağılımı göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analiz sonuçları, kırılğan davranışların gözlemlendiğini ve bölümlerin gerginlik dengesizliği nedeniyle kemer boyunca hasarın meydana geldiğini göstermiştir. Zampieri ve ark [9], çok açıklıklı yığma kemer köprülerin üç açıklıklı ve beş açıklıklı bir duvar kemer köprüsü olmak üzere iki farklı yapısal konfigürasyonunun sismik performansını incelemiştir. İtme analizi sonuçlarına göre, iskele tabanının maksimum kapasitesine ulaştığını ve bir çökme mekanizmasına işaret eden çatlaklar meydana geldiği değerlendirilmiştir. Analiz sonuçları artan kemer uzunluğu ve iskele incelik oranının bükülmeye bağlı bir çökme mekanizması oluşturma olasılığını artırdığını göstermiştir. Sevim ve ark. [10], bir yığma kemer köprüsü üzerindeki yakın ve uzak fay zemin hareketi etkilerini yer değiştirme ve stres değerleri açısından araştırmışlardır. Analiz sonuçlarına göre, yakın fay zemin hareketleri için kontrol düğümünün daha yüksek yer değiştirmesi ve yapısal elemanlar üzerindeki gerilmeler gözlenmiştir. Lourenço ve ark. [11], Lizbon, Portekiz'deki Jeronimos Manastırı olarak adlandırılan tarihi bir yapının yapısal güvenlik değerlendirmesini yapmışlardır. Makalede, tarihsel yapılarda sayısal analizlerden elde edilen sonuçların, yapısal davranışı anlamak için genellikle önemli olduğunu vurgulanmıştır. Pela ve ark. [12] kemerleri betondan ve tuğladan inşa edilmiş iki farklı köprü'nün doğrusal olmayan statik analizlerini yapmışlardır. Öncü ve ark. [13] Tarihi Tuzluca köprüsünün yapısal durumunu değerlendirmek amacıyla tek açıklığa sahip köprü'nün ANSYS programında üç boyutlu olarak modellemesini yapmış ve köprü'nün statik ve dinamik yükler altında doğrusal analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda tarihi köprü'nün sınırlı hasar performans düzeyini sağladığı kanaatine varmışlardır. Milani ve ark. [14], seçili yığma kemer köprülerin dikey yüklem altında 3D doğrusal olmayan davranışı incelenmiş, 2B hipotezlerin sınırlamaları ve transversal (enine) etkilerin önemi vurgulanmıştır. Oliveira ve ark. [15], Portekiz ve İspanya'dan seçili yığma kemer köprülerin yük taşıma kapasitesinin parametrik bir değerlendirmesini yapmışlardır. Daha sonra, köprü kalınlığının ve dolgunun fiziksel özelliklerinin nihai yük taşıma kapasitesi açısından önemini araştırmışlardır. Kemer kalınlığının ve dolgunun fiziksel özelliklerinin nihai yük taşıma kapasitesi açısından son derece önemli olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Aydın ve Özkaya [16],

çalışmada Ordu ili içerisinde bulunan tarihi Sarpdere Köprüsü'nün üç boyutlu modellemesini Ansys programıyla modellemişlerdir. Modelin statik analiz yöntemi ile belirli yüklerin altında gösterdiği tek yayılmış yığma kemer köprülerin davranışlarının hesaplanmasını amaçlayan bir çalışmadan elde edilen sonuçlar ile literatürdeki mevcut çalışmalara uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada tarihi Diyarbakır surlarının burçlarından biri olan Yedikardeş Burcunun yapısal analizinin yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada önce tarihi yapıların analiz yöntemleri belirtilmiş ardından yapısal özellikleri verilen burç üç farklı teknikte modellenmiştir. ANSYS programı kullanılarak burcun dinamik analizleri yapılmış ve sonuçlar üç model için karşılaştırılmıştır

2. Materyal ve Metot

2.1. Yığma Yapılarda Kullanılan Modelleme Teknikleri ve Yapı Modelinin İdealleştirilmesi

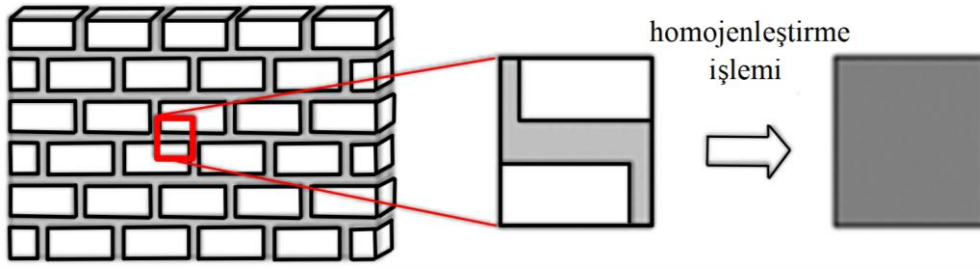
Yığma yapıların modellenmesinde, yığma birimlerin ve harcın statik ve dinamik yükler altındaki davranışı bazı teknikler kullanılarak incelenmektedir. Bunlar; detaylı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ve makro modelledir. Bu çalışmada makro modelleme tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte; yapıda kullanılan taş, tuğla ve harç gibi malzemeler homojenleştirme işlemine tabi tutularak kompozit bir malzeme olarak kabul edilmektedir. Yığma yapı türünde yapılmış olan tarihi yapıların statik ve dinamik davranışlarının incelenmesi amacıyla yapılan analizlerde birtakım kabuller yapılmaktadır. Bu kabuller betonarme yapılar için kullanılan kabullerden farklılık göstermektedir. Bunun nedeni betonarmenin heterojen bir malzeme olmasına rağmen, yapılan kabullerle bir yapısal elemanı aynı çeşit sonlu elemanla tanımlanmasının mümkün olmasıdır. Yığma yapı duvarlarında ise taş ve tuğla gibi yığma birimlerin ve farklı karakteristiklere sahip harcın bir arada bulunması tek tip sonlu eleman ile modellemeyi zorlaştırmaktadır. Bu durumda yapıya gerçeğe uygun bir modelleme tekniği uygulanmalıdır.

Farklı mekanik özellikteki bu birimleri ayrı ayrı modelleme yolu da tercih edilebilir. Bu modelleme ile yığma birimlerin ve ara yüzey elemanları ayrı ayrı modellenmektedir. Bu durumda bilinmeyen sayısı oldukça artmakta, çözüm süreci uzamaktadır [17].

Yığma yapıların yapım aşamasında genellikle yerel malzemelerden yararlanılmıştır ve taşıyıcı birimlerin birbirinden farklı mekanik özelliklere sahip olmalarından dolayı yapı davranışının modellenmesinde dikkatli olunmalıdır. Yapının davranışının gerçeğe en yakın şekilde modellenmesi gerektiğinden, oluşan zorlukların giderilmesi amacıyla kimi kabullere ve basitleştirme işlemlerine başvurulmaktadır. Tarihi yapıların taşıyıcı elemanlarının mimari detayları olabilmektedir. Taşıyıcı sistem bilgisayar ortamında modellenirken kemer, kubbe ve tonoz gibi yapı elemanlarının mimari detayları sadeleştirilerek yeni bir geometrik forma dönüştürülmektedir. İdealleştirme yapılırken, tüm taşıyıcı elemanların davranışını en iyi temsil edecek, yapının orijinal geometrisine uygun modellerin seçilmesine dikkat edilmelidir [18].

2.2. Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramlarının İdealleştirilmesi

Gerilme-şekil değiştirme diyagramları lineer bağıntılar ile modellenebilir. Bilgisayar analizine esas olan bu model ile gerçek malzeme davranışı basitleştirilerek temsil edilmiş olur. Sayısal metotlarla, yapının göçme öncesi hasar durumu, göçme mekanizmaları ve yapısal performansı belirlenebilmektedir [19]. Ayrıca, tarihi yığma yapıların mekanik özellikleriyle ilgili göz önüne alınması gereken hususlar vardır. Bunlardan biri malzeme davranışının homojen ve izotropik olmadığıdır. Ayrıca çekme dayanımı çok düşük olduğu için sıfır olarak kabul edilebilmektedir. Bu yapılar basınç yükleri altında gevrek davranış sergilemektedir. Kesme kuvvetleri altında kısmi sünek davranış görülür. Çatlak ve hasarlar eleman rijitliklerini etkilemektedir [20]. Makro modelde, malzemenin homojen olduğu kabul edilip, tüm noktalarda aynı davranışı gösterdiği varsayımı yapılır (Şekil 1). Bu doğrultuda yapılan makro modellemede, taşıyıcı elemanlar ile aralarındaki harç malzemeleri birlikte tek bir malzeme olarak modellenir.



Şekil 1. Yığma yapılarda homojen malzeme seçimi için kullanılan birim hücre yöntemi [19]

2.3. Farklı yapı malzemelerinin homojenize edilmesi

Yığma yapıların modellenmesinde kullanılan makro modelleme yönteminde, harç ve taş/tuğladan oluşan yapının tek bir malzeme gibi modellenmesi yani yapının homojenleştirilmesi yapılmaktadır. Bu iki malzemenin tek bir malzeme gibi düşünülmesinde elastisite modülü için Lourenço tarafından Denklem 1’de verilen bağıntı önerilmiştir [21].

$$E = \frac{t_m + t_u}{\frac{t_m}{E_m} + \frac{t_u}{E_u}} \cdot \rho \quad (1)$$

Burada, E , homojenleştirilmiş malzemenin elastisite modülünü, t_m harç kalınlığını, t_u taş veya tuğla yüksekliğini, E_m harcın elastisite modülünü, E_u taş veya tuğlanın elastisite modülünü, ρ sabiti ise tuğla ile harç arasındaki etkileşimi ifade etmektedir. ρ değeri 0-1 arasında değişen bir katsayı olup genellikle 0.5 kabul edilebilir. Yığma yapıların basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan homojenleştirme işlemi için Eurocode 6’da önerilen bağıntı Denklem 2’de verilmiştir.

$$f_k = K \cdot f_b^\alpha \cdot f_m^\beta \quad (2)$$

Burada, f_k homojenleştirilmiş malzemenin basınç dayanımını, f_b taş veya tuğlanın basınç mukavemetini, f_m harcın basınç mukavemetini ifade etmektedir. K , α , β değerleri birer sabittir. α değeri 0.625, β değeri 0.25 olup burada K , 0.4 ile 0.6 arasında alınabilen bir sabittir ve genellikle 0.5 olarak değerlendirilmektedir [21].

2.4. Yedikardeş Burcunun Özellikleri ve Malzemenin Homojenleştirilmesi

Diyarbakır tarihi kent merkezini çevreleyen ve genel hatlarıyla bugünkü sınırlarına IV. Yüzyılda

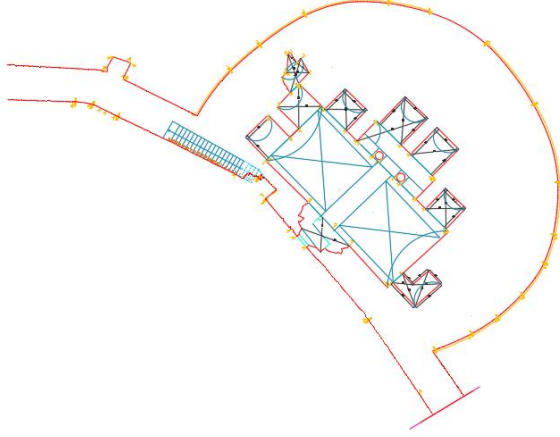
ulaşan surlar, yapıldığı dönemden itibaren kentin en önemli mimari ögesi olmuştur. Diyarbakır surlarının çevre uzunluğu yaklaşık 5200 metredir. İç Kale’nin, Suriçinde kalan bölümünün uzunluğu 599m, İç Kale ile sur duvarlarının toplam uzunluğu yaklaşık 5800 metredir. Sur duvarlarının yaklaşık 645 metrelik bölümü çeşitli sebeplerle yıkılmış veya yıktırılmıştır. İç Kale dâhil, sur duvarlarının çevrelediği toplam alan yaklaşık olarak 1,57km²’dir. Gabriel dış surlar üzerinde 82, İç Kalede ise 18 adet burç tespit etmiştir [22]. Bu burçlardan biri de Yedikardeş Burcudur. Yedikardeş Burcu, surların çevirdiği alanın güney batısında bulunan tarihi Ali Paşa Camii ve Medresesinin güneyinde bulunan 41 nolu burç olarak literatürde kayıtlı olan ve taşıyıcı sistem türü yığma yapı olan tarihi bir yapıdır (Şekil 2). Burcun planı Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yedikardeş Burcu güney cephesi

Yıllar içerisinde Diyarbakır Surlarında değişimler olmuştur. Tarihi surların dokuları zarar görmüş, sur ve burçların taşları sökülerek geçkondu inşasında kullanılmıştır. Yapıda meydana gelen bu tahribatlar nedeniyle surlar ve burçlarda yıllar içinde birçok onarım yapılmıştır. Bilinçsiz yapılan restorasyon çalışmaları, plansız yerleşim gibi sebeplerle birlikte sur ve burçlarda oluşan deformasyonlar Diyarbakır Surlarının yapısal durumunun değerlendirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu amaçla, çalışmada Diyarbakır

Surlarında yer alan Yedikardeş Burcunun üç boyutlu sonlu eleman modeli hazırlanmış, statik ve dinamik analizleri yapılarak yapısal durumu incelenmiştir.



Şekil 3. Yedikardeş Burcu'nun zemin kat planı [23]

Yedikardeş Burcu duvarlarında tarihi Diyarbakır bazaltı kullanılmış olup, bağlayıcı harç malzemesi kaymak kirecidir. Modellemede kullanılan ve yapıda tonoz kullanılan kısımları temsil eden üst yüzeyde harman tuğlası kullanılmış olup bağlayıcı harç malzemesi kireç harcıdır. Tarihi yapılarda yerinde inceleme imkanının olmadığı ya da yapıya zarar vermektan kaçınmak istendiği durumlarda malzemelerin mekanik özellikleri literatürden alınarak kullanılabilir. Bu tez çalışmasında Yedikardeş Burcunda kullanılan harman tuğlası, bazalt taşı ve horasan harcının mekanik özellikleri literatürdeki çalışmalardan alınmıştır [24-27]. Yapıdaki malzeme özellikleri homojenleşme yöntemiyle modellenen elemanlara tanımlanmıştır. Malzeme özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Malzeme özellikleri

Malzeme	Elastisite Modülü (MPa)	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Poisson Oranı	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Bazalt Taşı	20140	2280	0.236	57.66	0.625
Horasan Harcı	1100	1340	0.2	6.25	0.625
Harman Tuğlası	6085	1930	0.2	6.6	0.42

2.5. Yedikardeş Burcu'nun Bulunduğu Konumun Depremselliği

Yedikardeş Burcu'nun konumuna ait deprem verilerine Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının (AFAD) [28], Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması ile ulaşılmıştır. Bu uygulama ile istenen deprem yer hareketi düzeyine göre, konum ve yerel zemin sınıfı girilerek, yatay elastik ivme spektrumu, düşey elastik ivme spektrumu ve sismik tehlike haritası özet veya detay raporu alınabilmektedir. Bu raporda kısa ve 1 saniye periyot için spektral ivme katsayıları, yerel zemin etki katsayıları, en büyük yer ivmesi ve yer hızı değerleri yer almaktadır. İvme değerleri yerçekimi ivmesinin katsayısı olarak boyutsuz verilmektedir [29]. Yedikardeş Burcu yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları Şekil 4 ve 5 'te verilmiştir. Bulunan değerler aşağıda verilmiştir: Yedikardeş Burcunun konumuna ait deprem verilerine Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının (AFAD) [28], Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması ile ulaşılmıştır. Bu uygulama ile istenen deprem yer hareketi düzeyine göre, konum

ve yerel zemin sınıfı girilerek, yatay elastik ivme spektrumu, düşey elastik ivme spektrumu ve sismik tehlike haritası özet veya detay raporu alınabilmektedir. Bu raporda kısa ve 1 saniye periyot için spektral ivme katsayıları, yerel zemin etki katsayıları, en büyük yer ivmesi ve yer hızı değerleri yer almaktadır. İvme değerleri yerçekimi ivmesinin katsayısı olarak boyutsuz verilmektedir [29]. Yedikardeş Burcu yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları Şekil 4 ve 5 'te verilmiştir. Bulunan değerler aşağıda verilmiştir:

$$S_s = 0.304, S_1 = 0.128, S_{DS} = 0.243, S_{D1} = 0.102, PGA = 0.135, PGV = 10.181$$

Burada;

S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

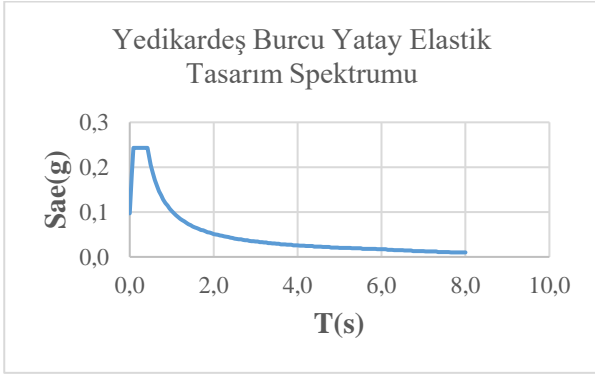
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

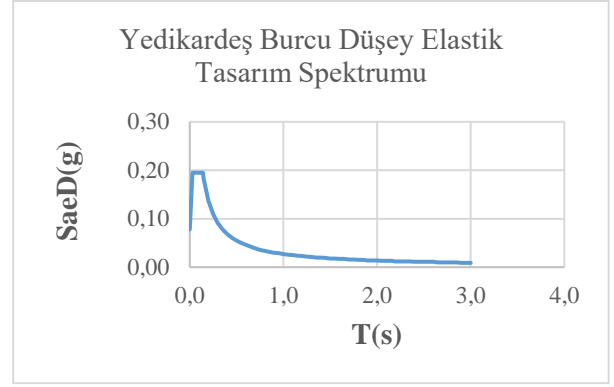
S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

PGA: En büyük yer ivmesi (g)

PGV: En büyük yer hızı (cm/s)



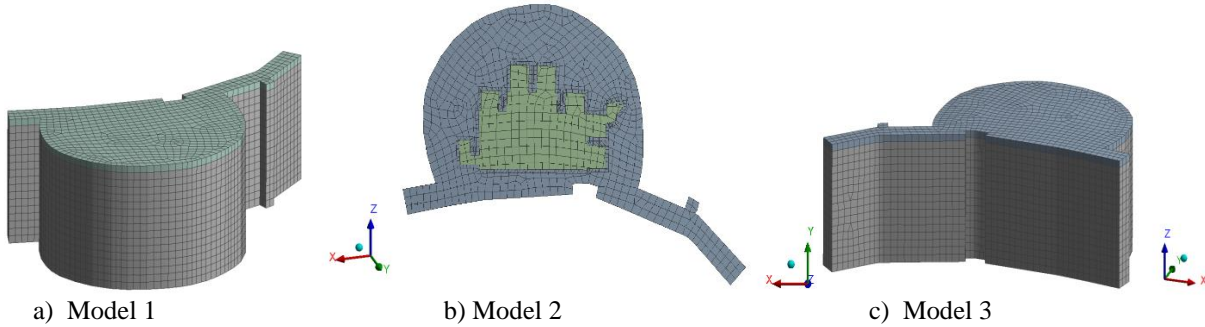
Şekil 4. Yatay elastik tasarım spektrumu



Şekil 5. Düşey elastik tasarım spektrumu

2.6. Yedikardeş Burcu'nun Sonlu Eleman Modeli

Kalkan balığı planına sahip olan Diyarbakır Surlarının büyük burçlarından olan Yedikardeş Burcunun modellenmesinde, burcun rölövesi esas alınmıştır. Bu yüzden burcun iki yanında devam eden duvarlar rölövedeki gibi alınmıştır. Burç sonlu elemanlar yöntemiyle üç boyutlu olarak modellenmiş, üç farklı modelleme (Şekil 6) yapılarak yapı davranışı incelenmiştir. Modellerin statik ve dinamik analizleri ANSYS [30] programı kullanılarak yapılmıştır.



Birinci modelde (Model 1) yapı, dört farklı katı modelden oluşmaktadır. Bunlar, kalınlığı da göz önüne alınarak modellenmiş olan iç duvar, dış duvar, dolgu duvar ve üst döşemedir. Bu modelde iç duvar ve dış duvar ince yonu taş duvarlar olup ara duvar ise moloz bazalt taşlarının harçla birleştirildiği dolgu duvardır. Yapıda tonozlar tarafından taşınan 2 metrelik toprak dolgu bulunmaktadır. Modelde bu toprak dolgu döşeme tarafından taşınmaktadır. Dış duvar ve iç duvarın modellenmesinde kullanılan malzemelerin özellikleri aynı olup, modele tanımlanan malzemelerin mekanik özellikleri, bazalt malzemesiyle kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucunda elde edilen değerleridir. Dolgu duvarın

modellemesinde kullanılan malzemeler moloz taşlar ve kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirme işlemi sonucu elde edilen malzeme değerleridir. Tonozlar tarafından taşınan döşeme modellemesinde kullanılan malzeme değerleri ise harman tuğlası ve kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucu elde edilen malzeme değerleridir.

İkinci modelde (Model 2) yapı üç farklı katı elemandan oluşmaktadır. Bunlar iç duvar, dış duvar ve döşemedir. İç ve dış duvarlar ince yonu taş duvarlar olup, toprak dolgu döşeme tarafından taşınmaktadır. Dış duvar ve iç duvarın modellenmesinde kullanılan malzemelerin özellikleri aynı olup, modele tanımlanan malzemelerin mekanik özellikleri, bazalt

malzemesiyle kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucunda elde edilen değerleridir. Tonozlar tarafından taşınan döşeme modellemesinde kullanılan malzeme değerleri ise harman tuğlası ve kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucu elde edilen malzeme değerleridir.

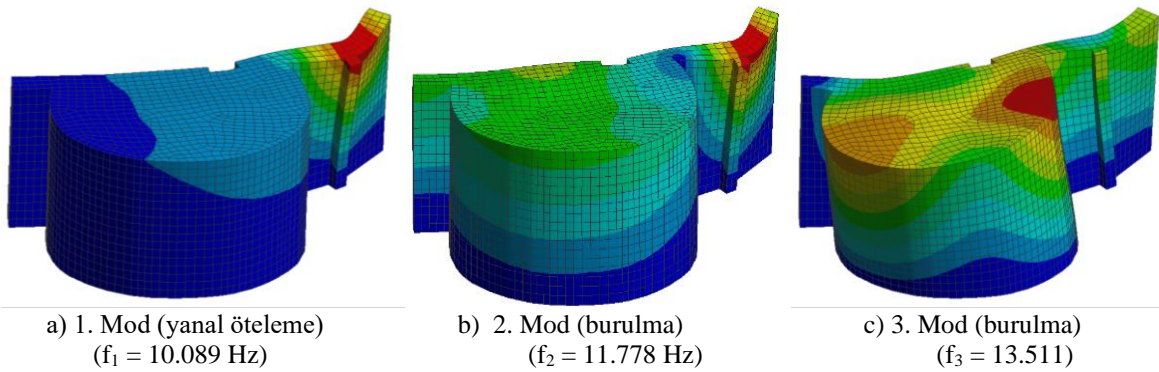
Üçüncü modelde (Model 3) yapı iki farklı katı elemandan oluşmaktadır. Bunlar duvar ve toprak dolgu taşıyan döşemedir. Dış duvarın modellemesinde kullanılan malzeme özellikleri bazalt malzemesiyle kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucunda elde edilen değerleridir. Tonozlar tarafından taşınan döşeme modellemesinde kullanılan malzeme değerleri ise harman tuğlası ve kireç harcının mekanik özelliklerinin homojenleştirilme işlemi sonucu elde edilen malzeme değerleridir.

Burç modellerinde sınır şartları belirlenirken burcun tabanı ankastre olarak mesnetlenmiştir. Burcun sağında ve solunda uzanan duvarların yüzeyleri X yönünde sabit, Y ve Z yönünde serbest olacak şekilde modellenmiştir. Burcun statik analizinde, burcun kendi ağırlığının yanı sıra TS 498'den (Yapı Elemanlarının

Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri) alınan kar yükü ve hareketli yük etki ettirilmiştir. Oluşturulan modellerden Model 1, 133488 düğüm noktası ve 29459 katı elemandan, Model 2, 88488 düğüm noktası ve 20086 katı elemandan, Model 3 ise 63877 düğüm noktası ve 16555 katı elemandan oluşmaktadır. Katı elemanın boyutları 0.5m ile 1m arasında değişmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Yedikardeş Burcu'na ait üç modelin modal ve spektral analizlerinde sönüm oranı 0.05 alınmıştır. Model 3'ün modal analiz sonucu elde edilen mod şekilleri diğer modellere göre daha anlamlı çıkmıştır. Bu modele ait ilk 12 mod incelenmiş, ilk 3 mod şekli Şekil 7'de verilmiştir. Frekans değerleri 10.089-29.75 Hz aralığında değişmektedir. Analiz sonuçlarına göre 1. mod şekli yanal öteleme 2. ve 3. mod şekilleri burulma olarak gözlenmiştir. Spektral analiz sonucunda elde edilen gerilmeler Tablo 2'de verilmiştir.



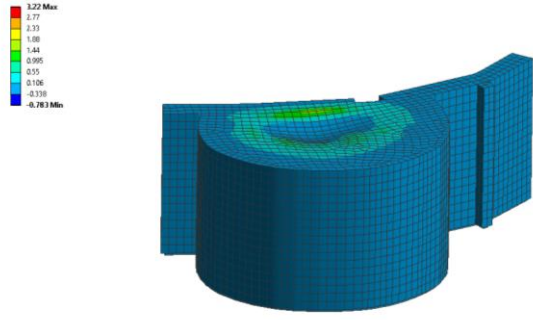
Şekil 7. Model 3'ün frekans değerleri ve mod şekilleri

Tablo 2. Spektral analizden elde edilen maksimum gerilme ve şekil değiştirmeler

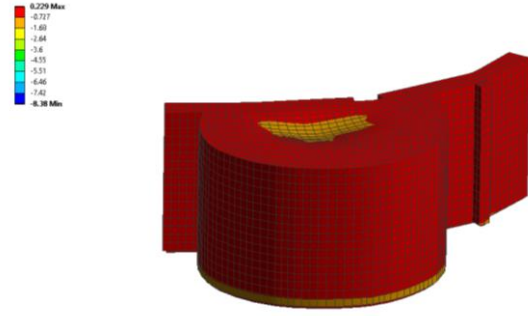
	Maksimum gerilme (MPa)	Minimum gerilme (MPa)
Model 1	2.37	10.5
Model 2	0.921	1.79
Model 3	0.349	0.5

Yedikardeş Burcu için oluşturulan modellerin statik yükler altındaki analizinden elde edilen maksimum ve minimum asal gerilmeleri

incelenmiştir. Model 1 için maksimum asal gerilme 3.22 MPa, minimum asal gerilme ise 0.229 MPa bulunmuştur. Model 2 için maksimum asal gerilme 1.3 MPa, minimum asal gerilme ise 0.0809 MPa bulunmuştur. Model 3 için maksimum asal gerilme 1.84 MPa, minimum asal gerilme ise 0.0625 MPa bulunmuştur (Şekil 8-10). Yedikardeş Burcu'nun düşey yükler altındaki analiz sonuçlarından, Yedikardeş Burcu'nun mevcut durumunun düşey yük taşıma güvenliğinin yeterli olduğu görülmüştür. Bulunan değerler Tablo 3'de verilmiştir.

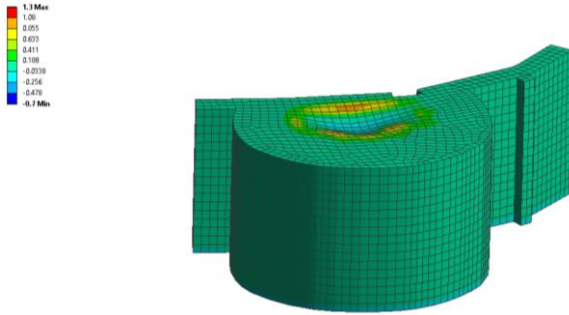


a) Model 1'de oluşan maksimum asal gerilme

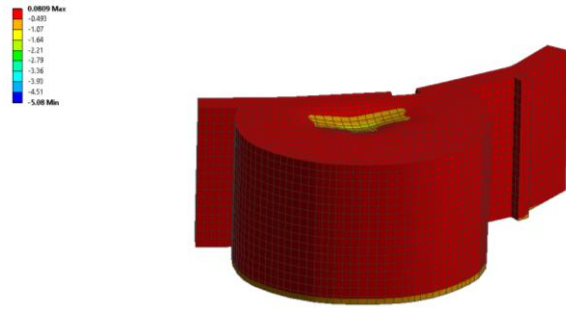


b) Model 1'de oluşan minimum asal gerilme

Şekil 8. Model 1 de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler (MPa)

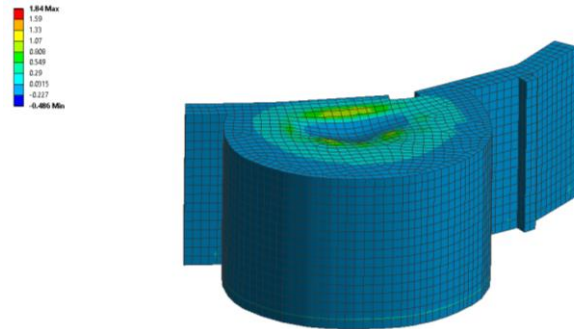


a) Model 2'de oluşan maksimum asal gerilme

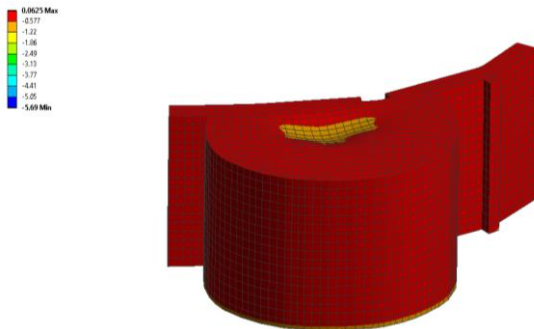


b) Model 2'de oluşan minimum asal gerilme

Şekil 9. Model 2'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler (MPa)



a) Model 3'de oluşan maksimum asal gerilme



b) Model 3'de oluşan minimum asal gerilme

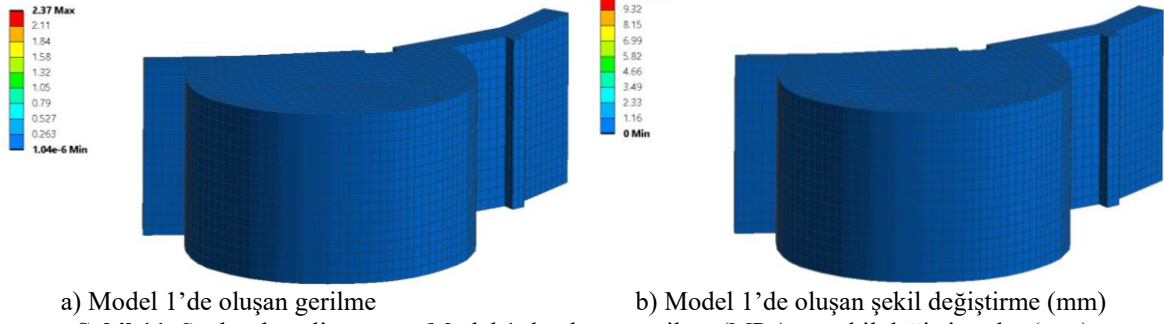
Şekil 10. Model 3'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler (MPa)

Tablo 3. Model 1, Model 2 ve Model 3'de oluşan maksimum ve minimum asal gerilmeler

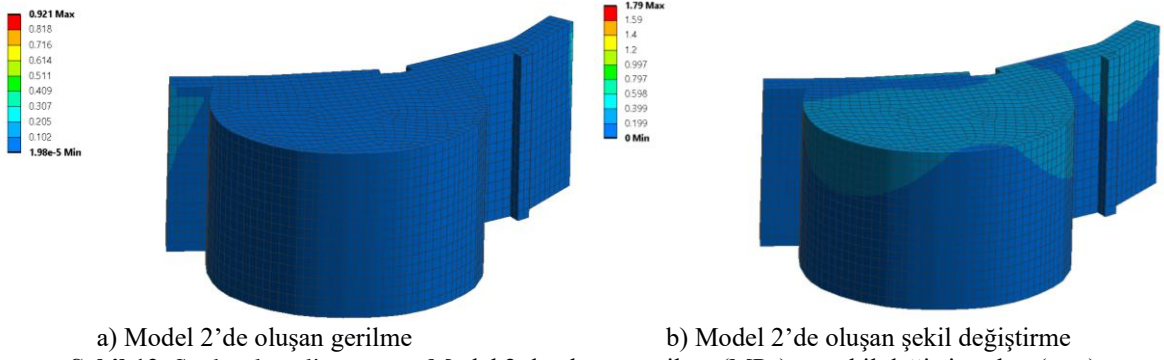
	Maksimum asal gerilme (MPa)	Minimum asal gerilme (MPa)
Model 1	3.22	0.229
Model 2	1.3	0.0809
Model 3	1.84	0.0625

X ve Y yönü doğrultusundaki spektral analizler sonucunda Model 1, 2 ve 3'de oluşan gerilmeler ve

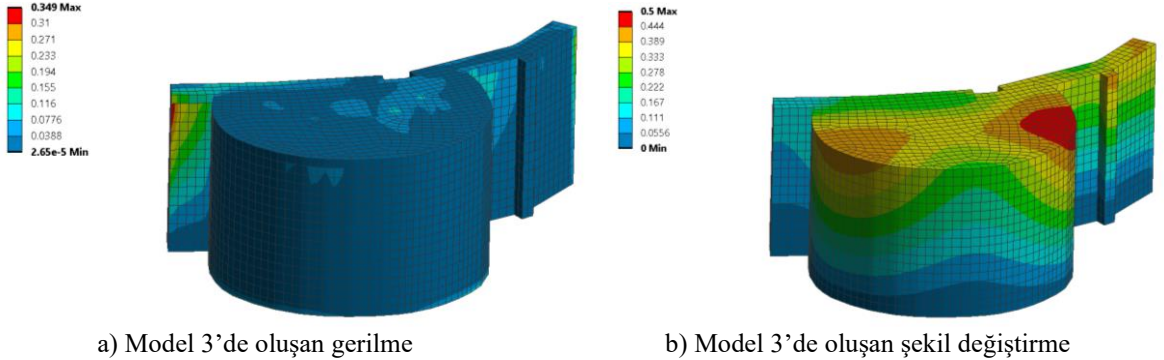
şekil değiştirmeler şekilde verilmiştir. Yedikardeş Burcu için hazırlanan üç modelin X ve Y yönleri için yapılan spektral analizlerden elde edilen sonuçlarına göre, rijit bir yapı olan burcun gerilme ve şekil değiştirme değerleri oldukça küçük çıkmıştır. Model 1 için maksimum gerilme 2.37 MPa, maksimum şekil değiştirme 10.5 mm bulunmuştur. Model 2 için maksimum gerilme 0.921 MPa, maksimum şekil değiştirme 1.79 mm, Model 3 için ise maksimum gerilme 0.349 MPa maksimum şekil değiştirme 0.5 mm bulunmuştur.



Şekil 11. Spektral analiz sonucu Model 1 de oluşan gerilme (MPa) ve şekil değiştirmeler (mm)



Şekil 12. Spektral analiz sonucu Model 2 de oluşan gerilme (MPa) ve şekil değiştirmeler (mm)



Şekil 13. Spektral analiz sonucu Model 3 de oluşan gerilme (MPa) ve şekil değiştirmeler (mm)

Büyük hacimli bu yapı için gerilme ve şekil değiştirmelerin her üç model için de oldukça küçük değerler olduğu söylenebilir. Ancak, modelde yapılan değişikliklerin analiz sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği görülmektedir. Bu tür büyük hacimli, çok katmanlı ve sürekli bir sistemin parçası olan tarihi yapılarda modellemenin sonuçlara etki ettiği açıktır (Şekil 11, 12, 13).

Tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzunda [31] tanımlanan hasar durumları doğrultusunda, Yedikardeş Burcunun spektral analiz sonucu oluşan gerilme ve şekil değiştirmeleri değerlendirilmiştir. Tarihi yapılar için deprem risklerinin yönetimi kılavuzuna göre, tarihi yapıların performans düzeyleriyle ilgili üç sınır durumu tanımlanmaktadır. Bunlar, sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçme öncesi hasar sınır

durumlarıdır. Doğrusal hesap yöntemi kullanılarak düşey yük ve azaltılmamış öngörülen deprem etkisinde bulunan hesap dayanımların aşılmadığı ve azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranı %0.3 sınırının aşılmadığı durumlarda, yapının sınırlı hasar performans seviyesinde olduğu kabul edilmektedir. Bu yaklaşıma göre Yedikardeş Burcunun da sınırlı hasar performans seviyesinde olduğu değerlendirilmiştir. Bu düzey, yapının taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği (doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı) hasar düzeyine karşı gelmektedir. Kılavuza göre tarihi yapıların önemine göre seçilebilecek performans düzeyleri, evrensel öneme sahip olan, ulusal öneme sahip olan ve yerel öneme sahip olan yapılar olarak gruplandırılmıştır. Yedikardeş Burcu'nun evrensel

öneme sahip tarihi yapı grubunda olduğu göz önüne alınarak spektral analiz aşamasında kullanılmak üzere seçilen deprem yer hareketi düzeyinin kılavuz ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışmada, evrensel ölçekte öneme sahip olan tarihi Diyarbakır surlarına ait en önemli burçlardan biri olan Yedikardeş Burcunun mevcut durumu değerlendirilmiş, üç boyutlu sonlu eleman modeli üç farklı şekilde oluşturulmuştur. Burç ve sur duvarları makro modelleme tekniğiyle modellenmiş, düşey ve yatay yükler altında statik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Yedikardeş Burcunun düşey yükler altındaki analiz sonuçlarından, Yedikardeş Burcunun mevcut durumunun düşey yük taşıma güvenliğinin yeterli olduğu görülmüştür. Ancak, tonoz, harç ve bazalt taştan aşınma ve bozulmalar oluşması durumunda, yapının yeni durumunun tekrar analiz edilmesi gerekmektedir.

Yedikardeş Burcu için oluşturulan modellerde burç duvarları arasındaki temas yüzeyleri ve sınır şartları manuel olarak tanımlanmış olup, sonraki çalışmalarda sınır şartlarının farklı olarak tanımlandığı modellemelerin de yapılması hedeflenmektedir.

X ve Y yönü doğrultusundaki spektral analizler sonucunda her üç modelde bulunan gerilme ve şekil değiştirmeler küçük değerler çıkmıştır. Çalışmada, bu tür büyük hacimli, çok katmanlı ve sürekli bir sistemin parçası olan tarihi yapılarda modellemenin sonuçlara ne denli etki ettiği görülmüş olmaktadır.

Yedikardeş Burcunun X ve Y yönleri için yapılan statik ve dinamik analizlerden elde edilen sonuçlara göre, rijit bir yapı olan burç için oluşturulan üç ayrı modele ait gerilme ve şekil değiştirme değerlerinin oldukça küçük olduğu gözlenmiştir. Düşey yük ve azaltılmamış deprem etkisinde, Yedikardeş Burcunda hesap dayanımlarının aşılmadığı ve azaltılmamış deprem etkisinde öteleme oranının %0.3 sınırını aşmadığı görüldüğünden, Yedikardeş Burcunun sınırlı hasar performans seviyesinde olduğu değerlendirilmiştir.

Yedikardeş Burcunun temeli bazalt kayaya mesnetlendiği için oturma gözlenmemiştir, ancak zeminde herhangi bir deformasyon ve buna bağlı olarak burçta farklı oturma gözlenmesi durumunda yeni durumun oluşturulacak modellerde göz önüne

alınması gerekecektir. Böyle bir durum için yapı zemin etkileşiminin hesaba katılması önerilmektedir.

Makro modellemenin yanısıra mikro veya detaylı mikro modelleme yapılarak yapının taş ve harç etkileşiminin de incelenmesi önerilmektedir. Ancak, bu tür büyük hacimli tarihi yapılarda mikro modellemeye elde edilen sonuçlarda hata payının olabileceği de göz ardı edilmemelidir.

Çalışma sonunda, büyük hacimli tarihi yapılarda gerçek davranışı yansıtan modelin, yapının kendi özel durumuna göre değişebildiği görülmüştür. Böylece, bir tarihi yapıda davranışı iyi yansıtan modelin, başka bir tarihi yapıda aynı oranda yansıtamayabileceği anlaşılmıştır. Çalışmada, tarihi yapıların mevcut durumlarının iyi gözlenmesi, hasarların ve hasar oluşum mekanizmalarının detaylı değerlendirilmesi gerektiği, yapı modellenirken yapı davranışını en iyi temsil edecek modelin seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma, Doç. Dr. Mehmet Emin ÖNCÜ danışmanlığında Rojbin İZGİ YÖNTEN tarafından hazırlanan yüksek lisans tez çalışmasının bir bölümünden üretilmiştir. Dr. Öğretim Üyesi Mehmet CEBE tarafından çizilerek Diyarbakır Kültür Varlıklarını Koruma Bölge Kuruluna sunulan ve onaylanan rölöve, restitüsyon, restorasyon projeleri ile raporlarından faydalanılmıştır. Ayrıca, Dr. Öğretim Üyesi Mehmet CEBE, Yedikardeş Burcunun üç boyutlu modellenmesinin hazırlanmasında katkı sunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] S. Toker and A. İ. Ünay, “Mathematical modeling and finite element analysis of masonry arch bridges,” *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 17, pp. 129–139, 2004.
- [2] A. Bayraktar, “Tarihi Yığma Yapıların Depreme Karşı Güçlendirilmesi,” 2005.
- [3] B. Sevim, A. Bayraktar, A. C. Altunışık, H. S. Atamtürktür, and F. Birinci, “Finite element model calibration effects on the earthquake response of masonry arch bridges,” *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 47, pp. 621–634, 2011.
- [4] E. Aksoy and F. Aydoğmuş, “Tarihi yapıların deprem analizi ve kargı han örneği,” in *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, 2017, pp. 411–419.
- [5] T. Aydın and E. D. Taylan, “Darıderesi-II göletinin dinamik davranışlarının ANSYS ile incelenmesi,” *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, vol. 7, no. 2, pp. 10–17, 2017.
- [6] O. Onat and E. Sayın, “Tarihi Tağar köprüsünün doğrusal olmayan sismik analizi,” in *5. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu*, 2015, pp. 301–311.
- [7] L. Mangia, B. Ghisaasi, E. Sayın, O. Onat, and P. B. Lourenço, “Pushover analysis of historical Elti Hatun Mosque,” in *12th International Congress on Advances In Civil Engineering*, 2016.
- [8] F. Behnamfar and M. Afshari, “Collapse analysis and strengthening of stone arch bridges against earthquake,” *International Journal of Architectural Heritage*, vol. 7, pp. 1–25, 2013.
- [9] P. Zampieri, M. A. Zanini, and C. Modena, “Simplified seismic assessment of multi-span masonry arch bridges,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 13, pp. 2629–2646, 2015.
- [10] B. Sevim, H. S. Atamturktur, A. C. Altunışık, and A. Bayraktar, “Ambient testing and seismic behavior of historical arch bridges under near and far fault ground motions,” *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol. 14, pp. 241–259, 2016.
- [11] P. B. Lourenço, K. J. Krakowiak, F. Fernandes, and L. F. Ramos, “Failure analysis of Monastery of Jerónimos, Lisbon: How to learn from sophisticated numerical models,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 14, no. 2, pp. 280–300.
- [12] L. Pela, A. Aprile, and A. Benedetti, “Seismic assessment of masonry arch bridges,” *Engineering Structures*, vol. 31, pp. 1777–1788, 2009.
- [13] Öncü, M.E., Karaşin, A., İzgi, R., Karaşin, İ.B, “Tarihi Tuzluca köprüsünün yapısal durumunun değerlendirilmesi,” in *4. Köprüler ve Viyadükler Sempozyumu*, 2019, pp. 479–490.
- [14] G. Milani and P. B. Lourenço, “3D nonlinear behavior of masonry arch bridges,” *Computures & Structures*, vol. 110–111, pp. 133–150, 2012.
- [15] D. V. Oliveira, P. B. Lourenço, and C. Lemos, “Geometric issues and ultimate load capacity of masonry arch bridges from the northwest iberian Peninsula,” *Engineering Structures*, vol. 32, pp. 3955–3965, 2010.
- [16] A. C. Aydın and S. G. Ozkaya, “The finite element analysis of collapse loads of single-spanned historic masonry arch bridges (Ordu, Sarpdere Bridge),” *Engineering Failure Analysis*, vol. 84, pp. 131–138, 2018.
- [17] A. Ural, “Yığma yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi,” Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2009.
- [18] Ö. Dabanlı, “Tarihi yığma yapıların deprem performansının belirlenmesi,” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [19] P. B. Lourenço, “Structural behavior of civil engineering structures: highlight in historical and masonry structures,” in *Workshop on Civil Engineering Research*, 2006.
- [20] M. Oğuzmert, “Yığma minarelerin dinamik davranışları,” İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
- [21] P. B. Lourenço, G. Vasconcelos, and L. Ramos, “Assessment of the stability conditions of a Cistercian Cloister,” in *The 2nd International Congress on Studies in Ancient Structures*, 2001, pp. 669–678.
- [22] A. Nabikoğlu and N. Dalkılıç, “Diyarbakır surlarının günümüzdeki durumuna yeni bir bakış,” *Restorasyon Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, vol. 15, pp. 23–35, 2013.
- [23] M. Cebe, “Diyarbakır kültür varlıklarını koruma bölge kurulu diyarbakır surları ve rölöve raporları,” 2013.

- [24] M. Akatay, “Diyarbakır bazaltlarının bazı önemli malzeme özelliklerinin tahribatsız yöntemlerle belirlenebilirliğinin araştırılması,” Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2014.
- [25] A. Bayraktar, E. Hökelekli, M. F. Halifeoğlu, A. Mosallam, and H. Karadeniz, “Vertical strong ground motion effects on seismic damage propagations of historical masonry rectangular minarets,” *Engineering Failure Analysis*, vol. 91, pp. 15–128, 2018.
- [26] S. Ulukaya and Y. N., “Tarihi yapılarda taşıyıcı tuğla duvarın elastisite modülünün deneysel ve matematiksel model ile belirlenmesi,” in *Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu*, 2017, pp. 533–542.
- [27] H. Çağlar, A. Çağlar, S. Z. Korkmaz, B. Demirel, and O. Y. Bayraktar, “Geleneksel Kastamonu evlerinin inşasında kullanılan el ile üretilmiş harman tuğla ile fabrikasyon olarak üretilen tuğlanın fiziksel, mekanik ve yapısal karakterizasyon özelliklerinin karşılaştırılması,” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 30, no. 2, pp. 39–48, 2018.
- [28] “Türkiye deprem tehlike haritaları interaktif web uygulaması,” 2019. [Online]. Available: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>. [Accessed: 02-Sep-2019].
- [29] R. İzgi, “Tarihi yapıların yapısal analizi: Diyarbakır surları örneği,” Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır, 2020.
- [30] ANSYS Inc. 2018.
- [31] “Tarihi Yapılar İçin Deprem Risklerinin Yönetimi Kılavuzu,” İstanbul Valiliği İstanbul Proje Koordinasyon Birimi, İstanbul, 2018.

Bitlis İlindeki *Nannospalax xanthodon* (Nordmann, 1840) Türünün Biyoeкологиjsi (Mammalia: Rodentia)

Kubilay TOYRAN^{*1}, Elif ŞENGÜL²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bitlis

²Bitlis Eren Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Bitlis
(ORCID: [0000-0002-6546-0054](https://orcid.org/0000-0002-6546-0054)) (ORCID: [0000-0003-3188-2408](https://orcid.org/0000-0003-3188-2408))



Anahtar Kelimeler:
Rodentia, *Nannospalax xanthodon*, Morfoloji, Karyotip, Bitlis.

Öz

Bu çalışma Eylül 2020 ile Haziran 2021 tarihleri arasında Bitlis ilinden toplanan 8 *Nannospalax xanthodon* örneğine dayanmaktadır. Örnekler uygun habitatlarda metal boru tipi canlı yakalama kapanı kullanılarak elde edilmiştir. *Nannospalax xanthodon*'un ekolojik, biyolojik ve taksonomik özelliklerini ortaya koymak için habitat, beslenme davranışı, kürk rengi, kıl morfolojisi, karyolojisi, bakulum özellikleri ile iç ve dış karakter ölçüleri kaydedilmiştir. *Nannospalax xanthodon*'da diploid kromozom sayısı (2n) 54 olarak tespit edilmiştir. *Nannospalax xanthodon*'da koruyucu kılların köke yakın kısmı "serrate coronal scale", gövde kısmı "simple coronal scale" ve kıl ucu ise "erose coronal scale" tiptedir. Ayrıca bir örnekte dış parazit olarak Siphonaptera (pireler) takımına mensup bireyler tespit edilmiştir.

Bioecology of *Nannospalax xanthodon* (Nordmann, 1840) in Bitlis Province (Mammalia: Rodentia)

Keywords: Rodentia, *Nannospalax xanthodon*, Morphology, Karyotype, Bitlis.

Abstract

This study is based on 8 specimens of *Nannospalax xanthodon* collected from Bitlis province between September 2020 and June 2021. Specimens were obtained in suitable habitats using a metal tube-type live trap. In order to reveal the ecological, biological, and taxonomic characteristics of *Nannospalax xanthodon* habitat, feeding behavior, fur color, hair morphology, karyology, baculum characteristics with internal and external character measurements were recorded. It was determined that the diploid chromosome number of *Nannospalax xanthodon* is 54. In *Nannospalax xanthodon*, the part of the guard hairs close to the root is "serrate coronal scale", the body part is "simple coronal scale" and the hair tip is "erose coronal scale". In addition, individuals belonging to the order Siphonaptera (fleas) were identified as external parasites in one sample.

1. Giriş

Günümüzde Memeliler (Mammalia) sınıfı Dünya genelinde 6495 tür ile temsil edilmektedir [1]. Toplam 36 familya ait 513 cins ve 2552 tür ile temsil edilen Rodentia (Kemiriciler) takımı Memeliler (Mammalia) sınıfının en büyük takımını oluşturmaktadır [1]. Ülkemizde toprak altı yaşama uyum sağlamış

Eulipotyphla (Talpidae) ve Rodentia (Spalacidae ve Arvicolidae) takımlarına mensup türler yayılış göstermektedir. Toprak altı yaşama en iyi uyum sağlamış türler Rodentia takımının Spalacidae (kör fareler) familyasına mensup türlerdir. Kör fareler kazıcı dişlere sahip olan ve ayrı gruplar halinde yaşayan canlılardır. Kör farelerin cins ve tür bazında filogenisi ve sistematığı bu Spalacidae familyanın tanımlanmasından itibaren tartışma konusu

* Sorumlu yazar: ktoyran@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 24.09.2021, Kabul Tarihi: 29.11.2021

olmuştur. Bu nedenle kör farelerin sistematik açıdan incelenmesi zorlaşmıştır. Bu durumun başlıca nedeni bu familyaya mensup üyelerin farklı konvergent evrimleri ve çok fazla morfolojik benzerliğe sahip olmasıdır [2]. Familya üyeleri Palearktık bölge sınırları içerisinde yer alan Kuzeydoğu Afrika, Balkanlar, Güneydoğu Avrupa, Orta Asya, Orta Doğu ve Kafkaslarda yayılış göstermektedir [3].

Gromov ve Baranova [4] Spalacinae alt familyasını *Nannospalax* ve *Spalax* olarak iki cinsle ayırmışlardır. *Nannospalax* cinsi *N. ehrenbergi*, *N. nehringi* ve *N. leucodon* olmak üzere üç tür ile temsil edilirken; *Spalax* cinsi *S. giganteus*, *S. arenarius*, *S. microphthalmus*, *S. polonicus* ve *S. graecus* olmak üzere 5 tür ile temsil edilmektedir [5]. Wilson ve Reeder [6] *Spalax*, *Microspalax* ve *Mesospalax* cinslerini *Nannospalax* adında tek bir cins içinde ifade etmiştir. Kryštufek ve Vohralik [7] ile Kryštufek vd. [8] *nehringi* isminin yerine *xanthodon* ismini kullanarak *N. nehringi* türünü *N. xanthodon* türünün sinonimi yapmışlardır. Ülkemizde *Nannospalax* cinsine ait 3 tür bulunmaktadır. Bunlardan *Nannospalax leucodon* Türkiye'nin Avrupa yakasında (Trakya bölgesi), *N. ehrenbergi* Güneydoğu Anadolu'da, *N. xanthodon* ise Trakya ve Güneydoğu Anadolu hariç Anadolu'nun

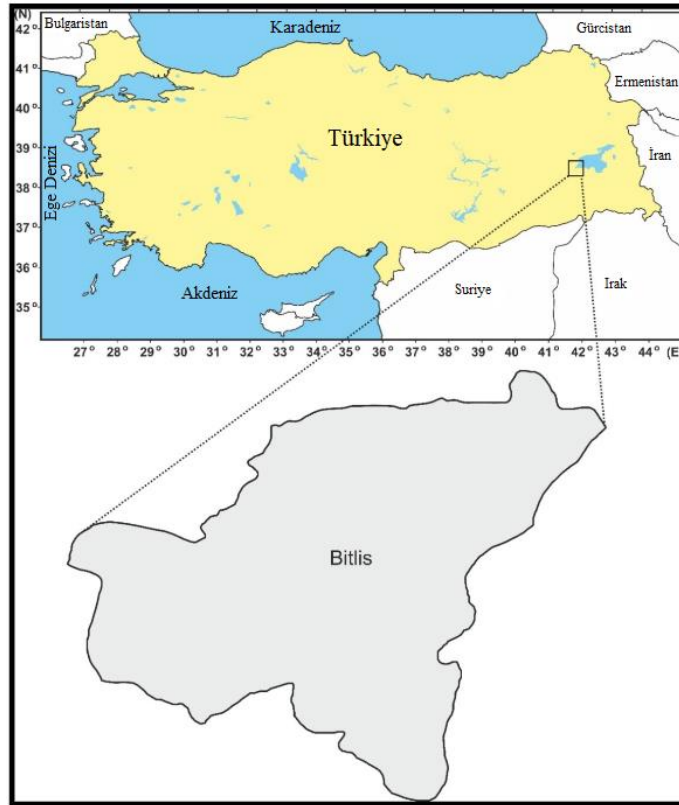
tamamında yayılış göstermektedir [6, 9-13]. Türkiye'de *Nannospalax xanthodon* üzerine çok sayıda karyolojik çalışma yapılmıştır [14-25]. *Nannospalax* cinsindeki kromozom sayısında gözlenen çeşitliliğin Robertsonian translokasyonlarından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Akrosentrik kromozomların sentromer bölgelerinden birleşerek füzyon ya da bir kromozomun sentromer bölgesinden bölünerek iki kromozom oluşturduğu füzyon sonucu yeni kromozomal formlar meydana gelmektedir. Sentromer pozisyonunun değişimine neden olan perisentrik inversiyonlar ise kromozomların kol sayısında artış ya da azalışa neden olmakta ve temel kromozomal kol sayısını (NF) etkilemektedir (2, 15, 26, 27).

Bitlis ilinde yayılış gösteren *N. xanthodon* türüne ait morfolojik ve karyolojik özellikler ile birlikte bazı ekolojik özelliklerini araştırmak bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışma Eylül 2020 ve Haziran 2021 tarihleri arasında Bitlis ili sınırları içinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmanın yapıldığı Bitlis ili ve konumu

2.2. Çalışma Yöntemi

Arazi çalışmaları sonucunda toplam 8 *Nannospalax xanthodon* örneği elde edilmiştir. Elde edilen bu canlı örnekler Arslan [28] tarafından geliştirilen metal boru kapan kullanılarak yakalanmıştır. Örneklerin ağırlıkları elektronik hassas terazi ile tartılmış ve her bir örnekten milimetrik cetvel yardımı ile tümboy, kuyruk, ardayak ve kulak uzunluğu olmak üzere 4 standart dış ölçü alınmıştır. Örneklerin Mursaloğlu [29]'na göre tahmini yapılarak standart müze örneği şeklinde hazırlanmıştır. Baş iskeletleri ayrı ayrı özel plastik kutulardaki %15'lik amonyak çözeltisi içerisinde 70 °C'deki benmaride kaynatılarak, ince uçlu bir pens yardımı ile temizlenmiş ve kurumaya bırakılmıştır. Kuruyan her bir baş iskeletinin üzerine çini mürekkebi ile eşeyi ve arazi kayıt numarası yazılmıştır. Örnekler baş iskeletlerinin durumu, dış aşınım dereceleri, post özellikleri, iç ve dış karakter ölçüleri ve arazi notları dikkate alınarak yavru, genç ve ergin olarak sınıflandırılmıştır. Örneklerin her birinden standart dış ölçüleri ile birlikte kafatasına ait 23 iç karakter

3. Bulgular ve Tartışma

Nannospalax xanthodon (Nordmann, 1840) türü ülkemizde oldukça geniş bir yayılışa sahip olup, araştırma alanı olan Bitlis ilinde de yayılış göstermektedir. Halk arasında “körfare, kösnü, kör sıçan” gibi Türkçe isimlerle bilinen *Nannospalax xanthodon*, Bitlis ilinde Kürtçe olarak “köremiş” olarak adlandırılmaktadır.

Nannospalax xanthodon, deniz seviyesinden ortalama 1545 m yüksekliğe sahip olan Bitlis ilinde yaklaşık 2200 m yüksekliğe kadar olan bölgelerde tespit edilmiştir. Türe daha çok tarım alanlarında, seyrek bitki örtüsüne sahip step arazilerde, nispeten taşlık alanlarda ve yamaç arazilerde yuvalanmaya uygun alanlarda rastlanmıştır. Özellikle ormanaltı arazilerde, taşlık ve kayalık alanlar ile taban suyunun yüksek olduğu alanlarda tespit edilememiştir. *Nannospalax xanthodon*'un toprak yüzeyine çıkardığı tümseklerin doğrusal ve dağınık olmak üzere iki tipte kümelenmiş olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte doğrusal tipte sıralanmış tümseklere daha çok düz ve toprak yapısı yumuşak olan uygun arazilerde rastlanmıştır, dağınık şekilde kümelenmiş tümseklere ise taşlık ve nispeten ağaçlık alanlarda rastlanmıştır. Arazi

ölçüsü alınmıştır. Değerlendirmeler ergin örnekler dikkate alınarak yapılmıştır. Dış ve iç karakter ölçüleri Thomas [30]'a göre bir cetvel ve milimetrenin onda biri hassasiyetindeki elektronik göstergeli kumpas yardımı ile alınmıştır. Türe ait habitat özellikleri, beslenme ekolojileri, karyolojik özellikler, kürk rengi, ölçüler, kıl morfolojisi ve genel morfolojik özellikler kaydedilmiştir. Örneklemi tanımlayan istatistikler bir tabloda sunulmuştur. Türün post özelliği içerisinde kılın morfolojisi ile beraber kürk rengi de incelenerek kaydedilmiştir. *Nannospalax xanthodon*'a ait koruyucu kıl örnekleri dorsalden iki kürek kemiği arasındaki bölgeden alınarak, JSM-5600 Taramalı Elektron Mikroskop'ta incelenmiş, 1500 ve 2500 büyütmede fotoğrafları çekilmiştir. Kıl morfolojisinin tanımını Day [31]'a göre yapılmıştır. İki örneğe ait karyolojik analiz Ford ve Hamerton [32] ile Patton [33]'a göre yapılmıştır. Sonuç bölümünde elde edilen bulgular ile daha önce yapılmış çalışmalar karşılaştırılmış ve kıyaslama yapılmıştır.

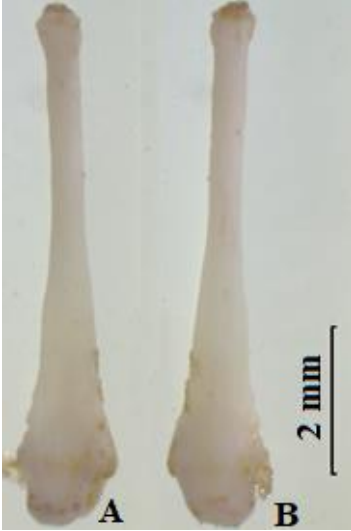
çalışmalarında normalden daha büyük olan, iki ya da üç normal büyüklükteki tümsekten oluşan yuvalarda türün dinlenmek ve üremek için kullandığını düşündüğümüz kör odalar tespit edilmiş olup, bu odaların zemininin kuru ot parçaları ile kaplı olduğu gözlenmiştir.

Genel olarak yabancı bitkilerin toprakaltı ve gövde kısımları üzerinden beslenen türe laboratuvar ortamında salatalık, patates, havuç, yonca ve çim gibi bitkisel besinler verilmiş olup, bunlardan sırasıyla en fazla salatalık, patates ve yoncayı tercih ettikleri kaydedilmiştir.

Örnek elde etmek için yapılan arazi çalışmaları sırasında türe ait bireylerin özellikle sabahın erken saatlerinde ve gün batımına yakın saatlerde daha çok aktif olduğu gözlenmiştir. Varlığının tespit edilmesi için açılan galerileri belirtilen zaman aralıkları dışında kapatmadıkları tespit edilmiştir. Yine laboratuvarında beslenen örneklerin de sabah 09:30-11:30 saatleri ile öğleden sonra 13:30-15:30 saatleri arasında dinlenme halinde oldukları saptanmıştır. Dinlenme anında başlarını karın kısmına doğru bükerek tortop oldukları gözlenmiştir. Bununla birlikte aktif oldukları zaman dilimlerinde sürekli olarak burun ucu ile toprak itelediği ve tünel açmaya çalıştığı kaydedilmiştir. Ayrıca farklı

yuvalardan alınan ve bir araya bırakılan iki ergin bireyin birbiri ile kavga ettiği gözlenmiştir.

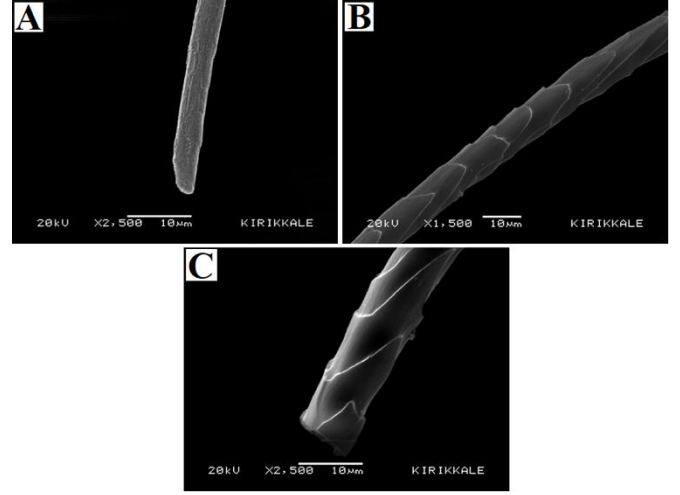
Nannospalax xanthodon genel olarak silindirik bir yapıya sahip olup, gövde ince ve uzundur. Hareket anında akordiyon gibi uzayıp kısalmaktadır. Belirgin bir kuyruk bulunmamaktadır. Gözler körelmiş ve deri altında kalıntı olarak kalmıştır. Burun çıplak ve kalın derilidir. Kulaklar küçük silindir şeklinde ve çıplaktır. Ön ve arka üyeler kısa ve çıplaktır. Ön ayak tabanlarındaki yastıkçıklar dolgun görünümlü, arka ayak tabanlarındaki yastıkçıklar nispeten daha az dolgundur. Elde edilen örneklerden 3 ergin erkek bireyin bakulum yapısı incelenmiş olup, bakulumun proksimal kısmının yanlara (laterallere) doğru genişlemiş bir yapıya sahip olduğu gözlenirken, gövde kısmının distal uca doğru ince ve uzun bir yapıda olduğu saptanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. *Nannospalax xanthodon*'un ergin bir bireyine ait bakulumun görünümü (A: dorsal, B: ventral)

İncelenen örneklerde kürk rengi dorsalde kıl uçları sarımsı kahverengi, kıl dipleri dumanımsı kül rengi, ventralde kürk rengi kıl ucundan kıl dibine kadar grimsi soluk siyahtır. Dorsal renk ile ventral renk lateralde belirgin bir sınır oluşturmaktadır. Türün koruyucu kıllarının köke yakın kısmının “*serrate coronal scale*”,

gövde kısmının “*simple coronal scale*” ve kıl ucunun ise “*erose coronal scale*” tipte olduğu tespit edilmiştir (Şekil 3). Bitlis ilinden elde edilen örneklerin diploid kromozom sayısının (2n) 54 olduğu saptanmıştır.



Şekil 3. *Nannospalax xanthodon*'da kıl morfolojisi (A: uç, B: gövde, C: kök)

Elde edilen örneklerden sadece birinde Siphonaptera (pireler) takımına mensup 6-7 adet ektoparazit tespit edilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Tespit edilen ektoparazitler

Ergin bireylere ait iç ve dış karakter ölçüleri ile ağırlıkları Tablo 1’de verilmiş olup, ergin erkek ve dişi bireyler arasında istatistiki önemde bir fark bulunamamıştır.

Tablo 1. *Nannospalax xanthodon*'un erginlerinde ağırlık (g), dış ve iç karakter ölçüleri (mm); örnek sayısı (ÖS), varyasyon alt ve üst sınırları (VS), ortalama (ORT), standart sapma (\pm SS) değerleri

Özellikler	ÖS	VS	ORT	\pm SS
Baş-beden uzunluğu	7	171.0-206.0	194.86	10.34
Tümboy	7	171.0-206.0	194.86	10.34
Ardayak uzunluğu	7	26.0-29.0	27.86	0.83
Kulak uzunluğu	7	5.0-8.0	6.29	0.88
Ağırlık	7	140.0-279.0	209.4	37.78
Condylbasal uzunluk	7	44.28-51.51	47.78	2.26
Basal uzunluk	7	42.88-50.03	46.35	2.24
Basilar uzunluk	7	36.98-42.91	40.01	1.83
Condylbasilar uzunluk	7	39.05-44.90	42.05	1.83
Occipitonasal uzunluk	7	44.18-50.55	47.06	1.99
Diastema uzunluğu	7	15.20-19.33	17.15	1.36
Foramen incisiva uzunluğu	7	2.50-3.67	3.23	0.36
Nasal uzunluk	7	19.07-22.69	20.43	1.19
Üst molar alveol uzunluğu	7	7.78-8.59	8.20	0.25
Üst molar uzunluğu	4	7.33-7.74	7.49	0.19
Bullae uzunluğu	7	9.97-11.65	10.87	0.59
İnterorbital genişlik	7	7.24-7.79	7.51	0.19
Occipital genişlik	7	21.29-24.55	23.42	1.02
Nasal genişlik	7	8.45-10.84	9.44	0.74
Damak uzunluğu	7	29.85-35.54	32.25	1.70
Rostral genişlik	7	8.89-10.87	9.66	0.60
Palatinal uzunluk	7	23.79-28.37	25.71	1.32
Zygomatic genişlik	7	31.39-39.47	35.34	2.33
Bullaeli beyin kapsülü yüksekliği	7	18.88-22.15	20.35	1.03
Beyin kapsülü genişliği	7	27.75-31.74	29.27	1.26
Kesici diş kalınlığı	7	2.20-3.16	2.58	0.28
Alt molar alveol uzunluğu	7	7.72-8.37	8.08	0.24
Altçene uzunluğu	7	29.99-34.95	31.83	1.51

4. Tartışma ve Sonuç

Nannospalax cinsi Avrupa, Anadolu, Kafkaslar, Ukrayna, Ermenistan, Suriye, Filistin, Irak, İsrail, Ürdün ve Kuzeydoğu Afrika'da yayılış gösteren ve taksonomik olarak karmaşık bir grup olan kör fareleri içermektedir [2, 9]. Yakın zamanlarda yapılan çalışmalarda *Nannospalax nehringi*'nin *N. xanthodon* ile sinonim olduğu ve öncelik kuralına göre *N. xanthodon* isminin geçerli olduğu rapor edilmiştir [7]. Böylece ülkemizde *N. xanthodon*, *N. leucodon* ve *N. ehrenbergi* olmak üzere 3 körfare türü yayılış göstermektedir. *N. xanthodon* ülkemizde oldukça geniş bir yayılış alanına sahip olup, Trakya ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi hariç hemen hemen tüm Anadolu'da yayılış göstermektedir [6]. Ancak *N. xanthodon* ülkemizde oldukça geniş bir yayılışa sahip olmasına rağmen, taksonomik problemlerinden dolayı IUCN Red List'e göre "Veri Eksik (DD)" olarak kategorize edilmektedir [34]. Deniz seviyesinden yaklaşık 2900 metre yüksekliğe kadar olan kazmaya

elverişli tarım arazisi, step alanlar, çayırılık alanlar ile dağ yamaçları *N. xanthodon*'un habitatını oluşturmaktadır [11]. Özkurt ve Bulut [35] *N. xanthodon*'un ormanlık alanlar, kayalık zeminli alanlarda ve bataklık arazilerde yayılış göstermediğini belirtmişlerdir. Ayrıca otçul yabancı bitkilerin toprakaltı köklerinin yanı sıra patates, pancar, soğan ve havuç gibi besinleri tükettiklerini ifade etmişlerdir. Çalışmamızda *N. xanthodon*'a deniz seviyesinden ortalama 1545 m yüksekliğe sahip olan Bitlis ilinde yaklaşık 2200 m yüksekliğe kadar olan tarım alanlarında, seyrek bitki örtüsüne sahip step arazilerde, nispeten taşlık alanlarda ve yamaç arazilerde yuvalanmaya uygun alanlarda rastlanmıştır. Bununla birlikte ormanaltı bölgelerde, kayalık zeminli alanlar ile taban suyu yüksek olan bölgelerde türe rastlanmamıştır. Doğal ortamında yabancı bitkilerin kök ve gövdeleri üzerinden beslenen Anadolu kör faresinin laboratuvarında beslenen bireylerinin salatalık, patates ve yoncağı severek yedikleri gözlenmiştir.

Ülkemizde bugüne kadar yapılan çalışmalarda *Nannospalax xanthodon* türüne ait 2n: 36, 38, 40, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58 ve 60 olmak üzere 12 farklı ana sitotipin varlığı tespit edilmiştir [25, 36]. Aşan ve Yağcı [37] Orta Anadolu Bölgesi'nden elde ettiği örneklerin, Coşkun [38] ise Bingöl'ün güneyinden (Genç ilçesi civarı) elde ettiği örneklerin diploid kromozom sayısının (2n) 54, otozomal kromozomların kol sayısının (NFa) 70, temel kromozom kol sayısının ise (NF) 74 olduğunu kaydetmişlerdir. Bu çalışmada Bitlis ilinden elde edilen örneklerin diploid kromozom sayısının (2n) 54 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca temel kromozom kol sayısı (NF) ile otozomal kromozomların kol sayısı (NFa) bakımından Aşan ve Yağcı [37] ve Coşkun [38] ile benzerlik göstermektedir.

Aşan ve Yağcı [37] Orta Anadolu Bölgesi'nden elde ettikleri *Nannospalax xanthodon* örneklerinin elektron mikroskopunda kıl morfolojisini incelemişler ve koruyucu kılların köke yakın kısmının "serrate coronal scale", gövde kısmının "simple coronal scale" ve kıl ucunun ise "erose coronal scale" tipte olduğunu kaydetmişlerdir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan Bitlis ilinden elde edilen örneklerin kıl morfolojisi incelenmiş ve araştırmacıların bulguları ile benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

Kızılırmak havzasından (Kayseri, Kırşehir, Nevşehir, Yozgat) elde edilen *Nannospalax xanthodon* (*Spalax leucodon*) bireylerinde dorsal ve lateral kürk renginin sarımsı kahverengi, ventral rengin ise açık gri renkte olduğu kaydedilmiştir [39, 40]. Yağcı [41] Kırıkkale ilinden elde ettiği örneklerin kürk renginin dorsalde kıl uçlarının kızılımsı açık kahverengi olmak üzere donuk siyahımsı gri, ventralde ise donuk koyu dumanımsı gri renkte olduğunu ifade etmiştir. Bu çalışmada Bitlis ilinden elde ettiğimiz örneklerin tamamında kürk rengi dorsalde kıl uçları sarımsı kahverengi, kıl dipleri dumanımsı kül rengi, ventralde kürk rengi kıl ucundan kıl dibine kadar grimsi soluk siyah olarak kaydedilmiştir. Ayrıca dorsal renk ile ventral rengin lateralde belirgin bir sınır oluşturduğu gözlenmiştir.

Nevo vd. [42] kör farelerin doğada soliter olarak yaşadığını belirterek, Mısır'dan elde edilen örneklerin aynı ortamda bir arada tutulduklarında birbirlerine zarar vermediklerini, İsrail'den elde edilen örneklerin ise birarada buldukları sürede birbirlerine saldırdıklarını kaydetmişlerdir. Sözen (2005) ise aynı ortama koyduğu bireylerin birbirlerine zarar vermediklerini rapor etmiştir. Yaptığımız bu çalışmada araziden elde edilen ve laboratuvara getirilmek üzere aynı ortama koyduğumuz örneklerin birbirine saldırdıkları gözlenmiştir.

Sözen [43] kazmış olduğu bir yuvada 20x15 cm genişliğinde ve içi kuru otlarla döşenmiş bir odanın varlığından söz etmiştir. Arazi çalışmaları sırasında kazdığımız bir yuvada yaklaşık yarım metre derinlikte içi kuru otlarla döşenmiş bir odaya rastlanılmıştır. Ayrıca bu odaya giden galeri içinde taze koparılmış bitki parçalarının varlığına da rastlanmıştır. Odanın genel durumu dikkate alındığında dinlenme odası olarak kullanıldığı kanaatine varılmıştır.

Karataş ve Budak [44] Yamanlar Dağı'ndaki memeli türleri ve bu türlerin ektoparazitleri hakkında yapmış oldukları çalışmalarında *Nannospalax xanthodon* türü üzerinde herhangi bir ektoparazite rastlamamışlardır. Keskin vd. [45] Türkiye'nin farklı bölgelerinden elde ettikleri memeli türlerini ve ektoparazitleri üzerine yaptıkları çalışmada elde ettikleri 3 *Nannospalax xanthodon* örneği üzerinde herhangi bir parazit tespit etmemişlerdir. Yaptığımız bu çalışmada elde edilen örneklerden birinin üzerinde Siphonaptera (pireler) takımına mensup bireyler tespit edilmiştir.

Teşekkür

Karyolojik analizlerdeki yardımlarından dolayı Prof. Dr. Atilla ARSLAN'a teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma Doç. Dr. Kubilay TOYRAN danışmanlığında tamamlanan Elif ŞENGÜL'ün yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] C. J Burgin, J. P. Colella, P. L. Kahn and N. S. Upham, "How many species of mammals are there?" *Journal of Mammalogy*, vol. 99, Num. 1, pp. 1-14, 2018.
- [2] I. Savic and E. Nevo, "The Spalacidae; Evolutionary history, speciation and population biology," in *Evolution of subterranean mammals at the organismal and molecular levels*, (E. Nevo and A O. Reig, eds.), Alan R. Liss, New York, 1990.
- [3] G. B. Corbet, "Mammals of the Palearctic Region: A taxonomic review," *British Museum of Natural History*, London, 1978, pp. 1- 314.
- [4] I. M. Gromov and G. I. Baranov, "Catalogue of mammals in U.S.S.R. Leningrad," *Nauka*, 1981, pp. 454-457.
- [5] G. B. Corbet and J. E. Hill, "A world list of mammalian species," 3th ed, *Natural History Museum Publications*, 1991, pp. 243.
- [6] D. E. Wilson and D. M. Reeder, "Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference," 3rd ed. Johns Hopkins University Press. Baltimore, 2005.
- [7] B. Kryštufek and V. Vohralík, *Mammals of Turkey and Cyprus (Rodentia II: Cricetinae)*. Muridae, Spalacidae, Calomyscidae, Capromyidae, Hystricidae, Castoridae: Koper, 2009.
- [8] B. Kryštufek, E. Ivanitskaya, A. Arslan, E. Arslan and E. V. Bužan, "Evolutionary history of mole rats (genus *Nannospalax*) inferred from mitochondrial cytochrome b sequence," *Biol J Linn Soc*, vol. 105, pp. 446-455, 2012.
- [9] W. A. Topachevskii, "The fauna of the USSR: Mammals, mole rats, Spalacidae," *Akademija Nauka Leningrad*, vol. III (3), pp. 1-308, 1969.
- [10] I. Savic, "Familie Spalacidae Gray, 1821, Blindmause," in *Handbuch der Säugetiere Europas, Band 2/1 Rodentia*, *Akademische Verlagsgesellschaft, Wiesbaden*, pp. 537- 584, 1982.
- [11] N. Yiğit, E. Çolak, M. Sözen and A. Karataş, "Rodents of Türkiye," *Meteksan*, Ankara, pp. 76- 80, 2006.
- [12] M. Sözen, M. Sevindik and F. Matur, "Karyological and morphological characteristics of *Spalax leucodon* Nordmann, 1840 (Mammalia: Rodentia) superspecies around Kastamonu Province, Turkey," *Turkish Journal of Zoology*, vol. 30, pp. 205-219, 2006.
- [13] F. Matur, "Batı Türkiye *Nannospalax* (Mammalia: Rodentia) kromozomal formlarının G ve C bantlama yöntemleriyle karşılaştırılması," Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 2009.
- [14] M. Sözen, E. Çolak, N. Yiğit, Ş. Özkurt and R. Verimli, "Contributions to the karyology and taxonomy of the genus *Spalax* Güldenstaedt, 1770 (Mammalia: Rodentia) in Turkey," *Zeitschrift für Sugetierkunde*, vol. 64, pp. 210-219, 1999.
- [15] E. Nevo, M. G. Filippucci, C. Redi, S. Simson, G. Heth and A. Beiles, "Karyotype and genetic evolution in speciation of subterranean mole rats of the genus *Spalax* in Turkey," *Biological Journal of the Linnean Society*, vol. 5, pp. 203-229, 1999.
- [16] C. Tez, İ. Gündüz and H. Kefelioğlu, "New data on the distribution of 2n=38 *Spalax leucodon* (Nordmann, 1840) cytotype in Turkey," *Israel Journal of Zoology*, vol. 48 (2), pp. 155-159, 2002.
- [17] T. Kankılıç, R. Çolak, T. Kankılıç and E. Çolak, "On the morphology and karyology of *Spalax leucodon armeniacus* Mehely, 1909 (Mammalia: Rodentia) in Turkey," *Acta Zoologica Bulgarica*, vol. 59 (1), pp. 41-46, 2007.
- [18] A. Arslan, K. Toyran, S. Gztok and T. Yorulmaz, "C- and NOR stained karyotypes of mole rat, *Nannospalax xanthodon* (2n= 54) from Kırıkkale, Turkey," *Turkish Journal of Biology*, pp. 655- 661, 2011.
- [19] F. Matur, F. Çolak, T. Ceylan, M. Sevindik ve M. Szen, "Chromosomal evolution of the genus *Nannospalax* (Palmer, 1903) (Rodentia, Muridae) from western Turkey," *Turkish Journal of Zoology*, vol. 37, pp. 470-487, 2013.

- [20] M. Sözen, F. Çolak, M. Sevindik and M. Ferhat, "Cytotypes of *Nannospalax xanthodon* (Satunin, 1898) (Rodentia: Spalacidae) from western Anatolia," *Turkish Journal of Zoology*, vol. 37, pp. 462-469, 2013.
- [21] A. Arslan, J. Zima, T. Yorulmaz and E. Arslan, "A new cytotype (2n=46) of *Nannospalax xanthodon* from Turkey," *Zoology in the Middle East*, vol. 60 (4), pp. 283-287, 2014.
- [22] A. Arslan, A. Arısoy and J. Zima, "Comparison of the Chromosome Banding Pattern in the 2n= 56 Cytotypes of *Nannospalax leucodon* and *N. xanthodon* from Turkey," *The Scientific World Journal*, vol. 34, pp. 110-117, 2014.
- [23] T. Kankılıç and C. Gürpınar, "Revised classification design of the Anatolian species of *Nannospalax* (Rodentia: Spalacidae) using RFLP analysis," *Turkish Journal of Zoology*, vol. 38, pp. 68-78, 2014.
- [24] M. Sözen, F. Çolak, M. Sevindik and F. Matur, "Two new cytotypes and additional karyological records for blind mole rats, *Nannospalax xanthodon* and *N. ehrenbergi* (Mammalia, Rodentia) in Turkey," *Folia Zoology*, vol. 64 (2), pp. 167-172, 2015.
- [25] T. Kankılıç, A. Arslan, P. Seçkinozan Şeker, T. Kankılıç, K. Toyran and J. Zima, "A new chromosomal race (2n=44) of *Nannospalax xanthodon* from Turkey (Mammalia: Rodentia)," *Zoology in the Middle East*, vol. 63 (3), pp. 181-188, 2017.
- [26] E. Nevo, "Evolutionary theory and processes of active speciation and adaptive radiation in subterranean mole rats, *Spalax ehrenbergi* superspecies in Israel," *Evolutionary Biology*, vol. 25, pp. 1-125, 1991.
- [27] E. Nevo, M. G. Filippucci, C. Redi, A. Korol and A. Beiles, "Chromosomal speciation and adaptive radiation of mole rats in Asia Minor correlated with increased ecological stress," *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, vol. 91, pp. 8169-8164, 1994.
- [28] A. Arslan, "A new live trap to catch blind mole rats (*Spalax* sp.)," *Folia Zoologica*, vol. 62 (2), pp. 130-132, 2013.
- [29] B. Mursaloğlu, "Bilimsel Araştırmalar İçin Omurgalı Numunelerinin Toplanması ve Hazırlanması," *Ank. Üniv., Fen Fakültesi Yayınları*, Ankara, Um. 106-Zoo.7., pp. 1-60, 1965.
- [30] D. Thomas, "Suggestions for the Nomenclature of the Cranial Length Measurement and of the Cheek-Teeth of Mammals," *Proc. Zool. Soc.*, vol. 18, pp. 191-196, 1905.
- [31] M. G. Day, "Identification of hair and feather remains in the gut and faeces of stoats and weasels," *J. Zool. Lond.*, vol. 15, pp. 459-497, 1966.
- [32] C. E. Ford and J. L. Hamerton, "A Colchicine-Hypotonic-Citrate squash sequence for mammalian chromosomes," *Stain Technology*, vol. 31, pp. 247-251, 1956.
- [33] J. L. Patton, "Chromosome studies of certain Pocket mice. Genus *Perognathus* (Rodentia: Heteromyidae)," *J. Mamm.*, Vol. 48 (1), pp. 27-37, 1967.
- [34] IUCN, 2021. <https://www.iucnredlist.org/species/14327/113304138#population> (Erişim tarihi: 28.06.2021).
- [35] Ş. Ö. Özkurt and Ş. Bulut, "Türkiye Memelileri," *Panama Yayıncılık*, Ankara, pp. 1- 456, 2020.
- [36] A. Arslan, B. Kryštufek, F. Matur and J. Zima, "Review of chromosome races in blind mole rats (*Spalax* and *Nannospalax*)," *Folia Zool.*, vol. 65 (4), pp. 249-301, 2016.
- [37] N. Aşan and T. Yağcı, "Karyotype and Hair Scale Structure of *Nannospalax leucodon* (Nordmann, 1840) from Central Anatolia (Rodentia: Spalacidae)," *Turk J Zool.*, vol. 32, pp. 125-130, 2008.
- [38] Y. Coşkun, "Bingöl İli *Nannospalax* (Körfare)'lerinin Morfolojik ve Karyolojik Özellikleri," *III. Bingöl Sempozyumu*, 17-19 Eylül 2010, Bingöl Üniversitesi Yayınları 2013, pp. 119-128, 2013.
- [39] E. Kırıl and O. Benli, "Orta Anadolu'nun kemirici türleri ve zarar yaptığı kültür bitkileri," *Bitki koruma bülteni*, vol. 19, pp. 191-201, 1979.
- [40] E Yüksel and M. D. Gülkaç, "Kızılırmak Havzası Kayseri-Kırşehir-Nevşehir-Yozgat kesimi *Spalax* populasyonları üzerine sitogenetik incelemeler," *TBAG-904*, pp. 1- 22, 1995.
- [41] T. Yağcı, "Kırıkkale İlindeki *Nannospalax leucodon* (Nordmann, 1840)'un Ekolojik ve Karyolojik Özellikleri (Mammalia: Rodentia)," Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale, 2006.
- [42] E. Nevo, S. Simson, G. Heth and A. Beiles, "Adaptive pacifistic behaviour in subterranean mole rats in the Sahara Desert, contrasting to the originating from polymorphic aggression in Israeli species," *Behaviour*, vol. 123 (1-2), pp. 70-76, 1992.
- [43] M. Sözen, "Biological Investigation on Turkish *Spalax* Güldenstaedt, 1770 (Mammalia: Rodentia)," *G.U. Journal of Science*, vol. 18 (2), pp. 167-181, 2005.
- [44] A. Karataş and A. Budak, "The mammals (Mammalia) of Yamanlar Mountain (İzmir and Manisa provinces) and their ectoparasites," *Acta Biologica Turcica*, vol. 32 (1), pp. 53-60, 2019.

- [45] A. Keskin, A. Y. Selçuk and H. Kefelioğlu, “Ticks (Acari: Ixodidae) infesting some wild animals and humans in Turkey: notes on a small collection,” *Acarological Studies*, vol. 1 (1), pp. 11-15, 2019.

24 Ocak 2020 Elazığ Depreminde Hasar Gören Yapıların Sismik Davranışlarının İncelenmesi

Reşat Atalay Oyuç^{1*}

¹*İstanbul Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Enstitüsü, Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı, 34469, Maslak/İstanbul, Türkiye*
(ORCID: [0000-0002-9874-3763](https://orcid.org/0000-0002-9874-3763))



Anahtar kelimeler:
Sismik davranış, 2020 Elazığ depremi, Betonarme ve yığma yapılar, Cami minareleri.

Öz

24 Ocak 2020 tarihinde merkez üssü Elazığ ilinin Sivrice ilçesi olan orta büyüklükte bir deprem meydana gelmiştir. Bu deprem bölgede büyük ölçekte can kaybına ve mali kayıplara yol açmıştır. Deprem büyüklüğü orta düzeyde olmasına rağmen, yapılarda oluşturduğu hasar incelemeye değerdir. Gözlenen hasarın temel nedeni olarak düşük kaliteli yapı stoku gösterilebilir. Bu çalışmada, bölgedeki betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip bina türü yapıların yanı sıra cami minarelerinin sismik davranışları incelenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle depremden etkilenen alan hakkında genel bilgiler verilmiş, gözlenen hasarların istatistiksel dağılımı incelenmiş ve yürütülen yeniden yapılandırma çalışmaları tartışılmıştır. Sonrasında, genel jeolojik yapı ve daha önceki tarihi depremler incelenmiştir. Depreme ait bilgiler özetlendikten sonra, betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip binalar ve cami minarelerinde gözlenen hasarlar detaylı olarak paylaşılmıştır. Bu çalışma düşük kaliteli yapıların deprem performanslarının ve davranışlarının anlaşılmasına ışık tutacak olup, bölgedeki yapıların sismik kapasitelerinin uygun bir güçlendirilme yöntemi ile iyileştirilmesi gerekliliğini ortaya koyacaktır. 2020 Elazığ depreminden sonra hasar gören yapılar üzerinde yapılan bu ve benzeri incelemelerin gelecekte olması muhtemel depremlere kadar yapıların sismik performanslarının iyileştirilmesine vesile olacağı düşünülmektedir.

Seismic Assessment of Damaged Buildings after 24 January 2020 Elazığ Earthquake

Keywords: Seismic behavior, 2020 Elazığ earthquake, Reinforced concrete buildings, masonry dwellings, mosque minarets.

Abstract

On January 24, 2020, a medium-magnitude earthquake hit the Province of Elazığ which is established in the eastern part of Turkey. The epicenter of the excitation was reported to be at Sivrice village. Although the ground excitation may be classified as a medium one, the damage to structures was found to be dared to investigate. The main reason of this excessive damage is because of the poor-quality building stock of the affected region. In this study, the seismic behavior of reinforced concrete buildings, masonry dwellings and mosque minarets were examined. General information about earthquake affected region was first discussed. Then, observed damage distribution and conducted resettlement studies were examined. The seismicity of the region and past earthquakes were considered to bring forward the effectiveness of the current excitation. After considering the parameters of the mentioned excitation, the reasons of the observed damage during the in-situ investigations were argued in terms of reinforced concrete buildings, masonry dwellings and mosque minarets. This study is expected to highlight the understanding

*Sorumlu yazar: oyuc@itu.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.09.2021, Kabul Tarihi: 26.11.2021

of the seismic behavior of low-quality structures, and it is expected to encourage developments that will help enhance the seismic capacity of existing buildings in the region. It is believed that studies on the reasons of the observed damage after 2020 Elazığ ground excitation will help to enhance the seismic performance of building type structures against future earthquakes.

1. Giriş

Mevcut tarihi kaynaklara göre Elazığ ilinin geçmişi M.Ö. 2000 yıllarında ilk olarak Hurriler tarafından kurulmuş olan Harput kentine kadar gitmektedir. Günümüzde hala ayakta olan Harput kalesi, burada uzun süre hüküm süren Urartuların izlerini taşımaktadır. Harput, günümüz Türkçesinde Taş Kale anlamına gelmektedir. Elazığ iline bağlı 11 ilçe, 151 mahalle ve 550 köy bulunmakta olup, ilin nüfusu Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) [1] tarafından yaklaşık 591000 olarak açıklanmıştır. Bu nüfusun yaklaşık %74'ü il merkezinde, %26'sı kırsal kesimde yaşamaktadır. Elazığ ili sosyoekonomik gelişmişlik sıralamasında 81 il içerisinde 39. sırada, illerin gelişmişlik seviyesinde ise 28. sırada yer almakta olup, kişi başı gayri safi yurt içi hasılası (GSYİH) 6674 dolar ile Türkiye ortalamasının yaklaşık yarısıdır [2].

24 Ocak 2020 saat 20:55'te, merkez üssü Elazığ ilinin Sivrice (38.3593° enlem ve 39.0630° boylamı) ilçesi olarak belirlenen, en büyük ivme (PGA) değeri 292.77 gal ve etkin süresi 20.3 s olarak tespit edilen bir deprem meydana gelmiştir. Depremin moment büyüklüğü Mw 6.8 ve odak derinliği ise 8.05 km'dir. Deprem üssünün Elazığ iline uzaklığı 36.47 km, en yakın yerleşim yeri olan Çevrimtaş beldesine uzaklığı ise 0.81 km'dir. Depremden sonraki iki aylık süreçte 6424 artçı deprem kaydedilmiş olup bunlardan 38 tanesinin büyüklükleri Mw 4'ten büyüktür [3]. Depremden en çok etkilenen iller olan Elazığ, Malatya ve Diyarbakır'da toplam can kaybı 41, yaralı sayısı ise 1607'dir.

Depremden sonra T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) hasar değerlendirme ekipleri tarafından Elazığ'ın Merkez, Baskil, Karakoçan, Keban, Kovancılar, Maden, Palu ve Sivrice ilçelerinde gözlemsel bir hasar tespit çalışması yürütülmüştür. Hasar tespit çalışması yürütülen bölge Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu incelemeler neticesinde söz konusu ilçelerdeki konutların yanı sıra, okullar, resmi yapılar, camiler, ticarethaneler, depolar, müstemilatlar, ortak alanlar, ahırlar ve samanlıklar incelenmiş olup, 84385 binada gözlenen hasarlar derecelendirilmiştir. Bu derecelendirmenin özeti Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, Elazığ ili genelinde incelenen bölüm toplam sayıları dikkate alınır, bölümlerin

%13.7'si yıkık, acil yıkılacak ve ağır hasarlı kategorisinde, %2.9'u ise orta hasarlı kategorisinde yer almaktadır. 2002 yılında afet yönetimi alanında araştırmalar yapmak amacı ile kurulmuş olan Afet Yönetimi ve Risk Azaltma Teknoloji Merkezi'nin (CEDIM) depremden sonra yayınladığı raporunda tahmin edilen hasar 1.13 milyar dolar olarak açıklanmıştır [4]. Bu rakam, Elazığ ilinin GSYİH değerinin %46.1'ine karşı gelmektedir. CEDIM, bu oranın %33'ten fazla olduğu durumlarda ilgili afetin şiddetli olarak değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir.



Şekil 1. Elazığ ili bölge haritası.

Depremden sonra yürütülen hasar değerlendirme çalışmaları tamamlandıktan sonra Elazığ il Valiliği tarafından üç aşamalı yeniden yapılandırma planı açıklanmıştır. Buna göre, depremden etkilenen halk öncelikli olarak konteyner kentlerde barındırılacak, sonrasında ise kentsel dönüşüm projesi kapsamında ya da kent dışına kurulacak yeni afet yerleşkelerinde hak sahibi olacaktır. Bu amaçla ilk etapta Aşağıdemirtaş, Kırklar, Doğukent mahalleleri ve Sivrice ilçesinde geçici konaklama merkezleri kurulmuştur. Dört konaklama merkezinde toplam 1745 ailenin (yaklaşık 6000 kişi) barındığı 980 konteynerin ise boş olduğu bildirilmiştir [5].

Yaklaşık 3 aylık bir süreçte, Tablo 1'de acil yıkılması gereken ve ağır hasarlı olarak belirtilen toplam 36291 bölümden 6048 tanesinin yıkımı tamamlanmış ve hak sahipliği işlemleri başlatılmıştır. Yeniden yapılanmanın ikinci aşaması olarak, Elazığ merkez ve Sivrice ilçelerinde kentsel dönüşüm çalışmaları yapılması kararlaştırılmış ve bu kapsamda depremden en çok etkilenen bölgeler belirlenmiştir: Karşıyaka, Kızılay, Sürsürü, Mustafapaşa, Rüstempaşa,

Abdullahpaşa mahalleleri ve Sivrice ilçesi. Bu bölgelerde, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) tarafından toplam 6596 konut inşa edilmesi kararlaştırılmış olup, Mayıs 2021 itibari ile bu konutların Abdullahpaşa ve Mustafapaşa mahallelerinde %85'i, Rüstempaşa mahallesinde %75'i, Sürsürü mahallesinde %83'ü, Karşıyaka'da tamamı ve Sivrice'de %60'ı tamamlanmıştır [6], [7].

Yeniden yapılandırma çalışmasının son etabı olarak il ve ilçe merkezlerinde afet konutları inşa edilmeye başlanmıştır. Buna göre, 11502 tanesi Elazığ şehir merkezi rezerv alanında olmak üzere, Elazığ ilindeki rezerv alanlarında toplam 12598 afet konutu inşa edilmesi kararlaştırılmıştır. Yanı sıra, kırsal bölgede toplam 2015 tek katlı konut inşa edilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmalar neticesinde kentsel dönüşüm alanlarında 6596 konut, rezerv alanlarda 12598 konut ve köy evleri rezerv alanlarında 2015 konut olmak üzere toplam 21209 konut inşa edilmektedir [6]. Türkiye'de

başlatılmış olan en büyük kentsel yeniden yapılandırma projesi olarak lanse edilen bu çalışma tamamlandığında Elazığ ilçeleri ve kırsalının modern bir görünüme kavuşacağı aşikardır. Açıklanan bu çalışmalara ait örnek fotoğraflara Şekil 2'de yer verilmiştir.

Depremlerden sonra sahada yapılan çalışmaların gelecekte olası yer hareketlerine karşı dayanıklı yapı tasarlanmasına katkı sağladığı aşikardır. Deprem bölgelerinde yapılacak sismik risk belirleme çalışmalarında, geçmiş depremlerden elde edilen can kaybı ve yapı hasar envanterlerinin önemli rol oynadığı bilinmektedir. İnceleme bölgesinde tespit edilen kusurlar mühendisler arasında aktararak yeni yapılacak yapıların bu kusurlardan uzak olması sağlanmaktadır. Söz konusu depremin ardından İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) bölgede bir saha çalışması düzenlemiş ve yazar da bu çalışmada aktif rol alarak bölgedeki yapılardaki hasarların nedenlerini araştırmıştır.

Tablo 1. Elazığ Merkez ve çevre ilçelerdeki hasar dağılımı

Hasar Sonuç		Acil	Ağır	Az	Hasarsız	Orta	Tescilli	Yıkık	Topla
		Yıkılacak	Hasarlı	Hasarlı		Hasarlı			m
Baskil	Bina	50	1016	1513	1643	9	0	35	4266
	Bölüm	86	1946	2532	2532	36	0	56	7188
Karakoçan	Bina	17	1174	1563	4662	23	0	47	7486
	Bölüm	32	1575	2376	11416	91	0	55	15545
Keban	Bina	0	73	10	13	0	0	0	96
	Bölüm	0	141	17	24	0	0	0	182
Kovancılar	Bina	33	1106	1165	3307	21	0	29	5661
	Bölüm	46	1635	2432	10433	67	0	37	14650
Maden	Bina	19	1076	1499	2509	4	0	18	5125
	Bölüm	44	2247	2837	4511	30	0	32	9701
Merkez	Bina	515	8341	16804	26774	862	17	408	53721
	Bölüm	1907	22566	71750	110792	7612	20	1519	216166
Palu	Bina	12	729	936	2202	8	0	16	3903
	Bölüm	17	1227	1548	4926	22	0	19	7759
Sivrice	Bina	148	1442	1057	1316	56	1	107	4127
	Bölüm	306	2516	1733	1838	130	1	178	6702
Toplam	Bina	794	14957	24547	42426	983	18	660	84385
	Bölüm	2438	33853	85225	146472	7988	21	1896	277893



Şekil 2. Yeniden yapılandırma etaplarına ait örnekler.

2. Bölgenin Genel Jeolojik Yapısı

Depremi merkez üssü ve en çok etkilediği iller ülkenin doğu bölgesinde olup, aynı zamanda Doğu Anadolu Fay (DAF) sistemi üzerinde yer almaktadır. DAF, Kuzey Anadolu Fay (KAF) sisteminden sonra ülkemizin ikinci büyük fay sistemi olup, Arap ve Anadolu plakaları arasında 580 km uzunluğunda sol-yanal atımlı bir fay sistemi oluşturmaktadır. Bu fay sistemi üzerinde tarih boyu sığ ve etkin depremler raporlanmıştır.

Literatürde DAF sisteminin alt kısımlarını belirleyebilmek için birçok çalışma yapılmıştır. Hempton ve Dewey [8], Şaroğlu vd [9], Barka ve Kadinsky-Cade [10], Duman ve Emre [11] çalışmalarında DAF sistemi için farklı sayılarda esas ve alt kollar önermişlerdir. Burada Duman ve Emre [11] çalışması dikkate alınarak değerlendirmeler yapılacaktır. Buna göre, DAF sisteminin esas kolları güney ve kuzey kollar ile Karasu çukurundan oluşmaktadır. Güney esas kol Karlıova ve Antakya bölgeleri arasında olup 580 km uzunluğundadır. Bu kolun alt kısımları Kuzey Doğudan (KD) Güney Batıya (GB) doğru; Karlıova, Ilıca, Palu, Pütürge, Erkenek, Pazarcık ve Amanos'tur. 2020 Elazığ depremi DAF sisteminin güney esas sistemi üzerinde bulunan Pütürge alt

segmenti üzerinde olmuştur. 2020 Elazığ depremi ve artçılarının meydana geldiği kısım daha önce büyük bir deprem üretmemiştir. Buna göre bu fay kesimi “sismik boşluk” olarak adlandırılabilir.

DAF sistemi üzerinde tarihsel dönemde meydana gelen yıkıcı depremler; 1544 Elbistan, 1568 Lazkiye, 1626 Halep, 1726 Harim, 1738 Amik Gölü, 1789 Elazığ, 1796 Lazkiye, 1822 Antakya, 1866 Elazığ, 1872 Hatay, 1873, 1874, 1875 Elazığ depremleri olarak belirtilebilir. Bu depremler arasında 1789 Palu/Elazığ depremine özel bir yer ayırmak gerekmektedir. Bu depremin yüzey dalgası (M_s) büyüklüğü $0 \leq M_s \leq 7.8$ arasındadır. Söz konusu depremden sonra yaklaşık 75 km yarıçaplı bölgede 51000 kişi hayatını kaybetmiştir [3].

Bölgede aletsel dönemde kaydedilen sismik hareketler 1905 Malatya depremi ile başlatılabilir. Bu depremi takiben; 1945 ve 1952 Adana depremleri, 1964 Adıyaman, 1971 Bingöl, 1986 Malatya, 1997 Hatay, 1998 Adana, 2003 Bingöl, 2004 ve 2007 Elazığ depremleri, 2010 Elazığ ve 2020 Elazığ depremleri kaydedilmiştir. Bu depremlerin büyüklüklerine ve yerlerine ait veriler Tablo 2’de özetlenmiştir.

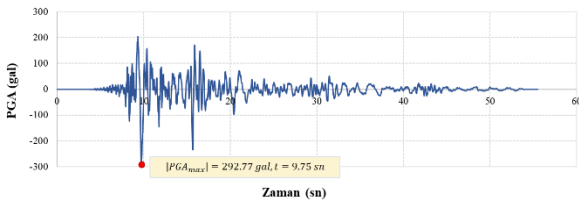
Tablo 2. Aletsel dönemde kaydedilen büyüklüğü 5.0’ten büyük olan depremler

Tarih	Yer	Büyüklük
04.12.1905	Malatya (Pütürge)	$M_s = 6.8$
20.03.1945	Adana (Ceyhan)	$M_s = 6.0$
22.10.1952	Adana (Misis)	$M_s = 5.6$
14.06.1964	Adıyaman (Sincik)	$M_s = 6.0$
22.05.1971	Bingöl	$M_s = 6.8$
05.05.1986	Malatya (Sürgü)	$M_s = 6.0$
22.01.1997	Hatay (Samandağ)	$M_s = 5.7$
27.06.1998	Adana (Yüreğir)	$M_s = 6.2$
01.05.2003	Bingöl	$M_s = 6.3$
11.08.2004	Elazığ (Sivrice)	$M_s = 5.6$
09.02.2007	Elazığ (Sivrice)	$M_s = 5.5$
21.02.2007	Elazığ (Sivrice)	$M_s = 5.7$
08.03.2010	Elazığ (Kovancılar)	$M_s = 6.1$
24.01.2020	Elazığ (Sivrice)	$M_s = 6.8$

Her ne kadar DAF sisteminde oluşan depremlerin tekrarlanma periyotlarını hesaplayabilmek için yeteri kadar veri olmasa da Duman ve Emre [11] yaptıkları çalışmada Pütürge, Pazarcık ve Amanos fay segmentlerinin gelecek zamanlarda büyük ve yıkıcı depremler oluşturabileceklerini belirtmişlerdir. Yine aynı çalışmada yazarlar, Gökdere sıkışma bükümünün orta büyüklükte depremler, kuzey kolun ise yıkıcı depremler meydana getirme potansiyeline sahip oldukları sonucuna varmışlardır. 2020 Elazığ depreminin belirtilen segmentlerde yer aldığı düşünülürse bu bulgu çok önem kazanır.

3. 2020 Elazığ Depreminin Özellikleri

Elazığ depremine ait kayıtların incelenmesinden en büyük ivme değerinin Sivrice 2308 istasyonunda ölçüldüğü anlaşılmaktadır. Bu istasyonda en büyük deprem ivme değeri doğu-batı doğrultusunda 292.77 gal olarak ölçülmüştür. İstasyonun deprem merkez üssüne olan uzaklığı 23.81 km, odak mesafesi 25.14 km, Joyner Boore mesafesi 17.86 km ve fay uzunluğu 17.89 km olarak açıklanmıştır. Şekil 3'te en büyük ivme değerinin ölçüldüğü Sivrice istasyonuna ait ivme-zaman grafiğine yer verilmiştir. 0.1-25 Hz aralığında Butterworth filtrelemesi yapılarak, Sivrice istasyonu için en büyük hız $PGV = 40.3$ cm/sn, en büyük yerdeğiştirme $PGD = 11.4$ cm olarak elde edilmiştir [3].



Şekil 3. 2308 Sivrice istasyonundan elde edilen doğu-batı doğrultusu ivme-zaman grafiği [12].

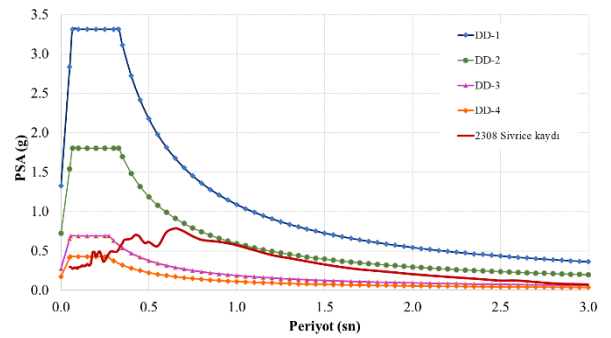
2020 Elazığ depreminden etkilenen bölgenin sismik riskini belirleyebilmek amacı ile Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY) [13] tanımlanan dört farklı deprem yer hareketi düzeyi için deprem parametreleri hesaplanmıştır. Burada, DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4 yer hareketi düzeyleri 50 yılda aşılma olasılıkları sırası ile %2, %10, %50 ve %68 olan depremlere karşı gelmektedir. Bu depremlerin tekrarlanma periyotları ise sırasıyla 2475, 475, 72 ve 43 yıldır. Bu dört deprem yer hareketi düzeyi için hesaplanan parametreler Tablo 3'te gösterilmiştir. Burada, S_s kısa periyot harita spektral ivme değerini, S_1 , 1.0 saniye periyoda karşı gelen harita spektral katsayısını, S_{DS} , kısa periyot

tasarım spektral ivme katsayısını, S_{D1} ise, 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısını göstermektedir.

Tablo 3. Farklı deprem yer hareketi düzeyleri için deprem parametreleri

2308 Sivrice İstasyonu				
PGA (DD-2 deprem yer hareket düzeyi için): 0.622 g				
	DD1	DD2	DD3	DD4
S_s	2.762	1.504	0.539	0.330
S_1	0.778	0.396	0.126	0.075
S_{DS}	3.314	1.805	0.692	0.429
S_{D1}	1.089	0.594	0.189	0.113
PGA	1.101	0.622	0.230	0.145
PGV	82.291	44.035	12.853	7.463

Tablo 3'te verilen deprem parametreleri kullanılarak TBDY [13]'de tanımlanan dört farklı yer hareketi düzeyine ve Sivrice istasyonundan alınan kayda ait spektral ivme-periyot değişim grafikleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği üzere, 24 Ocak Elazığ depremi, bölge tasarım depremine erişememiş, altında kalmıştır. Bu boyutta bir depremin yapılara verdiği hasar ise bölge yapı stoku hakkında bilgi vermektedir.



Şekil 4. Sismik risk seviyeleri için tasarım spektrumu.

4. Yerinde Yapılan Hasar Değerlendirmeleri

Elazığ şehrinin yapı stoku betonarme ve yığma yapılardan oluşmaktadır. Yerinde yapılan incelemelerde, bu yapıların büyük bir çoğunluğunun mühendislik hizmeti almadığı ve mühendislik kurallarına uyulmadan yapı sahipleri tarafından inşa edildikleri anlaşılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar deprem sırasında yapıların sismik performanslarının inşaat kaliteleri ile doğru orantılı olduğunu göstermiştir. Ulusal yapı denetim yasanın bölgede 2011 yılı itibari ile uygulanmaya

başlaması ve bölgedeki yapıların çoğunun bu tarihten önce yapılmış olması nedeniyle bu yapıların güncel Türk deprem yönetmeliğinde hedeflenen performans düzeylerini yakalayamadığı belirlenmiştir. Köy yerleşkelerinde bulunan yapıların büyük çoğunluğunun kerpiçten imal edilmiş olduğu ve bu sistemin yatay ahşap kirişlerle desteklendiği belirlenmiştir. Bu tarz yapıların büyük bir çoğunluğunun ağır toprak çatıya sahip oldukları görülmüştür.

Bu bölümde, söz konusu depremden sonra sahada yürütülen hasar tespit çalışmalarından elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Buna göre, tespit edilen hasarların nedenleri üç ana başlık altında incelenmiştir: İlk bölümde şehir merkezinde yer alan betonarme yapısal sisteme sahip olan binalar; ikinci bölümde kırsal bölgede hâkim olan yığma yapılar ve üçüncü bölümde minare tarzı yapılarda gözlenen hasarlar ve nedenleri tartışılmıştır.

4.1. Betonarme Yapılarda Tespit Edilen Hasarlar

Yerinde yapılan incelemelerde, betonarme yapılarda tespit edilen hasarların aşağıda belirtilen bir veya birkaç maddenin bir arada etkimesi sonucunda ortaya çıktığı düşünülmektedir: basınç dayanımı düşük beton kullanımı, kolon ve kiriş elemanlarda eğilme ve kesme hasarları, kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarlar, sargı eksikliği ve yetersiz donatı kullanımı, kısa kolon etkisi, perde duvar hasarı, yapının oturmasından dolayı oluşan hasarlar, yapı sahiplerinin verdiği hasarlar ve yapısal olmayan hasarlar.

4.1.1. Basınç Dayanımı Düşük Beton Kullanımı

Depremden sonra Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) tarafından yerinde incelemeler yapılmış ve bölgede hasar gören birçok betonarme yapıda düşük dayanıma sahip beton kullanıldığı rapor edilmiştir. Ayrıca THBB tarafından hasar gören yapılarda karot numuneler alınmış ve incelenen binaların beton sınıflarının C6 ile C12 arasında değiştiği belirtilmiştir [14].

Her ne kadar Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) [15] ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [13] hazır beton kullanılmasını zorunlu kılsa da hasar gören yapılarda elle dökülmüş beton kullanıldığı ve agrega dane çapının büyük olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun temel nedeni olarak, ulusal yapı denetim uygulamasının bölgede 2011 yılında başlamış olması gösterilebilir.

Literatürde birçok deneysel çalışma ile betonun herhangi bir yüke maruz kalmadan kendi bünyesinde mikro-çatlaklar içerdiği gözlenmiştir. Bu çatlakların genellikle agrega ve çimento bulamacı arasında ortaya çıktığı ve dış yüke maruz kalan beton elemanda bozulmalara yol açtığı deneysel çalışmalar ile kanıtlanmıştır. Bu nedenle betonarme taşıyıcı sisteme sahip olan yapılarda betonun basınç dayanımı çok önemli bir role sahiptir. DBYBHY [15] yeni yapılacak betonarme yapılarda betonun minimum basınç dayanım değerinin 20 MPa olmasını öngörürken, TBDY [13]'de bu değer 25 MPa'a yükseltilmiştir. Hasar gören bölgede yapılan incelemelerde, anılan yönetmeliklerde belirtilen dayanım sınırlarının çok altında kaldığı anlaşılmıştır. Şekil 5'te inceleme konusu bölgede basınç dayanımı düşük beton eleman kullanım örneklerine yer verilmiştir.



Şekil 5. Düşük dayanımlı beton kullanımı örnekleri.

4.1.2. Kolon Elemanlarda Gözlenen Eğilme ve Kesme Hasarları

Depremlerden sonra kolon elemanlarda gözlenen hasarlar iki başlık altında toplanabilir: (a) çevrimsel eğilme hasarı ve (b) çevrimsel kesme hasarı. Çevrimsel eğilme hasarları genellikle kolon elemanın üst ve alt bölgelerinde gözlenir. Bu tarz hasarlar genellikle orta ve yüksek narinlik oranlarına sahip kolon elemanlarında gözlenir. Kolon elemanın üst ve alt bölgelerinde biriken yüksek moment aksel kuvvet ile birleşince kolonun her iki yüzünde beton basınç bölgesinde ezilme meydana gelir. Bu bölgedeki donatı eksikliği söz konusu hasarın yaygınlaşmasına yol açar [16]. Çevrimsel eğilme hasarında öncelikle basınç bölgesindeki ezilmeden dolayı kabuk betonu dökülerek donatıyı açığa bırakır. Ardından basınç etkisi altındaki donatılarda burkulma gözlemlenir. Kolon elemanda hem ani rijitlik azalımı hem de düşey yüklerini taşıyabilme kapasitesi azaldığı için kolon elemanlarda oluşan eğilme hasarları ciddi tehlikeler oluştururlar. 24 Ocak depreminin ardından sahada yapılan incelemelerde kolon elemanların en çok eğilme hasarlarına maruz

kaldıkları tespit edilmiştir. Şekil 6’da bu tarz hasarlara örnekler gösterilmiştir.



Şekil 6. Çevrimsel eğilme hasarı örnekleri.

Kolon elemanların kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin yetersiz olduğu durumlarda çevrimsel kesme hasarı oluşmaktadır. Kesme çatlakları yaklaşık 45° eğimli çatlaklar olarak görülmektedir [17]. Genellikle, kısa kolon oluşumlarında ve kolon kesitlerinin fazla olduğu en alt katlarda bu tarz hasarlar gözlenmektedir. Şekil 7’de deprem bölgesinde kesme hasarı alan kolon elemanlara yer verilmiştir.

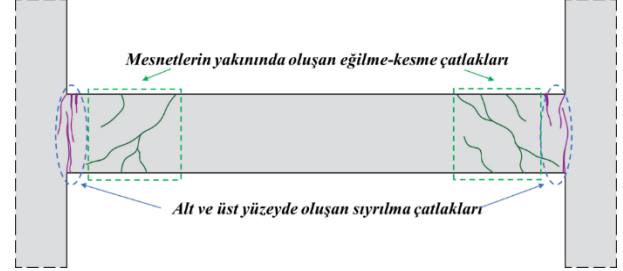


Şekil 7. Çevrimsel kesme hasarı örnekleri.

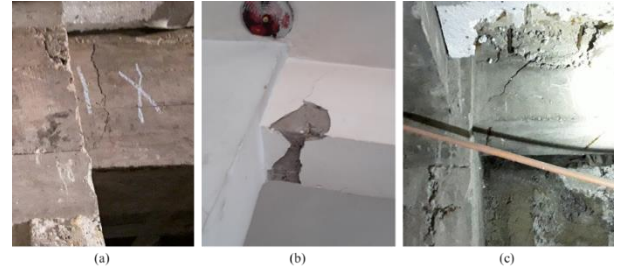
4.1.3. Kiriş Elemanlarda Gözlenen Eğilme ve Kesme Hasarları

Geçmiş depremlerden elde edilen tecrübe ile kiriş elemanlarda gözlenebilecek deprem hasarları Şekil 8’de gösterilmiştir [16]. Depremlerden sonra kiriş elemanlarda en sık gözlenen hasar tipi kiriş mesnetlerine yakın yerlerde oluşan eğilme-kesme çatlaklarıdır. Yapı stabilitesi üzerine olumsuz etkisi azdır. Diğer bir hasar türü ise kiriş üst ve alt yüzeylerinde oluşan sıyrılmaya hasarlarıdır. Bu hasar

tipinde, kiriş alt yüzeyinde gözlenen çatlaklar genellikle alt donatının mesnetlere iyi ankre edilememesi nedeniyle oluşur. Tali kirişlerin esas kirişe mesnetlendiği noktalarda kesme ya da eğilme çatlakları görülebilmektedir. Deprem bölgesinde yapılan incelemelerde kiriş elemanlarında gözlenen hasarlara Şekil 9’da yer verilmiştir.



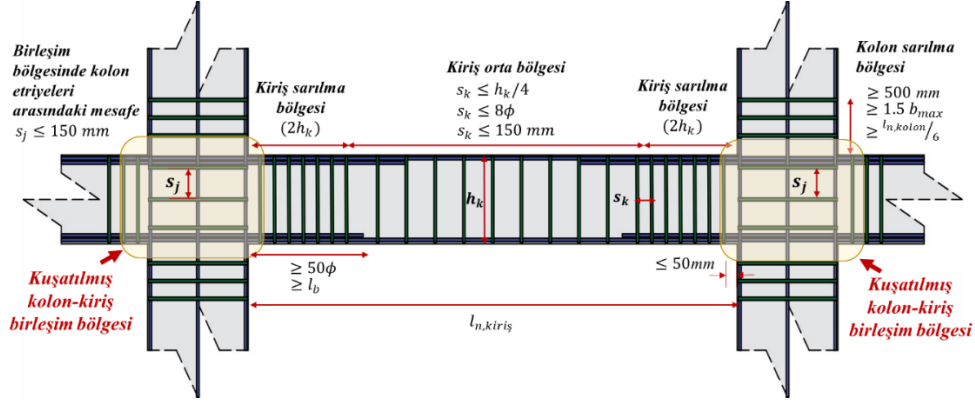
Şekil 8. Kiriş elemanlarda gözlenebilecek deprem hasarları.



Şekil 9. Kiriş hasarlarına örnek: (a) ve (b) alt ve üst yüzeyde oluşan eğilme çatlakları, (c) mesnetlerin yakınında oluşan eğilme-kesme çatlakları.

4.1.4. Kolon-Kiriş Birleşim Bölgelerinde Görülen Hasarlar

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşan hasarlar, depremlerden sonra yapı stabilitesi için en tehlikeli hasar türü olarak gösterilebilir. Bu tür hasarlarda yapısal elemanların rijitlikleri ani olarak azalmakta ve yapı göçme seviyesine yaklaşmaktadır. Türk Deprem Yönetmeliklerinde kolon-kiriş birleşim bölgelerine önem verilmiş olup bu bölgelerde donatı sıklaştırılması yapılması koşulu getirilmiştir [18], [19], [20], [15], [13]. Şekil 10’da yürürlükte olan TBDY [13] yönetmeliğinde zorunlu tutulan donatı sıklaştırması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 10. Kirişlerde ve kolonlarda TBDY [13]'e göre zorunlu tutulan donatı sıklığı.

Buna göre, kolonların alt ve üst uçlarında, kiriş mesnetlerinde kolon yüzünden itibaren belirli uzunlukta sarılma bölgeleri bulunmaktadır. Kolon sarılma bölgelerinin uzunluğu, kolon serbest yüksekliğinin ($l_{n,kolon}$) $1/6$ 'sından, kolon en büyük kesit boyutunun (b_{max}) 1.5 katından ve 500 mm'den büyük olmalıdır. Kiriş sarılma bölgesinin uzunluğu, kiriş yüksekliğinin (h_k) 2 katı kadar olmalı ve ilk etriyenin kolon yüzüne uzaklığı en çok 50 mm olmalıdır. Her iki taraftan kirişlerin kolonlara birleşmesi durumunda kiriş alt donatıları, açıklığa komşu olan kolon yüzünden itibaren, 50ϕ 'den az olmamak üzere, TS500'de [21] verilen kenetlenme boyu ($l_{b,kiriş}$) kadar uzatılmalıdır. Ayrıca, kuşatılmış kolon-kiriş birleşim bölgesinde, alttaki kolonun sarılma bölgesi için hesaplanan enine donatı miktarının en az %40'ı, birleşim bölgesi için kullanılmalıdır. Kuşatılmamış birleşimlerde ise, bu oran en az %60 olmalıdır [13]. Şekil 11'de deprem bölgesinde tespit edilen kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarlarına yer verilmiştir.



Şekil 11. Kolon-kiriş birleşim bölgesi hasarları.

4.1.5. Sargı Eksikliği ve Yetersiz Donatı

Beton elemanın enine donatılar kullanılarak sargılanması sargı etkisi olarak bilinmektedir. Sargılanmanın en belirgin özelliği betonun dayanımını ve elemanın süneklik kapasitesini arttırmasıdır. ACI 318 [22] enine sargılanmanın tek ya da üst üste binen spirallerle, dairesel etriyeler ile

veya çirozlu/çirozsuz etriyeler kullanılarak sağlanmasını belirtmiştir. Park ve Paulay [23], yaptıkları deneysel çalışmalar ile dairesel spiraller kullanılarak yapılan sargılanmanın kare ya da dikdörtgen etriyelere nazaran daha etkili olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, 90°'lik kancalara sahip etriyelerin 135°'lik kancalara sahip etriyeler kadar sargılama sağlayamadıkları da belirtilmiştir.

TBDY [13], betonarme kolonlarda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, perde uç bölgelerinde ve kiriş sarılma bölgelerinin her iki ucunda 135° kıvrımlı kancalara sahip özel deprem etriyeleri ve özel deprem çirozları kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, TBDY [13] betonarme yapılarda, DBYBYH [15]'de olduğu gibi kolon elemanların kirişlerden daha güçlü olması koşulunu getirmektedir. Şekil 12'de etriye ve çirozların farklı pozisyonları gösterilmiştir.



Şekil 12. Etriye ve çirozların gösterimi.

Hasar gören yapılarda yerinde yapılan incelemelerde, anılan yönetmeliklerin aksine, kiriş elemanların kolonlardan daha güçlü imal edildiği gözlenmiştir [24]. Şekil 13'te enine ve boyuna donatılarda sıklaştırma yapılmamış olmasının ve yönetmeliklere uygun olmayan aralıklarda donatı yerleştirilmesinin deprem sırasında ortaya çıkardığı hasarlara yer verilmiştir.

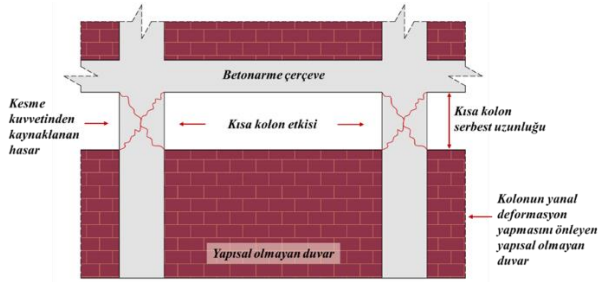


Şekil 13. Donatı ve sargı eksikliği örnekleri.

4.1.6. Kısa Kolon Etkisi

Guevara and Garcia [25] kısa kolon etkilerini deneysel olarak incelemişler ve bu durumun betonarme çerçevelerin, bölme duvarlar gibi, yapısal olmayan elemanlarla etkileşimleri sonucunda oluştuğunu belirtmişlerdir. Buna göre kısa kolon davranışı, kolon elemanın yanal deformasyonunun yapısal olmayan duvar eleman tarafından önlenmesi sonucunda oluşmaktadır.

Şekil 14'te şematik olarak gösterildiği gibi, kolon elemanların alt kısımlarının yerdeğıştirmeleri önlenmiş, belirli bir yükseklikten sonra kolonun kısmi bir bölümünün yerdeğıştirme yapmasına izin verilmiştir.



Şekil 14. Kısa kolon davranışı.

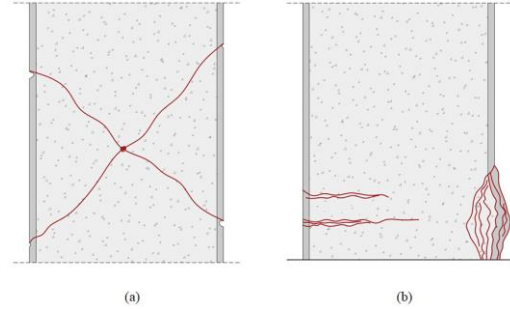
Yerinde yapılan incelemelerde bant pencereler açabilmek amacı ile dolgu duvarların yüksekliklerinin tam kat yüksekliğinde olmadığı ve bant pencerelerin kısa kolon davranışına yol açtığı tespit edilmiştir. Bu duruma ait örnek Şekil 15'te verildiği gibidir.



Şekil 15. Kısa kolon oluşumuna örnek.

4.1.7. Perde Duvar Hasarı

Depremlerden sonra perde elemanlarında gözlenen hasarlar X şeklinde kesme hasarları ve eğilme hasarları olarak iki alt başlıkta toplanabilir. Eğilme hasarları daha seyrek olup, X şeklinde oluşan kesme hasarları daha yaygın görülmektedir. Kesme hasarı gevrek davranış olarak sınıflandırılabilir ve göçmeye yol açabileceği için eğilme hasarına göre daha tehlikelidir. Şekil 16'da perde elemanlarda olası deprem hasarları şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 16. Perde duvarı hasarı (a) kesme hasarı, (b) eğilme hasarı.

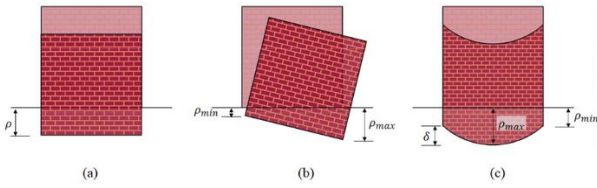
Birçok yabancı deprem yönetmeliğinde olduğu gibi, TBDY [13]'de de perdenin her iki yüzeyinde başlık bölgeleri oluşturulması zorunlu tutulmaktadır. Böylelikle perde elemanı enine ve boyuna donatılarla güçlendirilmiş olmaktadır. Başlık bölgesi içerisinde tek çevre etriyesi ve ek çirozlar kullanılması yerine çevre etriyelerinin sayılarının artırılması ve bu etriyelerin en az 150 mm birbirleri üzerine bindirme yapmaları önerilmiştir [26]. Segura ve Wallace [26] yaptıkları deneysel çalışmalarda, perde duvarın başlık bölgesinin hasar görmesi durumunda elemanın aksel yük taşıma kapasitesinin ani olarak azaldığını, bu nedenle plastik mafsallardaki gövde düşey donatısının gövdeye eklenecek çirozlar ile sabitlenmesi gerektiğini tespit etmişlerdir. Şekil 17'de, deprem bölgesinde gözlenen perde hasarlarına yer verilmiştir.



Şekil 17. Yerinde yapılan incelemelerde gözlenen perde duvar hasarı: (a) ve (b) kesme hasarı, (c) eğilme hasarı.

4.1.8. Yapının Oturmasından Dolayı Gözlenen Hasarlar

Geçmiş depremlerden sonra yürütülen zemin çalışmalarında, konsolidasyon ya da sıvılaşma gibi etmenlerden dolayı zeminlerde farklı deformasyonlar oluşabileceği ve bunların üst yapıyı etkileyeceği tespit edilmiştir. Zemin özelliklerine göre yapılarda gözlenen oturma hasarları üç alt başlıkta gruplandırılabilir. Bunlar, Şekil 18’de gösterildiği gibi (a) düzgün oturma, (b) devrilme ve (c) farklı deformasyon şeklindedir.



Şekil 18. Oturma hasarları (a) düzgün oturma, (b) devrilme ve (c) farklı deformasyon.

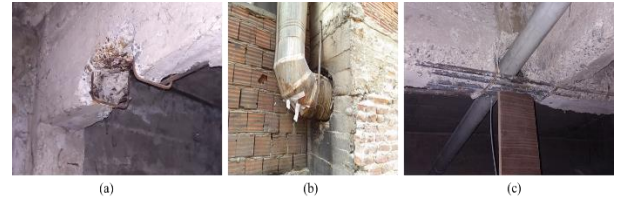
Düzgün oturma, yapı temelini her noktasının eşit miktarda deplasman yapması olarak adlandırılırken (Şekil 18. a); devrilme, yapı temelini karşılıklı iki noktasının farklı düzeyde yer değiştirme yaptığı durumdur (Şekil 18.b). Farklı deformasyon durumu yapı temelini bir bölümünün diğer kesitlerinden daha fazla deplasman yaptığı duruma karşı gelmektedir. Temeldeki bu yer değiştirmelerden özellikle farklı deformasyon durumu üst yapıda büyük hasarlara yol açabilmektedir. Deprem bölgesinde yapılan çalışmalarda, zemin özelliklerine bağlı olarak bazı binalarda oturmalarından dolayı oluşan düşey çatlaklar tespit edilmiştir. Ayrıca, inceleme konusu bazı binaların giriş merdivenlerinin yol kotunda olmadığı, zemin hareketlerinden dolayı merdivenlerin zemin kotundan yüksekte kaldığı ve yolların göçtüğü gözlenmiştir. Detaylı yapılan incelemeler neticesinde bu binalar boşaltılarak yıkılmaya başlanmışlardır. Bu hasar türüne örnekler Şekil 19’da gösterilmiştir.



Şekil 19. Zemine bağlı oturma hasarları: (a) düzgün oturma, (b) ve (c) farklı deformasyon.

4.1.9. Yapı Sahipleri Tarafından Verilen Hasarlar

Depremden sonra bölgede yapılan incelemelerde yapı elemanlarına yapı sahipleri tarafından hasarlar verildiği gözlenmiştir. Birçok yapıda kiriş elemanların donatılarının kesildiği ve çekirdek betonun kırılarak buralardan su borularının geçirildiği tespit edilmiştir. Şekil 20’de gösterildiği gibi, bazı yapılarda kolon ve perde elemanlara da hasarlar verildiği belirlenmiştir, öyle ki perde elemanın içerisine fırın bacası yerleştirebilmek için bu elemanın donatıları kesilmiş ve çekirdek betona hasar verilmiştir.



Şekil 20. Yapı sahiplerinin yapıya verdiği hasarlara örnekler: (a) donatısı kesilen kiriş elemanı, (b) çekirdek betonu kırılan perde elemanı, (c) betonu kırılarak alttan sunta ile desteklenen kiriş elemanı.

4.1.10. Yapı Sahipleri Tarafından Verilen Hasarlar

Deprem bölgesinde yapılan incelemeler neticesinde yapısal olmayan hasarlar esas olarak dört kategoriye ayrılabilirler: Bölme duvar hasarları, dış cephe kaplama elemanlarında dökülmeler, bacaların kırılması ve çatı hasarları. Bu hasar türleri içerisinde en çok bölme duvarlarda çatlaklar gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak duvar ve çerçeve arasında gereken bağlantının yapılamaması gösterilebilir. Bu hasar türüne ait fotoğraflara Şekil 21’de yer verilmiştir.



Şekil 21. Yapısal olmayan hasar örnekleri: (a) dış cephe kaplama elemanlarında dökülmeler, (b) bölme duvar çatlakları, (c) çatı hasarı.

4.2. Yığma Yapılarda Tespit Edilen Hasarlar

İnceleme bölgesindeki yığma türü yapılarda gözlenen hasarların yığma duvarların düzlem dışı ve düzlem içi davranışları neticesinde oluştuğu

belirtilebilir. Bilindiği üzere düzlem dışı davranış yığma duvarlara dik etki eden yer hareketi sonucu gözlenirken, düzlem içi davranış yığma duvar doğrultusunda etki eden düzlem kuvvetleri neticesinde gözlenir [27]. Bölgedeki hasarın daha çok düzlem dışı davranış sonucunda olduğu söylenebilir. Bu bölümde inceleme bölgesindeki yığma yapılarda tespit edilen düzlem dışı ve düzlem içi hasarların nedenleri tartışılacaktır.

4.2.1. Düşük Dayanımlı Malzeme Kullanımına Bağlı Olan Hasarlar

Her ne kadar daha önce bu bölgelerde meydana gelen depremlerden kerpiç malzemelerin sismik performanslarının düşük olduğu bilinse de ülkemizin özellikle Doğu bölgelerinde yığma yapılar hala kerpiç elemanlar tercih edilerek inşa edilmektedirler. Yanı sıra, bölgede yapılan incelemelerde farklı yapı malzemeleri kullanılarak inşa edilen yığma duvarlara sahip konutlarda duvarların devrildiği gözlenmiştir. Bölgede sıkça tercih edilen çamur ve kirecin yapıştırıcı harç olarak kullanılmasının gözlenen hasarı arttırdığı düşünülmektedir. Şekil 22’de bu hasar türüne ait örnekler yer verilmiştir.



Şekil 22. Düşük dayanımlı malzemeye bağlı hasarlar.

4.2.2. Yetersiz İşçiliğe Bağlı Hasarlar

Düşük dayanımlı malzemelerin kullanımı yanı sıra, yetersiz işçilik ve imalat kusurları da bölgedeki yığma yapılarıdaki hasarı arttırmıştır. Gelişigüzel yerleştirilen kerpiç ve taş elemanlar yapının sismik davranışı olumsuz yönde etkilerken, bu elemanlar arasında yeterli bağlantıların sağlanmaması da beklenen hasarın daha da artmasına neden olmaktadır. Özellikle köşe birleşimlerde harç kullanılmaması bu noktalarda boşluklar oluşturmuş ve bu boşluklar da duvarın düzlem dışı davranışa karşı eğilme rijitliğini azaltmıştır. Bu maddede incelenen hasara örnekler Şekil 23’te verilmiştir.



Şekil 23. Yetersiz işçiliğe bağlı hasarlar.

4.2.3. Ağır Toprak Çatı Kullanımı

Yöreye uygun bir özellik olan kalın tabaka kurumuş çamurdan çatı yapımı, depremden sonra bu tarz yapılarda gözlenen hasarı arttırmıştır. Genelde yalıtımı sağlamak amacı ile tercih edilen bu uygulamada toprak kalınlığı yer yer 50 cm’yi bulabilmektedir. Kabaca bir hesapla bu kalınlıkta bir toprak tabaka çatının ağırlığına 0.1 kgf/cm^2 ilave yük getirmektedir. Her ne kadar bu uygulama TBDY [13]’de yasaklanmış olsa da ülkemizin Doğu bölgelerinde sıklıkla rastlanan bir uygulamadır. Şekil 24’te ağır toprak çatı kullanımından dolayı oluşan hasarlara yer verilmiştir.



Şekil 24. Ağır toprak kullanımdan dolayı oluşan hasarlar.

4.2.4. Hatıl Kullanılmamasından Dolayı Oluşan Hasarlar

Her ne kadar deprem yönetmeliklerinde yığma yapılar için yatay ve düşey hatıllar kullanma zorunluluğu var ise de inceleme konusu bölgede birçok yığma yapıda hatıl kullanılmadığı ve bu yüzden depremden sonra hasarlar görüldüğü tespit edilmiştir. Hatıllar çerçeve kirişi gibi davranarak yığma duvarların arzu edilen kutu davranışını sergilemesine katkı sağlamaktadırlar. Hatıl kullanılmaması ile alakalı gözlenen hasarlar Şekil 25’te verilmiştir.



Şekil 25. Hatıl kullanılmamasından dolayı oluşan hasarlar.

4.2.5. Çatı-Duvar Bağlantısının Yeterli Düzeyde Sağlanamaması

Depremden etkilenen bölgede yığma yapıların büyük çoğunluğunda çatılar doğrudan yığma duvarların üzerine mesnetlenmişlerdir. Duvar ve çatının hatıllar ile bağlanmaması sonucunda yığma duvarlarda düzlem dışı davranış ortaya çıkmıştır. Çatı seviyesinde hatıl elemanlara yer verilmemesi kutu davranışını bozarak yığma duvarların düzlem dışı davranışlarına yol açmıştır. Çatı-duvar bağlantısının yetersizliğinden dolayı oluşan hasarlara Şekil 26'da yer verilmiştir.



Şekil 26. Çatı-duvar bağlantısının yeteri düzeyde sağlanamaması.

4.2.6. Köşe Hasarları

Daha önceki depremlerden sonra yapılan saha çalışmalarında da rapor edildiği üzere, yığma duvar ve çatıların yine yığma duvarlar ile uygun bir şekilde bağlanmaması köşelerin depremlerde daha da zorlanmalarına yol açmaktadır. Köşeler tutulu olarak inşa edilmedikleri için bu noktalarda stabilite kaybı olmaktadır. Bu hasar tipine örnekler Şekil 27'de verildiği gibidir.



Şekil 27. Köşe duvarlar arasında yeterli bağlantının olmaması.

4.2.7. Dik Duvarların Düzlem Dışı Davranışı Sonucu Ortaya Çıkan Hasarlar

Bölgede yapılan incelemelerde, birbirine dik duvarların ayrılmalarının kısmi ya da toptan göçmeye yol açtığı tespit edilmiştir. Yetersiz işçilik ve özellikle de birleşim detaylarının yönetmeliklere uygun yapılmaması neticesinde duvarların düzlem dışı davranışı kaçınılmaz olmaktadır. Önceki çalışmalardan, yığma elemanın çekme gerilmesinin aşılması durumunda birbirine dik duvarların ayrıldıkları bilinmektedir [27]. Bu hasar türüne örnekler Şekil 28'de gösterildiği gibidir.



Şekil 27. Dik duvarların düzlem dışı davranışları.

4.2.8. Düzlem İçi Davranıştan Dolayı Oluşan Hasarlar

Yığma yapılarda gözlenen ikinci mekanizma tipi ikinci göçme modu olarak da bilinen hasar türü düzlem içi davranıştır. Duvar geometrisi, malzeme bileşeni türü ve yüklemenin şekli (monotonik veya çevrimsel) düzlem içi davranışı doğrudan etkilemektedir [27]. Calderini vd. [28] düzlem içi davranıştan dolayı oluşan hasarları iki alt grupta incelemiştir: Eğilmeden dolayı oluşan yatay çatlaklar ve kesmeden dolayı oluşan diyagonal çatlaklar. Yapısal sistem elemanları arasında kurulacak etkin bağlantı gözlenebilecek hasar düzeyini azaltmaktadır. Ayrıca, sisteme eklenecek döşemeler yatay yükün duvarlara aktarılmasında etkin rol oynayarak yapının deprem etkisi altında "kutu" davranışını göstermesine yardımcı olacaktır. Dolayısıyla, her ne kadar düzlem içi davranış kesme hasarına yol açmakta ise de bu durum tek başına yapısal göçmeye neden olmamaktadır.

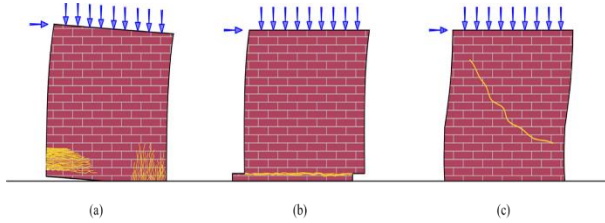
a) Eğilmeden dolayı oluşan düzlem içi davranışı

Bu davranış iki farklı göçme modu içermektedir. Etki eden düşey yük duvar elemanın basınç dayanımından düşük ise, bu durumda yapıya etki eden yanal kuvvet köşelerde çekme çatlaklarına yol açarak duvarın mesnetlendiği kesitte devrilmesine sebep olmaktadır. Ayrıca, sistemde belirgin bir eğilme çatlağı oluşmamış ise, etkiyen düşey yükten

dolayı, duvar eleman köşelerinde basınç bölgelerine doğru yoğunlaşan düşey çatlaklar (ezilme) gözlenmektedir (Şekil 29.a).

b) Kesmeden dolayı oluşan düzlem içi davranışı

Bu tip davranışta da iki farklı göçme modu söz konusudur: Kesme hasarı ve diyagonal çekme çatlakları hasarı. Eğilme çatlaklarının duvarın köşesinde yığılması neticesinde bu kesit yatay yataklama derzleri boyunca hareket ederek kesme hasarını oluşturur (Şekil 29.b). Diyagonal çekme çatlakları hasarı ise genellikle yığma duvarın merkezinde oluşan çatlakların köşelere doğru yayılması neticesinde gözlenir (Şekil 29.c). Çatlaklar harç derzlerinden geçebilecekleri gibi blok elemanlara da hasar verebilirler. Şekil 30'da depremden sonra gözlenen düzlem içi hasar tiplerine örnekler verilmiştir.



Şekil 29. Yığma duvarlarda tipik göçme modları.

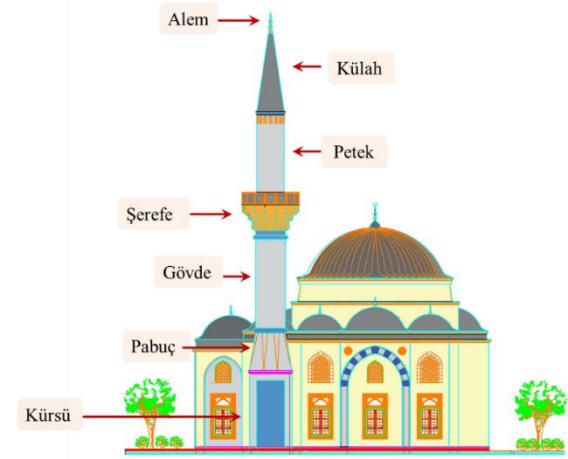


Şekil 30. Yığma yapılarda gözlenen düzlem içi hasar davranışı: (a) çekme çatlakları, (b) eğilme çatlakları, (c) diyagonal çekme çatlakları.

4.3. Minarelerde Gözlenen Hasarlar

Minareler genellikle camilere bitişik yapılan güç ve inancın simgeleridir. Her ne kadar yeni yapılan minarelerin büyük bir kısmında betonarme yapı elemanı tercih edilse de tarihi minareler taş yığma yapı tarzıdır. Anadolu'da ilk minareler Selçuklular zamanında yapılmıştır. Bu minarelerin birçoğunun taş temele sahip çift kule şeklinde yapıldığı ve tuğla kullanılarak inşa edildiği bilinmektedir. Konya'da yapılmış olan Alaeddin Camisi gibi tek minareye sahip camiler de bulunmaktadır. Cami yapılarında Osmanlı mimarisi uzun, tepesi noktasal olan minareleri ve kurşun kaplı çatı ile farklılık

yaratır. Birçok küçük Osmanlı camisinde, tek minare caminin yanına mesnetlenmiştir. Daha çok büyük şehirlerdeki camilerde ise iki, dört veya altı minare cami duvarı ile birleştirilmiştir. Şekil 31'de bir minare yapısının bölümleri şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 31. Osmanlı minaresi bölümleri.

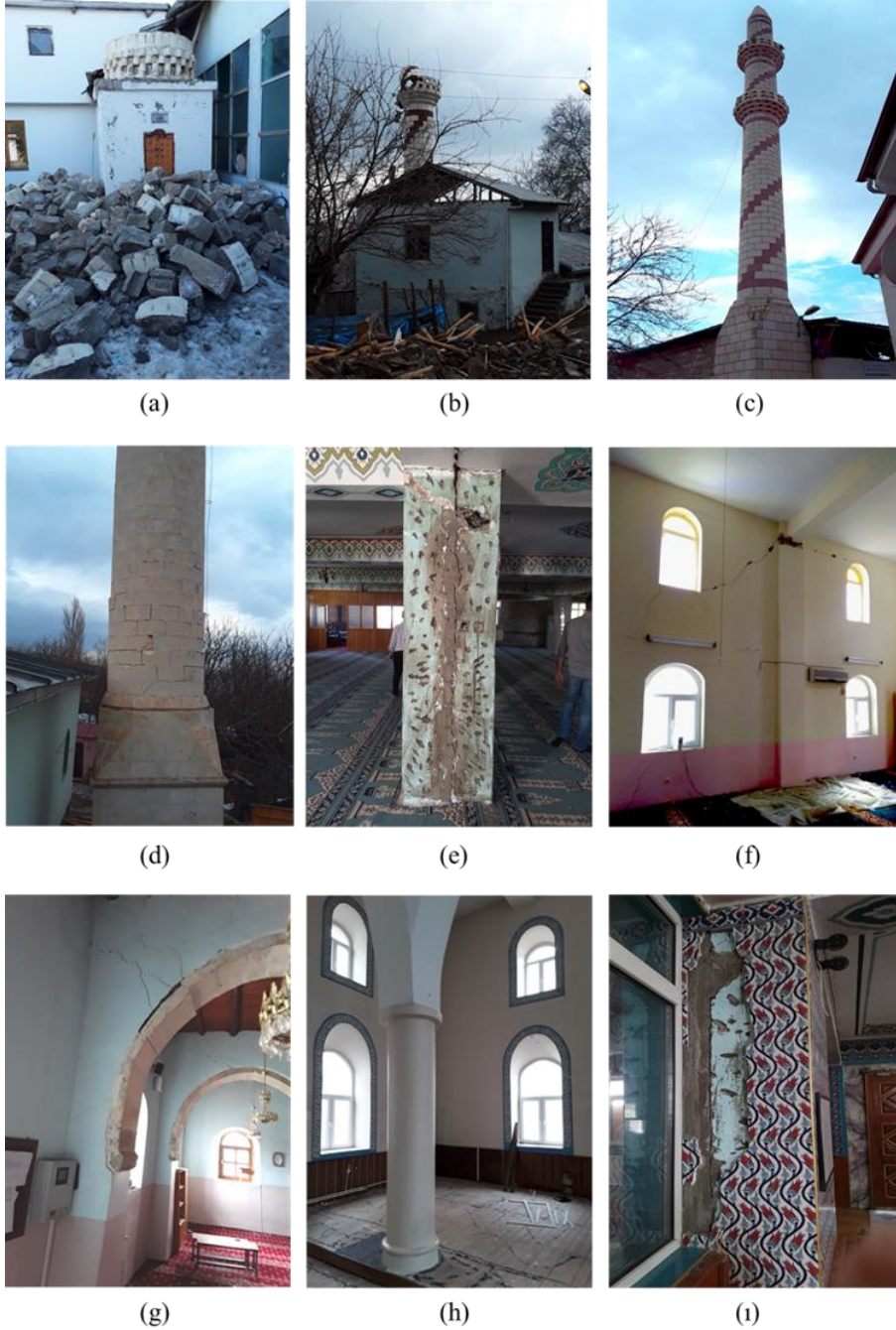
Her ne kadar, betonarme bir minarenin mimari stili yapıldığı döneme bağlı ise de minareler genel olarak kürsü (kaide), küp (pabuç), gövde, şerefe, petek, kûlah ve alem olarak isimlendirilen bölümlerden oluşmaktadır. Kürsü, temel ve pabuç arasındaki kısma verilen isim olup, kare veya poligon formlarında olabilmektedir. Genellikle caminin dış duvarı ve kürsü yan yana gelecek şekilde inşa edilir. Pabuç, konik şekle sahip olup poligon kesitli kürsü ve dar silindirik kesitli gövde kısımları arasında geçiş sağlamaktadır. Bu nedenle bu bölüm minarenin en önemli bölgesi olarak nitelendirilebilir. Gövde, pabuç ve şerefe arasında kalan kısma verilen isimdir. Betonarme minareler genellikle poligon veya dairesel kesitte yapılmakta olup alttaki kalınlık üst tarafta da korunmaktadır. Bu bölgeye spiral formunda merdivenler yerleştirilerek şerefeye ulaşılmaktadır. Petek, kûlah ve en yüksekteki şerefe arasında kalan kısım olup, betonarme minarelerde gövde ile aynı kalınlıkta inşa edilir. Kûlah, petek kısmının üzerindeki bölgedir. Günümüz teknolojisinde kûlahlar ahşap çerçevelerin kurşun ile kaplanması ile imal edilirler ve tek bir parça olarak minarenin tepesine yerleştirilirler. Alem, genellikle bakır ve kurşun karışımından yapılarak kûlah kısmının tepesine yerleştirilir. Alem, İslamın sembolü olup hilal geometrisine sahiptir.

Bilindiği üzere minareler sismik etkileşime karşı narin yapılar olup depremlerden sonra büyük hasarlar alabilmektedirler. Minarelerin hasar

görmesi sonucu kürsüye bitişik olan camiler de hasar görürler. Günümüzde betonarme ve yığma minarelerin yapım tekniklerine ait bir yönetmelik yoktur ve birçok cami, Osmanlı tekniklerinin tekrar uygulanması sonucu inşa edilirler. Her ne kadar minareler insanları namaza çağırmak için kullanılınsalar da İslami geleneklerden dolayı hala inşa edilmektedirler.

2020 Elazığ depreminden sonra cami türü yapılarda oluşan hasarları belirlemek için yürütülen

çalışmalar neticesinde 676 cami incelemiştir. Bunların %46.45'i hasarsız olarak nitelendirilmiştir. Geriye kalan kısmın %35.95, %3.99 ve %13.02'si sırasıyla, hafif, orta ve ağır hasarlı olarak raporlanmıştır. Kalan %0.59'lık kısım ise depremden hemen sonra göçen minare oranını göstermektedir. Depremden sonra betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip minare ve camilerde gözlenen hasarlar Şekil 32'de gösterilmiştir.



Şekil 32. Cami ve minarelerde gözlenen hasarlar: (a), (b), (c), (d) minare hasarı, (e) kolon hasarı, (f), (g), (h), (i) yapısal olmayan eleman hasarları.

5. Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı 24 Ocak 2020 Elazığ depreminden sonra bölgede hasar gören betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip bina türü yapılarda ve cami minarelerinde yazar tarafından yerinde yapılan incelemeler sonucunda gözlenen hasarların nedenlerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda, öncelikle depremden etkilenen bölge hakkında genel bilgiler verilmiş, gözlenen hasarların dağılımı incelenmiş ve söz konusu bölgede yürütülen yeniden yapılandırma çalışmaları tartışılmıştır. Daha sonra, bölgenin genel jeolojik yapısı ve bölgede olmuş tarihi depremler incelenmiştir. Depreme ait bilgiler özetlendikten sonra, betonarme ve yığma taşıyıcı sisteme sahip binalar ve cami minarelerinde gözlenen hasarlar detaylı olarak paylaşılmıştır.

Yerinde yapılan saha çalışmaları ülkemizdeki yapı stokunun kalitesini bir kez daha göz önüne sermiştir. Özellikle doğu bölgelerinde ve kırsalda denetlemenin de çok fazla olmadığı dönemlerde yapılan düşük kaliteli betonarme ya da yığma yapıların hasar gördükleri tespit edilmiştir.

Yerinde yürütülen bu çalışmalardan aşağıdaki sonuçlara varmak mümkündür:

- Ulusal yapı denetim yasasının bölgede 2011 yılı itibari ile uygulanmaya başlaması ve bölgedeki yapıların çoğunun bu tarihten önce yapılmış olması nedeniyle bu yapıların güncel Türk deprem yönetmeliğinde hedeflenen performans düzeylerini yakalayamadığı belirlenmiştir.
- Elazığ depreminde kaydedilen en büyük ivme değeri, mevcut deprem yönetmeliğine göre inceleme konusu bölgede beklenen en büyük yer hareketi ivme değerinin altında kalmıştır. Bu açıdan bakıldığında, ekonomik ve insani kayıplar göreceli olarak yüksektir.
- Hem betonarme hem de yığma taşıyıcı sisteme sahip binalar incelendiğinde, yetersiz işçiliğin yanı sıra, yetersiz yapısal

detaylandırmanın bulunması, düşük kaliteli malzeme kullanımı ve yapıların herhangi bir mühendislik hizmeti almamış olmasının gözlenen hasarı arttırdığı düşünülmektedir. Deprem sonrası inceleme sırasında birçok farklı tasarım ve yapım kusurları tespit edilmiştir.

- Köy yerleşkelerinde bulunan yapıların büyük çoğunluğunun kerpiçten imal edilmiş olması ve bu tarz yapıların ağır toprak çatıya sahip olmasının, yapıların depremde düşük performans göstermelerine neden olduğu anlaşılmıştır.
- Günümüzde betonarme ve yığma minarelerin yapım tekniklerine ait bir yönetmelik bulunmamasının, yanlış imalat uygulamalarına yol açtığı düşünülmektedir.

Depremden etkilenen bölgelerde yapılacak değerlendirmelerde yapı stokunun deprem sonrasında hızlıca incelenerek gerekli ve uygun iyileştirme tekniklerinin uygulanması da önemli bir parametredir. 2020 Elazığ depreminden sonra hasar gören yapılar üzerinde yapılan bu ve benzeri incelemelerin gelecekte olması muhtemel depremlere kadar yapıların sismik performanslarının iyileştirilmesine vesile olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazar, bu çalışmada desteklerinden dolayı İTÜ Rektörlüğü'ne ve saha çalışmalarına katılan bütün akademisyenlere teşekkürlerini sunar. Yazar ayrıca misafirperverliğinden dolayı AFAD Elazığ İl Müdürü Sayın Osman Pıhtılı'ya teşekkürlerini sunar.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Referanslar

- [1] "TÜİK - Coğrafi İstatistik Portalı," *Gov.tr*. [Online]. Available: <https://cip.tuik.gov.tr/>. [Accessed: 15-June-2021].
- [2] Elazığ Ekonomik Raporu, *Elazığ Ticaret ve Sanayi Odası*, Elazığ TSO, 2019, Elazığ, Türkiye.
- [3] 24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw 6.8 Deprem Raporu, *T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı*, AFAD 2020. Ankara, Türkiye. [Online]. <https://deprem.afad.gov.tr/depremdokumanlari/1831> [Erişim tarihi: 26-Mar-2021].
- [4] Earthquake Doğanyol, Turkey 24 January 2020 (Report 1), *Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology*, CEDIM 2020, [Online]. <http://www.cedim.de/> [Accessed: 05-May-2021].

- [5] T.C. Elazığ Valiliği 2020. [Online]. <http://www.elazig.gov.tr/> [Erişim tarihi: 04.04.2020].
- [6] T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, TOKİ, 2021. [Online]. <https://www.toki.gov.tr/illere-gore-projeler> [Accessed: 26-Jul-2021].
- [7] Elazığ Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, Elazığ AFAD, 2021. [Online]. <https://elazig.afad.gov.tr/duyurular> [Accessed: 30-Aug-2021].
- [8] M.R. Hempton and J.F. Dewey, "Structure and tectonics of the lake hazar pull-apart basin, SE Turkey," *Transactions*, American Geophysical Union, EOS, vol: 62, pp: 1033, 1981.
- [9] F. Şaroğlu F, O. Emre, and I. Kuscü, "The east anatolian fault zone of Turkey," *Annalae Tectonicae*, vol: 6, pp: 99-125, 1992.
- [10] A. Barka and K. Kadinsky-Cade, "Strike-slip fault geometry in turkey and its influence on earthquake activity," *Tectonics*, vol: 7 (3), pp: 663-684, 1988.
- [11] T. Duman and Ö. Emre, "The east anatolian fault: geometry, segmentation, and jog characteristics, geological development of anatolia and the easternmost mediterranean region," *Geological Society*, London, Special Publications, vol: 372, pp: 495-529, 2013.
- [12] Türkiye İvme Veri Tabanı Analiz Sistemi, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı. 2021, [Online]. <https://tadas.afad.gov.tr/list-event> [Accessed: 30-Mar-2021].
- [13] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, TBDY. Ankara, Türkiye. 2018.
- [14] Türkiye Hazır Beton Birliği Derneği, *Hazır Beton Dergisi*. THBB, vol: 157, pp: 15-17, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [15] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, DBYBHY, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, Türkiye, 2007.
- [16] G.G. Penelis and A.J. Kappos, *Earthquake Resistant Concrete Structures*, CRC Press, Taylor and Francis Group, 2019.
- [17] N. Bayülke, Depremlerde Hasar Gören Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi. *İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi*, İzmir, Türkiye, 1995.
- [18] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, ABYYHY 1968, T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1968.
- [19] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, ABYYHY 1975. T.C. İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1975.
- [20] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, ABYYHY 1998. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 1998.
- [21] Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, TS 500, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, 2000.
- [22] Building Code Requirements for Structural Concrete. ACI 318-11 and Commentary, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, MI: ACI, 2011.
- [23] R. Park and T. Paulay, *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley and Sons, Inc. United States of America, 1975.
- [24] E. Sayın, B. Yön, O. Onat, M. Gör, M.E. Öncü, E.T. Tunç, D. Bakır, M. Karaton, and Y. Calayır, "24 January 2020 Sivrice-Elazığ, Turkey earthquake: geotechnical evaluation and performance of structures", *Bulletin of Earthquake Engineering*, vol: 19, pp: 657-684, 2021.
- [25] L.T. Guevara and L.E. Garcia, "The captive and short column effects," *Earthquake Spectra*, vol: 21 (1), pp: 141-160. 2005.
- [26] C.L. Segura and J.W. Wallace, "Seismic performance limitations and detailing of slender reinforced concrete walls," *ACI Structural Journal*, vol: 115 (3), pp: 849-859, 2018.
- [27] R. Oyguc and E. Oyguc, "2011 Van earthquakes: lessons from damaged masonry structures," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol: 31 (5), 04017062, 2017.
- [28] C. Calderini, S. Cattari, and S. Lagomarsino. "In-plane strength of unreinforced masonry piers," *Earthquake engineering and structural dynamics*, vol: 38, pp: 243-267, 2009.

Stachys Macrantha (K.Koch) Stearn'ın Biyolojik Aktivitesinin Belirlenmesi

Kadriye ÖZCAN^{1*}, Tuba ACET²

¹Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Giresun Üniversitesi, Giresun, 28200, Türkiye

²Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, 29100, Gümüşhane, Türkiye
(ORCID: [0000-0002-4913-6035](https://orcid.org/0000-0002-4913-6035)) (ORCID: [0000-0002-0981-9413](https://orcid.org/0000-0002-0981-9413))



Anahtar Kelimeler:
Antioksidan, Biyolojik aktivite, Fenolik içerik, *Stachys macrantha*.

Öz

Stachys, Lamiaceae familyasının en geniş yayılış gösteren cinslerinden birisidir. Bu cinse ait türler biyolojik aktiviteleri ve etnomedikal kullanımları ile bilinmektedir. Bu çalışmada, *Stachys macrantha*'nın toprak üstü kısımlarının farklı çözücülerle (etanol, metanol ve etil asetat) elde edilen ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid içeriği ile antioksidan (ABTS, DPPH) ve enzim inhibisyon (α -amilaz, α -glukozidaz, bütirilkolinesteraz ve asetilkolinesteraz) aktiviteleri spektrofotometrik yöntemlerle araştırılmıştır. Ayrıca, fenolik bileşen analizi HPLC ile analiz edilmiştir. Bulgulara göre, metanol ekstraktının diğer ekstraktlara kıyasla biyolojik aktivitelerinin dikkat çekici olduğu bulunmuştur. Ekstraktın, toplam fenolik (45.57 mg GAE/g ekstrakt) ve flavonoid (54.48 mg QE/g ekstrakt) içeriği, antioksidan özellikleri [ABTS (49.99 mg TE/g ekstrakt), DPPH (23.62 mg TE/g ekstrakt)] ile enzim inhibisyon aktiviteleri [α -amilaz (159.35 mmol ACE/g ekstrakt), α -glukozidaz (8.78 mmol ACE/g ekstrakt), bütirilkolinesteraz (5.85 mmol ACE/g ekstrakt) ve asetilkolinesteraz (1.25mmol ACE/g ekstrakt)] belirlenmiştir. Metanol ekstraktının majör fenolik bileşenlerinin kaemferol (539.65 μ g/g ekstrakt) ve kuersetin (271.65 μ g/g ekstrakt) olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bitkinin tespit edilen aktiviteleri sayesinde ilaç, gıda ve kozmetik endüstrilerinde kullanılma potansiyeli olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, söz konusu verilerin daha ileri çalışmalarla desteklenmesi ve aktif bileşenlerin saflaştırılarak etkilerinin in vivo ortamlarda belirlenmesi gerekmektedir.

Determining of Biological Activity of *Stachys macrantha* (K.Koch) Stearn

Keywords: Antioxidant, Biological activity, Phenolic content, *Stachys macrantha*.

Abstract

Stachys is one of the most widely distributed genera of the Lamiaceae family. Species of this genus are known for their biological activities and ethnomedical uses. In this study, the total phenolic and flavonoid content, antioxidant (ABTS, DPPH) and enzyme inhibition activities (α -amylase, α -glucosidase, butyrylcholinesterase and acetylcholinesterase) of the extracts of the aerial parts of *Stachys macrantha* obtained with different solvents (ethanol, methanol and ethyl acetate) were investigated by spectrophotometric methods. In addition, phenolic component analysis was analyzed by HPLC. According to the findings, the biological activities of the methanol extract were found to be remarkable compared to other extracts. Total phenolic (45.57 mg GAE/g extract) and flavonoid (54.48 mg QE/g extract) content, antioxidant properties [ABTS (49.99 mg TE/g extract),

*Sorumlu yazar: kadriye.ozcan@giresun.edu.tr

Geliş Tarihi: 29.09.2021, Kabul Tarihi: 25.11.2021

DPPH (23.62 mg TE/g extract)] and enzyme inhibition activities [α -amylase (159.35 mmol ACE/g extract), α -glucosidase (8.78 mmol ACE/g extract), butyrylcholinesterase (5.85 mmol ACE/g extract), and acetylcholinesterase (1.25 mmol ACE/g extract)] of the extract were determined. The major phenolic components of the methanol extract were determined to be kaempferol (539.65 μ g/g extract) and quercetin (271.65 μ g/g extract). According to the results obtained, it can be said that the plant has the potential to be used in the pharmaceutical, food and cosmetics industries thanks to the detected activities. However, these data need to be supported by further studies and the effects of the active ingredients should be purified and their effects should be determined *in vivo*.

1.Giriş

Stachys L. cinsi, yaklaşık olarak 300 türden oluşan, Lamiaceae familyasının en geniş cinslerinden biridir ve Akdeniz'in sıcak ılıman bölgeleri ile Güney Batı Asya'da yayılış göstermektedir. Türkiye'de yetişen 82 türün (107 taxa) 50'ye yakını endemiktir [1]. *Stachys* cinsi ülkemizde çeşitli rahatsızlıkların hafifletilmesi amacıyla geleneksel halk tıbbında yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Bununla birlikte literatürde *Stachys* cinsinin, sindirim bozuklukları (karın ağrıları, karın ağrısı), ateş, soğuk algınlığı, grip, menstrüel bozukluklar, gut, baş dönmesi, kramplar, dalak yaraları, enfeksiyon, skleroz, ülserler ve genital tümörlerin yanı sıra mukusu eritmek, öksürüğü gidermek ve astım, romatizmal, inflamatuvar ve nöropati hastalıklarının semptomlarını hafifletmek için kullanıldığı rapor edilmiştir [3-5]. Ayrıca, *Stachys* türlerinin flavonoidler, iridoidler, yağ asitleri ve fenolik asitler gibi biyolojik aktivitelerinden sorumlu olan sekonder metabolitlere sahip olduğu bildirilmiştir [6,7].

Literatürde *Stachys* türleri üzerine yapılmış pek çok çalışma olmasına rağmen [8-10] coğrafi ve iklim şartları bakımından farklılıklar gösteren, Türkiye'de özel ve zengin bir floraya sahip olan Gümüşhane ili yüksek kesimlerinden toplanan *Stachys* türleri hakkında her hangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bilindiği üzere, bitkiler zorlu koşullar altında hayatta kalabilmek için sekonder metabolitlerin miktarını veya kompozisyonlarını artırmaktadır [11]. Bu da onların farmasötik açıdan daha değerli hale gelmelerine neden olmaktadır. Yani, bitkilerin çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılabilmesi, günümüzde modern tıbbın önerdiği sentetik ilaçlara göre doğal ve güvenli bir alternatif yol olarak görülmektedir. Günümüzde yaşam biçimindeki değişimler, hem mikrobiyal salgınların artmasına, hem de strese bağlı olarak oluşan reaktif oksijen

türlerinin neden olduğu metabolizmal rahatsızlıkların (diyabet, alzemier gibi) artmasına neden olmuştur [12]. Dolayısıyla, hem antioksidan hem de enzim inhibisyon özellikler ihtiva eden doğal ajanların araştırılması ve insanlığın kullanımına sunulması giderek daha da önem kazanmıştır. Bu bağlamda dağ çayı olarak da bilinen *Stachys macrantha* bitkisinin önemli bir potansiyele sahip olabileceği düşünülmektedir.

Bütün bu bilgiler ışığında, mevcut çalışma ile 2000 m yükseklikten toplanan ve yerel halk tarafından sıklıkla tüketilen *Stachys macrantha*'nın toprak üstü kısımlarının farklı çözücülerle ekstraksiyonlarının yapılması ve elde edilen ekstraktların antioksidan (ABTS, DPPH) ve enzim inhibisyonu (α -amilaz, α -glukozidaz, bütirikolinesteraz ve asetilkolinesteraz) gibi biyolojik aktivitelerin ortaya çıkarılması; bununla birlikte fenolik içeriğinin HPLC ile aydınlatılarak söz konusu aktivitelerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2.1. Bitki Ekstraktlarının Hazırlanması

Bitki materyali Gümüşhane ilinin 2000 m yüksekliğindeki tepelerinden çiçeklenme döneminde temin edilmiştir. Gölgede oda sıcaklığında kurutulan bitki toprak üstü kısımları öğütücüden geçirilerek toz formuna getirilmiştir. Ekstraksiyon için etanol, metanol ve etil asetat çözücülerini kullanılmıştır. Bunun için, 10 g bitki tozu tartılarak 200 mL çözücü içerisine eklenmiş ve çalkalamalı su banyosunda (Nüve) 37°C sıcaklıkta 125 rpm'de 24 saat süresince çalkalanmıştır. Bu işlemin ardından bitki kısımları teknik filtre kağıdından geçirilmiş ve çözücü vakumlu rotary evaporatör (Heidolf) (37°C'yi aşmayan sıcaklıkta) vasıtasıyla uzaklaştırılmıştır. Ardından elde edilen ekstraktlar sonraki analizlerde kullanılmak üzere -20°C'ye kaldırılmıştır.

2.2. Toplam Fenolik Madde Tayini

Ekstraktların toplam fenolik içeriği 96 kuyucuklu mikropalakalarda kolorimetrik olarak belirlenmiştir [13]. Ölçümler mikropalaka okuyucu (Biorad) ile 750 nm dalga boyunda yapılmıştır. Sonuçlar gallik asit eşdeğeri (mg GAE/g ekstrakt) olarak hesaplanmıştır.

2.3. Toplam Flavanoid Madde Tayini

Ekstraktların, toplam flavonoid madde miktarı, mikropalakalarda spektrofotometrik olarak belirlenmiştir [14]. Ölçümler mikropalaka okuyucu (Biorad) ile 415 nm dalga boyunda yapılmıştır. Sonuçlar kuersetin eşdeğeri olarak (mg QE/g ekstrakt) hesaplanmıştır.

2.4. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) Analizler (Fenolik ve Flavanoid Bileşenlerinin Belirlenmesi)

Toplam fenolik madde içeriği en yüksek ekstrakt olan metanol ekstraktının fenolik ve flavanoid bileşen analizleri [15] gerçekleştirilmiştir. Fenolik bileşenler: kafeik asit, klorojenik asit, *p*-kumarik asit, 2,4-dihidroksibenzoik asit, ellajik asit, ferulik asit, gallik asit, gentistik asit, protokatekuik asit, salisilik asit, sinapinik asit ve vanilik asit gibi standartlar kullanılarak; flavanoid bileşenler ise: kateşin, epikateşin, izoramnetin, kaemferol, mirisetin, naringin, kuersetin, ramnetin ve rutin gibi standartlar kullanılarak tespit edilmiştir. Elde edilen miktarlar $\mu\text{g/g}$ ekstrakt olarak verilmiştir.

2.5. Antioksidan Aktivite Tayinleri

2.5.1. ABTS Metodu

Ekstraktların antioksidan özellikleri mikropalakalar kullanılarak kolorimetrik ölçüm ile tespit edilmiştir [16]. 750 nm dalga boyunda ölçümü yapılmış olan sonuçlar troluks eşdeğeri (mg TE/g ekstrakt) olarak verilmiştir.

2.5.2. DPPH Metodu

Ekstraktların radikal süpürme kapasitesi mikropalakalar kullanılarak kolorimetrik olarak 490 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir

[15]. Elde edilen sonuçlar troluks eşdeğeri (mg TE/g ekstrakt) olarak verilmiştir.

2.6. Enzim İnhibisyon Aktivitelerinin Belirlenmesi (α -amilaz, α -glukozidaz, bütirilkinesteraz ve asetilkolinesteraz)

Ekstraktların α -glukozidaz, α -amilaz, bütirilkinesteraz ve asetilkolinesteraz enzim inhibisyon aktiviteleri [15]'e göre belirlenmiştir. Absorbans değerleri sırasıyla 400 nm ve 630 nm'de okunmuş ve sonuçlar, her iki yöntem için akarboz eşdeğeri (mmol ACE/g ekstrakt) olarak belirtilmiştir.

2.7. İstatistiksel Analizler

Tüm deneyler 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar SPSS programında, One-way ANOVA ile hesaplanmıştır. Duncan'ın çoklu sıra testleri ile önemli farklılıklar belirlenmiştir ve farklı harfler değerler arasındaki farkın anlamlı ($p < 0.05$) olduğunu ifade etmek için kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1 Toplam Biyoaktif Bileşenler

Çalışmada *Stachys macrantha* toprak üstü kısmının farklı çözücüler (etanol, metanol ve etil asetat ile ekstraksiyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen ekstraktların öncelikle toplam fenolik ve toplam flavonoid içeriği spektrofotometrik yöntemlerle belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Yapılan analizde metanol ekstraktının diğer ekstraktlara nazaran toplam fenolik ve flavonoid içeriği yüksek bulunmuştur. *S. cretica* subsp. *vacillans* ve *S. iberica* metanol ekstraktlarının toplam fenolik içeriği sırasıyla 57.65 mg GAE/g ekstrakt ve 44.01 mg GAE/g ekstrakt, flavonoid içerikleri ise 40.24 mg QE/g ekstrakt ve 5.97 mg QE/g ekstrakt olarak bildirilmiştir [16,17]. Diğer taraftan, *Stachys cretica* subsp. *kutahyensis*'in biyolojik aktivitelerinin araştırıldığı çalışmada [23], metanol ekstraktlarının toplam fenolik içeriği 41.17 mg GAE/g ekstrakt ve flavonoid içeriği ise 40.24 mg QE/g ekstrakt olarak rapor edilmiştir. Tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, mevcut çalışmada elde edilen bulguların literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 1. *Stachys macrantha* ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid miktarı

	Total Fenolik (mg GAE/g ekstrakt)	Total Flavonoid (mg QE/g ekstrakt)
Etanol	44.92±2.5 ^a	27.81±1.4 ^c
Metanol	45.57±1.5 ^a	54.48±0.9 ^a
Etil asetat	37.21±1.6 ^b	44.49±1.2 ^b

± standart sapma, üç analizin ortalamasını göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler değerler arasındaki anlamlı istatistiksel farklılıklara işaret etmektedir ($p<0.05$).

3.2 Antioksidan Özellikler

Ekstraktların serbest radikal giderimi özellikleri ABTS ve DPPH radikali üzerinden kolorimetrik yöntemlerle belirlenmiş ve sonuçlar troloks eşdeğerliği olarak hesaplanmıştır (Tablo 2). Metanol ekstraktı serbest radikal giderimi bakımından hem ABTS hem de DPPH metodunda en yüksek aktiviteyi sergilemiştir. Sonuçlara göre antioksidan aktivite ile toplam fenolik ve flavonoid içerik uyumlu olarak metanol ekstraktında yüksek tespit edilmiştir.

Antioksidan özelliklerin araştırıldığı benzer çalışmalarda, *Stachys cretica* subsp. *mersinaea*'nın DPPH metoduna göre serbest radikal süpürücü aktivitesi 151.64 mg TE/g ekstrakt iken; ABTS aktivitesi 292.67 mg TE/g ekstrakt olarak bulunmuştur [3]. Diğer taraftan, *S. cretica* subsp. *vacillans*'ın ABTS aktivitesi 213.93 mg TE/g ekstrakt iken, DPPH aktivitesi 191.47 mg TE/g ekstrakt olarak rapor edilmiştir [16]. Bununla birlikte, *S. cretica* subsp. *kutahyensis* ABTS aktivitesi 175.75 mg TE/g ekstrakt iken, DPPH aktivitesi 166.34 mg TE/g ekstrakt olarak rapor edilmiştir [23]. Bu sonuçlarla kıyaslandığında, elde edilen bulguların literatüre göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların ekstraksiyon metodlarından veya deneylerin yapıldığı ortamlardan (ışıkta fazla etkilenen kolorimetrik yöntemlerden) kaynaklanması muhtemeldir.

Tablo 2. *Stachys macrantha* ekstraktlarının antioksidan kapasite özellikleri

	ABTS (mg TE/g ekstrakt)	DPPH (mg TE/g ekstrakt)
Etanol	42.78±0.6 ^b	23.26±0.2 ^b
Metanol	49.99±1.6 ^a	23.62±0.1 ^a
Etil asetat	22.12 ±0.3 ^c	18.45±0.2 ^c

± standart sapma, üç analizin ortalamasını göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler değerler arasındaki anlamlı istatistiksel farklılıklara işaret etmektedir ($p<0.05$).

3.3 Enzim İnhibisyon Aktivitesi

Ekstraktların diyabetle alakalı enzimler (α -amilaz ve α -glukosidaz enzimleri) üzerine inhibisyon aktivitesi incelenmiş ve sonuçlar akarboz eşdeğerliği olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Ayrıca, Alzheimer hastalığı ile bağlantılı kolinesterazların (asetilkolinesteraz ve bütirilkinesteraz enzimleri) ekstraktlar tarafından inhibisyonu araştırılmış ve sonuçlar galantamin eşdeğerliği olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Metanol ekstraktının araştırılan tüm enzimlere karşı inhibisyon aktivitesi diğer ekstraktlardan yüksek bulunmuştur. Ayrıca sonuçlar literatüre uyumluluk sergilemiştir. Pek çok yakın türlerle ilgili çalışmalarda da metanol ekstraktlarının enzim inhibisyon aktivitesi yüksek bulunmuştur. Enzim inhibisyonunun incelendiği çalışmalarda amilaz inhibisyonu *S. cretica* subsp. *vacillans* (433.99mg ACE/g ekstrakt) [16] *S. cretica* subsp. *kutahyensis* (418.64 mg ACE/g ekstrakt) [23] ve *S. cretica* subsp. *mersinaea* (315.48 mg ACE/g ekstrakt) [3], glikosidaz inhibisyonu; *S. cretica* subsp. *mersinaea* (734.47 mg ACE/g ekstrakt) [3] ve asetilkolinesteraz inhibisyonu; *S. cretica* subsp. *mersinaea* (2.03 mg GAE/g ekstrakt) [3] metanol ekstraktında rapor edilmiştir.

3.4 Fenolik Bileşen Analizi

Metanol ekstraktının tüm denemelerde diğer ekstraktlardan daha iyi sonuç vermesi sebebiyle HPLC ile fenolik bileşen analizi gerçekleştirilmiştir. Ekstrakt, 21 standart fenolik bileşik bakımından taranmış ve 12 fenolik bileşik tespit edilmiştir (Tablo 4-5). Bunlardan en fazla bulunanı kaempferol (539.65 µg/g) ve kuersetindir (271.65 µg/g). Kaempferol, glikozit formunda olan ve bitkilerde en çok karşılaşılan flavonoidlerden bir tanesidir [18]. Bu bileşiğin, tohumlar, yapraklar, meyveler, çiçekler ve hatta sebzeler gibi çeşitli bitki kısımlarında bulunduğu bilinmektedir ve literatürde kardiyoprotektif, nöroprotektif, antiinflamatuvar, antidiyabetik, antioksidan, antimikrobiyal, antitümör ve antikanser olmak üzere pek çok biyolojik aktiviteden sorumlu olduğu rapor edilmiştir [19,22,24]. Kuersetin, reaktif oksijen türlerini süpüren güçlü bir antioksidan bileşendir ve bu sayede oksidatif hasara bağlı oluşan pek rahatsızlığın tedavisinde kullanılmaktadır [20]. Bitkinin metanol ekstraktında bu iki bileşiğin diğer fenolik bileşiklerden fazlaca bulunması, tespit edilen aktivitelerin bu bileşiklerden kökenlendiğini düşündürmektedir. Bunun yanı sıra ekstraktta bulunan diğer minör bileşenler ve bunların birlikte oluşturduğu etkileşimler de mevcut aktiviteye katkı sağlamaktadır. *Stachys cretica* subsp. *mersinaea* metanol ekstraktının fenolik bileşen analizleri yapılmış ve en yüksek kuersetin (7740 µg/g ekstrakt) ile kaempferol (5280 µg/g ekstrakt) içerdiği tespit edilmiştir [3]. *S. imolea* metanol ekstraktının majör bileşenlerinin verbaskosid (3169 µg/g dp) ve klorojenik asit (1120 µg/g dp) [4] olduğu tespit edilirken, üç *Stachys* türünün (*S. byzantina*, *S. inflata*, *S. lavandulifolia*) su ekstraktlarının majör bileşeni ise klorojenik asit olarak rapor edilmiştir [21]. Yakın türlerin fenolik bileşen içeriklerindeki bu değişimlerin, bitkilerin yetiştirme koşulları ve ekstraksiyon yöntemlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Gümüşhane'den toplanan *Stachys macrantha*'nın farklı çözücülerle (etanol, metanol ve etil asetat) elde edilen ekstraktlarının toplam fenolik ve flavonoid miktarları ile antioksidan ve enzim inhibisyon (α -amilaz, α -glukozidaz, bütirikolinesteraz ve asetilkolinesteraz) aktiviteleri ve fenolik içeriği ilk defa

aydınlatılmıştır. Bulgulara göre, metanol ekstraktının diğer ekstraktlara göre daha yüksek aktivitelere sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Bununla birlikte, ekstraktın ana fenolik bileşenlerinin kaempferol ve kuersetin olduğu tespit edilmiştir. *S. macrantha*'nın genel olarak kayda değer bir antioksidan aktiviteye sahip olduğu ve enzim inhibisyon aktiviteleri sergilediği söylenebilir. Gözlenen aktivitelerin, bitkideki fenolik bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar *Stachys* cinsinin Türkiye'de dağ çayı olarak geleneksel kullanımları ile uyumlu olmakla birlikte bitkinin ortaya çıkarılan biyolojik aktiviteleri sayesinde ilaç, gıda ve kozmetik endüstrilerinde kullanılma potansiyeli olduğu da söylenebilir. Bununla birlikte, söz konusu verilerin daha ileri çalışmalarla desteklenmesi ve aktif bileşenlerin saflaştırılarak etkilerinin *in vivo* denemelerle belirlenmesi gerekmektedir. Bu tür çalışmalar aynı zamanda ülkemizin zengin florasının tanıtılmasına katkı sağlamaktadır. Bu da biyoçeşitliliğin korunmasında farkındalık oluşturması bakımından önemlidir.

Tablo 3. *Stachys macrantha* ekstraktlarının enzim inhibisyon aktiviteleri

Ekstraktlar	α -amilaz (mmol ACE/g ekstrakt)	α - glukozidaz (mmol ACE/g ekstrakt)	Bütiril Kolinesteraz (mg GALE/g ekstrakt)	Asetil kolinesteraz (mg GALE/g ekstrakt)
Etanol	142.62±2.1 ^c	6.50±0.14 ^c	3.56±0.03 ^b	0.5±0.01 ^b
Metanol	159.35±1.2 ^a	8.78±0.12 ^a	5.85±0.08 ^a	1.25±0.01 ^a
Etil asetat	146.76±1.0 ^b	6.79±0.05 ^b	2.45±0.01 ^c	te

± standart sapma, üç analizin ortalamasını göstermektedir. Sütunlardaki farklı harfler değerler arasındaki anlamlı istatistiksel farklılıklara işaret etmektedir ($p<0.05$). te: tespit edilemedi.

Tablo 4. *Stachys macrantha* metanol ekstraktının HPLC ile belirlenen flavonoid miktarları

No.	Flavonoidler	Miktar ($\mu\text{g/g}$ ekstrakt)
1	Kateşin	1.93 \pm 0.015
2	Epikateşin	te
3	Izoramnetin	te
4	Kaemferol	539.65 \pm 0.163
5	Mirisetin	te
6	Naringin	25.88 \pm 0.076
7	Kuersetin	271.65 \pm 1.594
8	Ramnetin	te
9	Rutin	17.85 \pm 0.145

\pm standart sapma, üç analizin ortalamasını göstermektedir. te: tespit edilemedi

Tablo 5. *Stachys macrantha* metanol ekstraktının HPLC ile belirlenen fenolik asit miktarları

No.	Fenolik asitler	Miktar ($\mu\text{g/g}$ ekstrakt)
1	Kafeik asit	te
2	Klorojenik asit	te
3	<i>p</i> -Koumarik asit	te
4	2,4-Dihidroksibenzoik asit	6.48 \pm 0.107
5	Ellajik asit	te
6	Ferulik asit	1.78 \pm 0.026
7	Gallik asit	49.0 \pm 0.045
8	Gentistik asit	28.63 \pm 0.097
9	Protokatekuik asit	57.90 \pm 0.152
10	Salisilik asit	6.40 \pm 0.026
11	Sinapinik asit	te
12	Vanilik asit	2.48 \pm 0.010

\pm standart sapma, üç analizin ortalamasını göstermektedir. te: tespit edilemedi

Teşekkür

Bu çalışma Gümüşhane Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Destekleme Birimi'nin "16.F5119.02.01 kodlu GÜBAP Projesi" tarafından desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Yazarlar çalışmanın yürütülmesinde ve yazım aşamasında ortak katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] E. Akçiçek, “A new subspecies of *Stachys cretica* (section Eriostomum, Lamiaceae) from Turkey,” *Turk J Botany*, vol. 34, pp. 131-136, 2010.
- [2] P.G. Rasgele and G. Dulger, “Chemical Compositions and Antimutagenic Effects of Ethanolic Extracts of *Stachys thirkei* and *Stachys annua* subsp. *Annua* Using the Ames Assay,” *Pharm. Chem. J.*, vol. 54, pp.1255-1262, 2021.
- [3] M.B. Bahadori, B. Kirkan, and C. Sarikurkcü, “Phenolic ingredients and therapeutic potential of *Stachys cretica* subsp. *smyrnaea*. for the management of oxidative stress, Alzheimer’s disease, hyperglycemia and melasma,” *Ind Crops Prod.*, vol.127, pp. 82-87, 2019.
- [4] W. Elfalleh, B.Kirkan, and C. Sarikurkcü Antioxidant potential and phenolic composition of extracts from *Stachys tmolea*: An endemic plant from Turkey,” *Ind Crops Prod.*, vol.127, pp. 212-216, 2019.
- [5] I. Bouasla *et al.*, “ Evaluation of solvent influence on phytochemical content and antioxidant activities of two Algerian endemic taxa: *Stachys marrubiifolia* Viv. and *Lamium flexuosum* Ten. (Lamiaceae),” *Eur. J. Integr. Med.*, vol. 42, pp. 1-12, 2020.
- [6] I. Çalis, A.A. Başaran, I. Saracoğlu, and O. Stcher, “Iridoid and phenylpropanoid glycosides from *Stachys macrantha*,” *Phytochemistry*, vol. 31, pp.167-169, 1992.
- [7] R. Tundis, L. Peruzzi and F. Menichini, “Phytochemical and biological studies of *Stachys* species in relation to chemotaxonomy: A review,” *Phytochemistry*, vol. 102, pp. 7-39, 2014.
- [8] C. Sarikurkcü, M.S. Kocak, M.C. Uren, M., Calapoglu, and A.S. Tepe, “Potential sources for the management global health problems and oxidative stress: *Stachys byzantine* and *S. iberica* subsp. *iberica* var. *densipilosa*,” *Eur. J. Integr. Med.*, vol. 504, pp 1-7, 2015.
- [9] V.B. Vundac, A.H. Brantner, and M. Plazibat, “Content of polyphenolic constituents and antioxidant activity of some *Stachys* taxa,” *Food Chem.*, vol.104, pp. 1277-1281, 2007.
- [10] S. Hazrati, K. Lotfi, M. Govahi and M.T. Ebadi, “A comparative study: Influence of various drying methods on essential oil components and biological properties of *Stachys lavandulifolia*,” *Food Sci. Nutr.*, vol. 9, pp. 2612–2619, 2021.
- [11] R. Akula and G.A. Ravishankar, “Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants,” *Plant Signal. Behav.*, vol. 6, no. 11, pp. 1720-1731, 2011.
- [12] M.V. Sharifi-Rad *et al.*, “Lifestyle, Oxidative Stress, and Antioxidants: Back and Forth in the Pathophysiology of Chronic Diseases,” *Front. Physiol.*, vol. 11, pp. 694, 2020.
- [13] T. Acet, “Chemical profile, antioxidant, antimicrobial, and enzyme inhibition activities of *Pilosella hoppeana* subsp. *cilicica*,” *Plant Biosyst.*, 2021, DOI: 10.1080/11263504.2021.1894257
- [14] K., Özcan and T. Acet, “In vitro antioxidant and antimicrobial activities of the five different solvent extracts of *Centaurea pulcherrima* var. *freyinii* from Turkey,” *Fresenius Environ. Bull.*, vol.27, no.6, pp. 4047-4051, 2018.
- [15] T. Acet, K. Özcan, and G. Zengin, “An assessment of phenolic profiles, fatty acid compositions, and biological activities of two *Helichrysum* species: *H. plicatum* and *H. chionophilum*,” *J. Food Biochem.*, vol. 44, pp. e13128, 2020.
- [16] B. Kirkan, “Antioxidant potential, enzyme inhibition activity, and phenolic profile of extracts from *Stachys cretica* subsp. *vacillans*,” *Ind Crops Prod.*, vol. 140, pp. 111639, 2019.
- [17] B. Tepe, S. Degerli, S.Arslan, E. Malatyali, and C. Sarikurkcü, “Determination of chemical profile, antioxidant, DNA damage protection and antimicrobial activities of *Teucrium polium* and *Stachys iberica*,” *Fitoterapia*, vol. 82, no. 2, pp. 237-246, 2011.
- [18] M. Imran *et al.*, “Kaempferol: A Key Emphasis to Its Anticancer Potential,” *Molecules*, vol. 24, no.12, pp. 2277, 2019.
- [19] J.M. Calderon-Montano, E. Burgos-Moron, C. Perez-Guerrero, and M. Lopez-Lazaro, “A review on the dietary flavonoid kaempferol,” *Mini Rev Med Chem*, vol. 11, pp. 298-344, 2011.
- [20] D. Xu, M.J. Hu, Y.Q., Wang, and Y.L. Cui, “Antioxidant Activities of Quercetin and Its Complexes for Medicinal Application,” *Molecules*, vol. 24, no. 6, pp. 1123, 2019.

- [21] M.B., Bahadori, G. Zengin, L. Dinparast, and M. Eskandani, "The health benefits of three Hedgenettle herbal teas (*Stachys byzantina*, *Stachys inflata*, and *Stachys lavandulifolia*) - profiling phenolic and antioxidant activities," *Eur. J. Integr. Med.*, vol. 36, pp. 101134, 2020.
- [22] F. Olazarán-Santibañez *et al.*, "Antioxidant and Antiproliferative Activity of the Ethanolic Extract of *Equisetum myriochaetum* and Molecular Docking of Its Main Metabolites (Apigenin, Kaempferol, and Quercetin) on β -Tubulin," *Molecules*, vol. 26, pp. 443, 2021.
- [23] M.A. Benabderrahim, C. Sarikurkcü, W. Elfalleh, M.S. Ozer, and O. Ceylan, "Phenolic composition and biological activities of Turkish endemic plant: *Stachys cretica* subsp. *kutahyensis*," *S. Afr. J. Bot.*, vol. 138, pp. 124-128, 2021.
- [24] Y. Bian, "Kaempferol reduces obesity, prevents intestinal inflammation, and modulates gut microbiota in high-fat diet mice," *J. Nutr. Biochem.*, vol. 99, pp. 108840, 2022.

Mamografik Kitle Sınıfının Makine Öğrenmesi Teknikleri ile Tespiti

Ömer ERİŞ^{1*}, Seval BULUT ERİŞ¹, Mehmet Recep BOZKURT²



¹Bursa Uludağ Üniversitesi, İnegöl Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü, İnegöl, Bursa

²Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sakarya
(ORCID: [0000-0003-1687-5912](https://orcid.org/0000-0003-1687-5912)) (ORCID: [0000-0001-8681-1848](https://orcid.org/0000-0001-8681-1848)) (ORCID: [0000-0003-0673-4454](https://orcid.org/0000-0003-0673-4454))

Anahtar kelimeler: GINI algoritması, Karar ağaçları, Yapay sinir ağları, İleri beslemeli geri yayımlı ağ, Mamografi, Hata matrisi.

Öz

Meme kanseri, dünyada kadınlar arasında ölüme neden olabilen kanser tiplerinin en sık görülenlerinden biridir. Günümüzde meme kanseri teşhisinde farklı görüntüleme yöntemleri kullanılmakla birlikte bu yöntemler zaman zaman gereksiz biyopsiye yönlendirebilmektedir. Bu çalışmada, makine öğrenmesi tekniklerinden, karar ağaçları ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak mamografik kitlenin sınıfı, hastaya ve kitleye ait özelliklerin değerinden tespit edilmiştir. Karar ağaçlarında, GINI algoritması kullanılmış ve RapidMiner programından yararlanılmıştır. Yapay sinir ağlarında, ileri beslemeli geri yayımlı ağ modeli MATLAB’de yazılan program aracılığı ile kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veri seti, Erlangen-Nuremberg Üniversitesi, Radyoloji Enstitüsü, Jinekolojik Radyoloji bölümünden elde edilen 961 örnekten oluşmaktadır. Her örnek için 5 adet özellik mevcuttur. Bu özellikler, BI-RADS (meme görüntüleme raporlama ve veri sistemleri) değerlendirmesi, yaş, kitle şekli, kitlenin kenar boşluğu ve kitlenin yoğunluğu bilgilerini içermektedir. Yaklaşımımız, mamografide tespit edilen kitleleri iyi huylu ve kötü huylu olmak üzere iki farklı sınıfa ayırmaktadır. Her iki yöntemin performanslarının karşılaştırılması, doğruluk, duyarlılık, kesinlik, seçicilik, F-skor ve AUC (eğri altındaki alan) değerlerine bakılarak yapılmıştır.

Detection of Mammographic Mass Class with Machine Learning Techniques

Keywords: GINI algorithm, Decision trees, Artificial neural networks, Feed forward back propagation network, Mammography, Confusion matrix.

Abstract

Breast cancer is one the most common types of cancers among the women in the world. Today different scanning techniques have been used to diagnose breast cancers but these methods are sometimes directed to unnecessary biopsy. In this study, the class of the mammographic mass was determined from the values of the characteristics of the patient and the mass by using decision trees and artificial neural networks methods, which are machine learning techniques. GINI algorithm is used in decision trees and RapidMiner program was used. In artificial neural networks, feed forward back propagation network model is used through the program written in MATLAB. The data set used in this study is consisted of 961 samples obtained at Erlangen-Nuremberg University, Institute of Radiology, Department of Gynecological Radiology. There are 5 attributes in each sample. These attributes contain BI-RADS (breast imaging reporting and data systems) value, age, mass shape, mass margin and information about mass density. Our approach distinguished the masses contained at mammography into two different groups as benign and malign masses. Comparison of the performances of both methods was made by looking at the values of accuracy, sensitivity, precision, selectivity, F-score and AUC (area under the curve).

*Sorumlu yazar: omereris@uludag.edu.tr

Received: 04.10.2021, Accepted: 12.11.2021

1. Giriş

Meme kanseri, memenin süt üreten bezlerindeki anormal hücrelerin kontrolsüz büyümesi ile karakterizedir. Gelişmiş ülkelerin çoğunda kadınlar arasında en sık görülen tümör tipidir. Farklı meme tümörleri sistematik bir şekilde tedaviye yanıt verirler. Bu sebeple meme kanserinin doğru sınıflandırılması ve erken teşhisi önemlidir. Kanserinin erken teşhisi hayatta kalma oranını artırabilir, ancak erken evrede kanseri tespit etmek zordur [1].

Günümüzde meme kanseri taramasında standart inceleme yöntemi mamografidir. Bununla birlikte, mamogram yorumunun düşük pozitif öngörü değeri nedeniyle, iyi huylu sonuçlanan yaklaşık %70 oranında gereksiz biyopsiye yol açmaktadır. Gereksiz sayıda meme biyopsisini azaltmak için, son yıllarda birkaç bilgisayar destekli tanı (CAD) sistemi önerilmiştir. Bu sistemler, doktorlara, mamografide görülen şüpheli bir kitlede meme biyopsisi yapma veya bunun yerine kısa süreli takip muayenesi yapma kararlarında yardımcı olur [2].

Meme kanserlerinin tanısında, ultrasonografi (US), manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve nükleer tıp gibi alternatif görüntüleme yöntemlerinin kullanılabilirliği de bildirilmektedir [3].

Radyolojik yöntemlerin yorumlanmasında disiplinler arası standardizasyon sağlanabilmesi için BI-RADS sınıflandırması kullanılmaya başlanmıştır. Buna göre kanser olguları, iyi huylu (benign) veya kötü huylu (malign) kitleler olarak sınıflandırılmaktadır [4].

Fondón ve ark. (2018), histolojik görüntülerin işlenmesine dayanarak meme dokusu örneklerinin otomatik malignite değerlendirmesi için CAD sistemi önermişlerdir. Sistemin çıktısı olarak dört düzey sunmaktalar: normal, iyi huylu, noninvasive (yayılma eğilimi olmayan) ve invasive (yayılma eğilimi olan). Yöntem, çekirdeğe, renk bölgelerine ve dokulara ilişkin üç özellik kümesinin yerel özellikleri ve küresel görüntü özelliklerini dikkate alarak hesaplanmasına dayanır. Yerleşik görüntü işleme tekniklerinden yararlanarak, her görüntü için ikinci dereceden bir çekirdeğe sahip bir destek vektör makinesi (SVM) sınıflandırıcısına girdi görevi gören bir özellik vektörü oluşturulmuştur. Deneysel

sonuçlar, önerilen yöntemin, dört düzeyi yüksek doğrulukla ayırt edebildiğini göstermiştir [5].

Helwan ve ark. (2017), iki makine öğrenme tekniğini kullanarak meme dokusunun otomatik sınıflandırmasını sunmaktadırlar: Geri yayılma öğrenme algoritması (back propagation neural network - BPNN) ve radyal temelli fonksiyon ağı (radial basis function network - RBFN). Meme dokusu sınıflandırması için en iyi modeli tanımlamayı amaçlamışlardır. Veri toplamada elektriksel empedans spektroskopisi yöntemi kullanılırken, BPNN ve RBFN sınıflandırma görevinin yerine getirilmesinde kullanılan modellerdir. Yaklaşım özellik çıkarma, özellik seçimi ve sınıflandırma adımlarından oluşmaktadır. İki algoritmanın performans ölçümü, BPNN ve RBFN modellerinin doğruluklarına bakılarak yapılmıştır. RBFN, meme dokusunun sınıflandırılmasındaki doğruluk, minimum karesel hata (MSE) ve öğrenme süresi açısından BPNN'den daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır [6].

Vo ve ark. (2019), meme kanseri sınıflamasında en kullanışlı görsel özellikleri çıkarmak için evrişimli katmanları olan derin öğrenme modelini (deep convolutional neural network) kullanan bir yaklaşım önermişlerdir. Sistem hematoksilen ve eozin lekeli meme biyopsi görüntülerini iki ana gruba (karsinom ve karsinom olmayan) ve dört sınıfa (normal dokular, iyi huylu lezyonlar, in situ karsinomlar ve invaziv karsinomlar) ayırmak için kullanılır. Elde ettikleri sonuçlara göre, meme kanseri sınıflandırıcısının, derin öğrenme modeli ile gelişmiş teknolojilerden daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır [7].

Bu çalışmada, karar ağaçları ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak doğru tedaviyi mümkün olduğunca erken tanımlamak için, mamografik kitle verilerinden yararlanarak meme kitlelerini iyi huylu ve kötü huylu olarak yüksek doğruluk, duyarlılık ve seçicilik ile sınıflandırılması amaçlanmıştır. Çalışmada meme kitlelerinin sınıflandırıldığı birey sayısı 961'dir. Sınıflandırmak için kullanılan özellikler; BI-RADS, yaş, kitlenin biçimi, kitlenin kenarı ve kitlenin yoğunluğu olmak üzere 5 adettir. Kullanılan veri setinde BI-RADS için 2, yaş için 5, kitlenin biçimi için 31, kitlenin kenarı için 48 ve kitlenin yoğunluğu için 76 adet eksik veri bulunmaktadır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Verilerin Toplanması

Uygulamada kullanılacak olan mamografik kitle veri seti “uci machine learning repository” sitesinden alınmıştır. Veri kümesinin orijinal değerleri Erlangen-Nuremberg Üniversitesi, Radyoloji Enstitüsü, Jinekolojik Radyoloji bölümünden Prof. Dr. Rüdiger Schulz-

Wendtland tarafından elde edilmiştir. Veri setinde eksik veriler bulunmakla birlikte toplam 961 adet örnek bulunmaktadır. Her bir örneğe ait 5 adet nitelik verisiyle birlikte toplam 4805 verinin 162 adedi eksiktir. Nitelik değerleri, mamografik görüntülemeye elde edilmiştir. 961 örnekten, 516’sı benign kitle iken, 445’i malign kitledir. Veri setinde bulunan nitelikler ve değer aralıkları Tablo 1’de, bu niteliklerin sınıfı ve değer aralıkları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Mamografik kitle veri setindeki özellikler ve değer aralıkları

Özellikler	Sembol	Değerler	Açıklama
BI-RADS değerleri	Bi-rads	1-5	1-5 arasında tamsayı değerleri
Yaş	Age	18-96	Minimum 18, maksimum 96 arasında tamsayı değerleri
Kitlenin Biçimi	Shape	1-4	Yuvarlak (Round) = 1 Oval (oval) = 2 Lobüler (Lobular) = 3 Şekilsiz (irregular) = 4
Kitlenin Kenarı	Margin	1-5	Keskin Sınırlı (circumscribed) = 1 Mikrolobüler (microlobulated) = 2 Çevre doku tarafından gizlenmiş (obscured) = 3 Sınırları Belirsiz (ill-defined) = 4 Spiküle (spiculated) = 5
Kitlenin Yoğunluğu	Density	1-4	Yüksek Yoğunluklu (High) = 1 İzodens – Parankimle eş (iso) = 2 Düşük Yoğunluklu (low) = 3 Yağ Yoğunluklu (fat-containing) = 4

Tablo 2. Mamografik kitle veri setindeki özelliklerin sınıfı ve değer aralıkları

Özellikler	Sembol	Değerler	Açıklama
Sınıf	Severity	0-1	İyi Huylu kitle (Benign) = 0 Kötü Huylu kitle (Malign) = 1

2.2. Eksik Verilerin Tamamlanması

Eksik verilerin tamamlanmasında k-en yakın komşu (kNN) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma, daha önceden değeri bilinen k adet veriyi kullanarak değeri bilinmeyen veriyi tahmin eden bir algoritmadır. k adet veri, değeri tahmin edilecek veriye en yakın veri grubundan seçilir. Çeşitli makine öğrenme algoritmaları arasında kNN, uygulamasının basit ve hızlı olması, nispeten yüksek doğruluğa sahip olması, gürültülü verilere karşı da dayanıklı olup başarılı sonuçlar elde edebilmesi nedeniyle eksik verilerin tamamlanmasında tercih edilmiştir [8,9].

İki veri arasındaki yakınlık, öklid mesafe hesaplama ile eşitlik 1 kullanılarak belirlenmiştir.

Öklid mesafesi, 2 boyutlu çözüm kümesi örneğinde x düzlemindeki doğrusal uzaklık x_i 'ye ve y düzlemindeki doğrusal uzaklık y_i 'ye bağlı olarak bulunabilir [10].

$$\text{Öklid Mesafesi} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Komşuluk değeri k için farklı değerler kullanılarak, en iyi sonucu k=5 değerinin verdiği belirlenmiştir.

Veri setinin bir kesitine ait, Tablo 3'te orijinal ekran görüntüsü ve Tablo 4'te eksik verilerin tamamlandığı ekran görüntüsü verilmiştir.

Tablo 3. Orijinal veri setinden bir kesit

BI-RADS	Yaş	Kitlenin Biçimi	Kitlenin Kenarı	Kitlenin Yoğunluğu	Kitlenin Sınıfı
5	67	3	5	3	Kötü Huylu
4	43	1	1		Kötü Huylu
5	58	4	5	3	Kötü Huylu
4	28	1	1	3	İyi Huylu
5	74	1	5		Kötü Huylu
4	65	1		3	İyi Huylu
4	70			3	İyi Huylu
5	42	1		3	İyi Huylu
5	57	1	5	3	Kötü Huylu
5	60		5	1	Kötü Huylu
5	76	1	4	3	Kötü Huylu
3	42	2	1	3	Kötü Huylu
4	64	1		3	İyi Huylu
4	36	3	1	2	İyi Huylu

Tablo 4. Eksik verileri tamamlanmış veri setinden bir kesit

BI-RADS	Yaş	Kitlenin Biçimi	Kitlenin Kenarı	Kitlenin Yoğunluğu	Kitlenin Sınıfı
5	67	3	5	3	Kötü Huylu
4	43	1	1	2.63	Kötü Huylu
5	58	4	5	3	Kötü Huylu
4	28	1	1	3	İyi Huylu
5	74	1	5	3	Kötü Huylu
4	65	1	1	3	İyi Huylu
4	70	2.75	1.57	3	İyi Huylu
5	42	1	1	3	İyi Huylu
5	57	1	5	3	Kötü Huylu
5	60	3.8	5	1	Kötü Huylu
5	76	1	4	3	Kötü Huylu
3	42	2	1	3	Kötü Huylu
4	64	1	1	3	İyi Huylu
4	36	3	1	2	İyi Huylu

2.3. Min-Max Normalizasyonu

Veriler tamamlandıktan sonra farklı minimum-maksimum aralıklarında buldukları için “min-max normalizasyonu” yöntemi ile veriler eşitlik 2 kullanılarak, Tablo5’te görüldüğü gibi 0-1 arasına normalize edilmiştir.

$$xi' = \frac{(xi-min(x))}{(max(x)-min(x))} \quad (2)$$

xi' = 0-1 arasına normalize edilmiş veri
xi = Orijinal veri
min(x) = Orijinal verideki minimum değer
max(x) = Orijinal verideki maksimum değer

Tablo 5. Normalize edilmiş veri setinden bir kesit

BI-RADS	Yaş	Kitlenin Biçimi	Kitlenin Kenarı	Kitlenin Yoğunluğu	Kitlenin Sınıfı
0.09	0.63	0.67	1.00	0.67	1.00
0.07	0.32	0.00	0.00	0.54	1.00
0.09	0.51	1.00	1.00	0.67	1.00
0.07	0.13	0.00	0.00	0.67	0.00
0.09	0.72	0.00	1.00	0.67	1.00
0.07	0.60	0.00	0.00	0.67	0.00
0.07	0.67	0.58	0.14	0.67	0.00
0.09	0.31	0.00	0.00	0.67	0.00
0.09	0.50	0.00	1.00	0.67	1.00
0.09	0.54	0.93	1.00	0.00	1.00
0.09	0.74	0.00	0.75	0.67	1.00
0.05	0.31	0.33	0.00	0.67	1.00
0.07	0.59	0.00	0.00	0.67	0.00
0.07	0.23	0.67	0.00	0.33	0.00

2.4. GINI Algoritması

GINI algoritması karar ağacı oluşturulmasında kullanılan bir algoritmadır. Sınıflandırma ve regresyon ağacı (CART) olarak tanımlanır [11].

CART, kendi kendini yenileyen ikili olarak dallara ayrılan yapıdadır. Dallara ayrılma ölçütü olarak GINI indeksinden yararlanan CART, durmadan daima bölünerek büyümekte ve ağacı oluşturmaktadır [12,13]. Bölünemediği durumda uçtan köke doğru budama işlemi gerçekleştirir. Muhtemel en başarılı karar ağacı her budama işleminden sonra bağımsız seçilmiş test verisi ile değerlendirilerek tespit edilmeye çalışılır [12,14].

Bir niteliğin $GINI_{sol}$ ve $GINI_{sağ}$ değerleri ve bu değerler kullanılarak hesaplanan GINI değeri sırasıyla eşitlik 3, 4 ve 5'te gösterildiği gibi yapılmaktadır.

$$GINI_{sol} = 1 - \sum_{i=1}^k \left[\frac{L_i}{|T_{sol}|} \right]^2 \quad (3)$$

$$GINI_{sağ} = 1 - \sum_{i=1}^k \left[\frac{R_i}{|T_{sağ}|} \right]^2 \quad (4)$$

$$GINI_j = \frac{1}{n} (|T_{sol}|GINI_{sol} + |T_{sağ}|GINI_{sağ}) \quad (5)$$

k = Sınıfların sayısı

T = Bir düğümdeki örnek sayısı

T_{sol} = Sol koldaki örneklerin sayısı

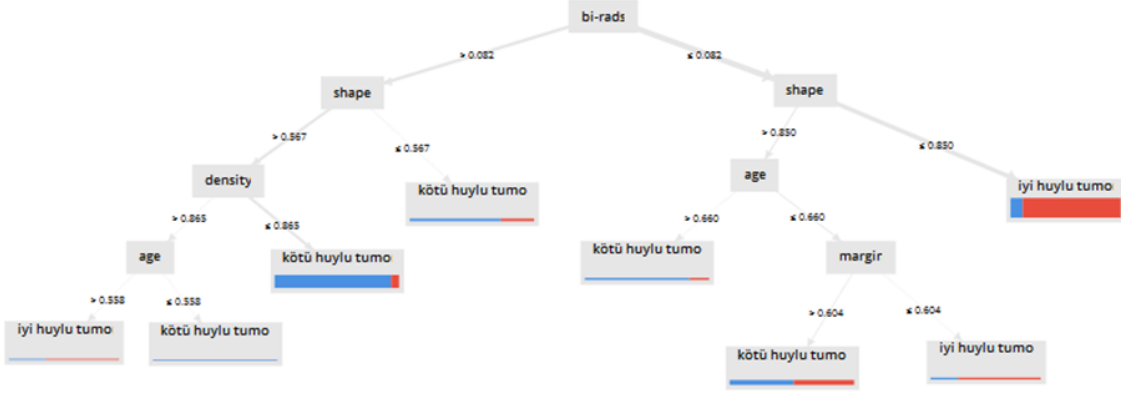
$T_{sağ}$ = Sağ koldaki örneklerin sayısı

L_i = Sol kolda i kategorisindeki örneklerin sayısı

R_i = Sağ kolda i kategorisindeki örneklerin sayısı

Her bir nitelik için hesaplanan GINI değerleri arasından en küçük olanı seçilir ve bölünme bu nitelik üzerinden gerçekleşir. Kalan veri seti üzerinde yukarıda bahsedilen adımlar tekrar uygulanır ve diğer bölünme hesaplanır [11].

Bu çalışmada, hazırlanan veri setinde önce son sütun karar niteliği olarak etiketlenmiştir. Ardından veri setinin %70'i eğitim ve %30'u test için ayrılmıştır. Eğitim için ayrılan %70'lik veri karar ağaçlarından GINI algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Karar ağaçlarının maksimum derinliği denemeler sonucunda 5 olarak belirlenmiştir. Karar ağacı yapısı Şekil 1'de ve bu yapının açıklamasına ait ekran görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Karar ağacı yapısı

```

bi-rads > 0.082
| shape > 0.567
| | density > 0.865
| | | age > 0.558: iyi huylu tumor {kötü huylu tumor=1, iyi huylu tumor=2}
| | | age <= 0.558: kötü huylu tumor {kötü huylu tumor=2, iyi huylu tumor=0}
| | | density <= 0.865: kötü huylu tumor {kötü huylu tumor=196, iyi huylu tumor=13}
| | shape <= 0.567: kötü huylu tumor {kötü huylu tumor=22, iyi huylu tumor=8}
bi-rads <= 0.082
| shape > 0.850
| | age > 0.660: kötü huylu tumor {kötü huylu tumor=16, iyi huylu tumor=3}
| | age <= 0.660
| | | margin > 0.604: kötü huylu tumor {kötü huylu tumor=35, iyi huylu tumor=33}
| | | margin <= 0.604: iyi huylu tumor {kötü huylu tumor=4, iyi huylu tumor=12}
| | shape <= 0.850: iyi huylu tumor {kötü huylu tumor=36, iyi huylu tumor=290}
    
```

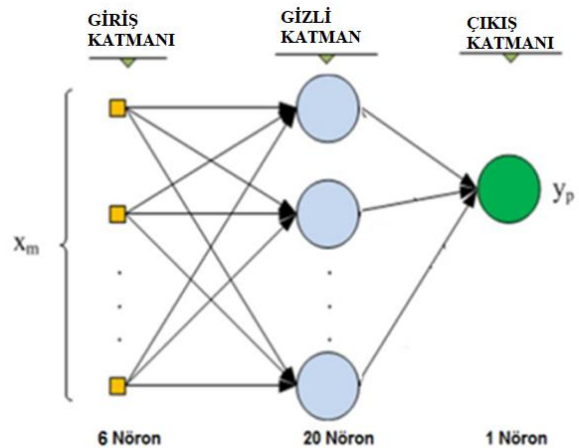
Şekil 2. Karar ağacı yapısının açıklaması

2.5. İleri Beslemeli Geri Yayılımlı Yapay Sinir Ağları

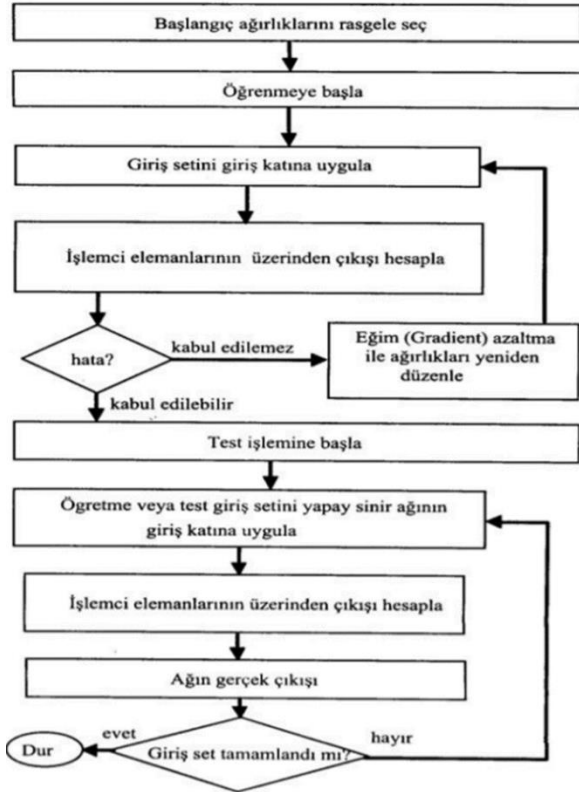
Yapay sinir ağları modelinde; giriş, gizli ve çıkış olmak üzere üç farklı katman bulunmaktadır. Her katman bir ya da birden çok nörondan oluşmakta ve katmanlar birbirlerine aralarında ağırlık kümeleri ile bağlanmaktadır. Bağlanma şekli ve her kısımdaki nöron sayısı değişebilmektedir.

Yapay sinir ağı, Şekil 3'te görüldüğü gibi giriş katmanı 6 nöron, gizli katman 20 nöron ve çıktı katmanı 1 nöron olarak oluşmaktadır. Aynı katmandaki nöronlar arasında iletişim yoktur. Nöronlar girdiyi ya başlangıç girdilerinden ya da ara bağlantılardan almaktadır.

Bu çalışmada, Şekil 4'te akış şeması görülen ileri beslemeli geri yayılımlı yapay sinir ağı modeli, MATLAB ortamında yazılan program ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. Yapay sinir ağı yapısı



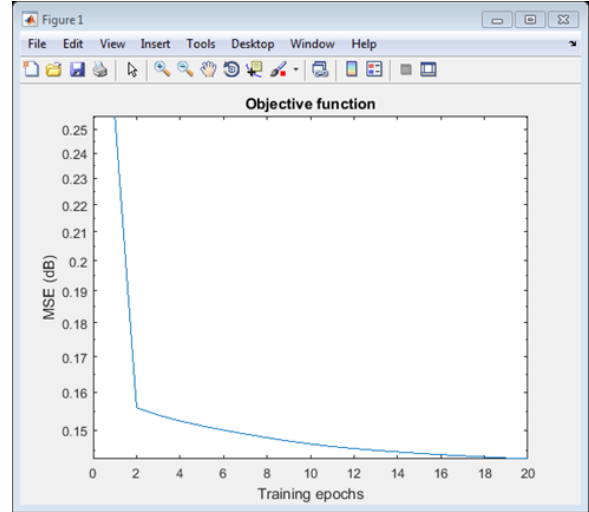
Şekil 4. İleri beslemeli geri yayımlı öğrenme algoritmasının kullanılması [15]

Bu algoritma iki aşamadan oluşmaktadır:

1. Çıkış katmanındaki çıktı, bilgi sinyali hesaplamak için giriş nöronlarındaki dış girdi bilgisini ileriye doğru ileten bir ileriye doğru besleme aşaması
2. Çıkış katmanındaki hesaplanan ve gözlenen bilgi sinyalleri arasındaki farklara dayanarak bağlantı kuvvetleri üzerinde değişikliklerin yapıldığı bir geriye doğru ilerleme aşaması [13].

Ağı eğitme sürecinin başında, ağırlık katsayıları rastgele değerler olarak atanmaktadır. Öğrenme algoritması her eğitim turunda ağırlık katsayılarını, hata minimum olacak şekilde değiştirmektedir. Yapılan çalışmaya ait ağırlık katsayılarına bağlı MSE grafiği Şekil 5'de gösterilmiştir.

Yeni bir girdi grubu sunulduğunda, ileriye doğru besleme ile yapay sinir ağlarının bağlantı kuvvetlerindeki öğrenilmiş ve saklanan bilgi sayesinde bir çıktı grubu elde edilmektedir [16].



Şekil 5. Hata-eğitim turu sayısı grafiği

2.6. Başarı Ölçütleri

Bu çalışmada; hata matrisinden elde edilen doğruluk, duyarlılık, kesinlik, seçicilik, F-skor değerleri ve ROC (Alıcı işlem karakteristikleri, Receiver Operating Characteristic) eğrisinden elde edilen AUC değeri başarı ölçütleri olarak kullanılmıştır.

Hata matrisi, çıktının 2 ya da daha fazla sınıf olduğu makine öğrenmesi sınıflandırmalarında bir performans ölçümüdür. 2 çıktının olduğu sınıflandırmalar, Şekil 6'da görüldüğü gibi tahmini ve gerçek değerlerden oluşan 4 farklı durumdan oluşur.

		Gerçek Değerler	
		Pozitif (1)	Negatif (0)
Tahmin Edilen Değerler	Pozitif (1)	TP	FP
	Negatif (0)	FN	TN

Şekil 6. Hata matrisi

TP (True Positive) = Gerçekte iyi huylu tümörü, iyi huylu tahmin etme

TN (True Negative) = Gerçekte kötü huylu tümörü, kötü huylu tahmin etme

FP (False Positive) = Gerçekte kötü huylu tümörü, iyi huylu tahmin etme

FN (False Negative) = Gerçekte iyi huylu tümörü, kötü huylu tahmin etme

Hata matrisindeki değerler kullanılarak çeşitli başarı ölçütleri geliştirilmiştir. Bunlardan en yaygın kullanılanı doğruluktur. Doğruluk sınıflandırıcı tarafından yapılan doğru

tahminlerin bir ölçüsüdür ve kaç örneğin doğru ya da yanlış sınıflandırıldığı hakkında bilgi verir. Doğruluk, eşitlik 6 kullanılarak hesaplanır [17].

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (6)$$

Duyarlılık, gerçekte pozitif olan değerlerin ne kadarının pozitif olarak tahmin edildiğini gösteren bir ölçüttür ve eşitlik 7 kullanılarak hesaplanır [17].

$$\text{Duyarlılık} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (7)$$

Kesinlik, pozitif olarak tahmin edilen değerlerden kaç tanesinin gerçekte pozitif olduğunu gösterir ve eşitlik 8 kullanılarak hesaplanır [17].

$$\text{Kesinlik} = \frac{TP}{TP + FP} \quad (8)$$

Seçicilik, gerçekte negatif olan değerlerin ne kadarının negatif tahmin edildiğinin bir göstergesidir ve eşitlik 9 kullanılarak hesaplanır [17].

$$\text{Seçicilik} = \frac{TN}{TN + FP} \quad (9)$$

F-skoru, duyarlılık ve kesinlik değerlerinin harmonik ortalamasını gösterir. Özellikle eşit dağılmayan veri kümelerinde doğruluk ile kıyaslandığında daha başarılı bir ölçüttür. Eşitlik 10 kullanılarak hesaplanır [17].

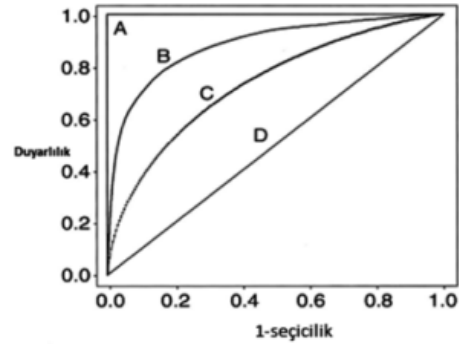
F-skor değeri 0-1 arasında değişir. 0 en kötü değeri gösterirken, 1 en iyi değeri göstermektedir [18].

$$F - \text{skor} = \frac{2 * \text{Duyarlılık} * \text{Kesinlik}}{\text{Duyarlılık} + \text{Kesinlik}} \quad (10)$$

ROC eğrileri, sonuç değişkenlerinin, iyi huylu kitle-kötü huylu kitle gibi özellikle iki olasılıklı olduğu, sonuç değişkenlerini belirleyen nitelik değişkenlerinin ise kitlenin biçimi, kitlenin kenarı, kitlenin yoğunluğu, yaş, BI-RADS değeri gibi çok olduğu durumlarda kullanılır. ROC eğrileri ile sürekli değişkenler için TP, TN, FP, FN noktaları hakkında kestirimler yapılabilir. Bir testin en iyi kesim noktasının saptanmasına ve farklı tanı testlerinin doğru tanı koymadaki başarısının karşılaştırılmasına olanak sağlar. ROC eğrilerinde; x ekseninde yanlış pozitif oranı ve y ekseninde doğru pozitif oranı yer alır. Farklı eşik değerlerinde doğru pozitif oranı ve yanlış pozitif oranı sırasıyla duyarlılık ve 1-seçicilik

değerleri ile hesaplanır. ROC eğrisi, (0,0) ile (1,1) arasında artan bir fonksiyondur. ROC analizi yapılarak bir testin doğru tanı koymada başarı olup olmadığına karar verilebilir. Testlerin doğru karar vermede başarısının değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer ölçütte ROC eğrisi altında kalan alanı gösteren AUC değeridir. Eğri altında kalan alan en büyük 1 değerini alabilir. Pratik olarak alabileceği en küçük değer ise 0.5'tir [19].

ROC eğrilerinde daha kuzey batıdaki nokta daha iyidir. İyi bir ROC eğrisinde, duyarlılık yüksek, 1-seçicilik değeri ise düşük olmalıdır. Koordinat olarak (0,1) noktası en iyi sınıflandırmayı gösterir. Şekil 7'de farklı testlerin karar vermedeki başarıları ROC eğrisinde gösterilmiştir. Buna göre; A testi (0,1) noktası ile mükemmel bir testtir çünkü ROC eğrisi altında kalan alan 1'dir. Buna karşılık D testi en başarısız testtir. Çünkü ROC eğrisi altında kalan alanı 0.5'tir [19].



Şekil 7. ROC Eğrisi

3. Bulgular ve Tartışma

Eğitim verileri kullanılarak çıkarılan karar ağaçları kuralları, veri setinden ayrılan %30'luk test verilerini tahmin etmek için kullanılmıştır. İleri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı yapısında da MATLAB ortamında yazılan kodlar ile aynı oranlar kullanılarak testin performansı ölçülmüştür.

Karar ağaçları ve yapay sinir ağları yöntemlerinin hata matrisleri ve başarı ölçütleri sırasıyla Tablo 6 ve Tablo 7'de gösterilmiştir. Tablo 6 ve Tablo 7 incelendiğinde karar ağaçları %82.99, yapay sinir ağları %80.55 doğruluğa sahip oldukları görülmektedir. Karar ağaçları 239 doğru sınıflandırma ve 49 yanlış sınıflandırma, yapay sinir ağları 232 doğru sınıflandırma ve 56 yanlış sınıflandırma yapmışlardır.

Karar ağaçları, %85.71 seçicilik ve %86.8 kesinlik değerleri ile daha iyi performans gösterirken, yapay sinir ağları, %81.33 ile

duyarlılık değeri açısından daha iyi performans göstermiştir.

Tek başına duyarlılık ve kesinliğe bakılarak performans ölçümü yapmak yeterli olmadığından, duyarlılık ve kesinliğin harmonik ortalaması olan F-skor değeri hesaplanmış ve Şekil 8 ve Şekil 9’da görüldüğü gibi her iki yöntemin ROC eğrisi çizdirilmiş ve ROC eğrileri altında kalan alanı ifade eden AUC değeri hesaplatılmıştır.

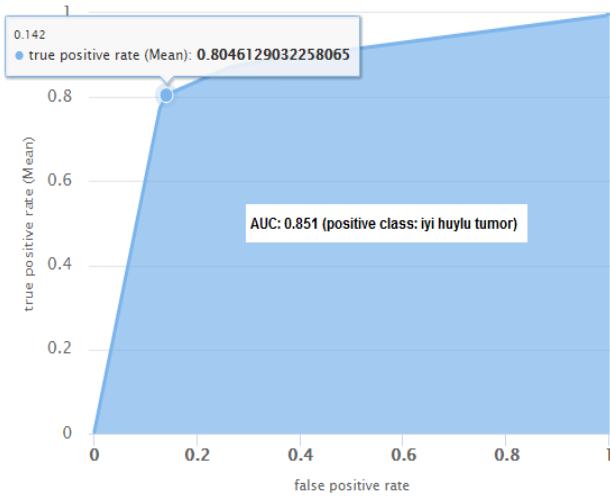
F-skor değeri, karar ağaçları yönteminde 0.836, yapay sinir ağlarında 0.8133 elde edilmiştir. Bu değere bakarak karar ağaçları ile yapılan tahminin yapay sinir ağları ile yapılan tahminden daha başarılı olduğu görülmüştür. Şekil 8 ve Şekil 9’da görülen ROC eğrileri ve bunlara bağlı hesaplanan AUC değerlerine de bakıldığında yine karar ağaçlarının yapay sinir ağlarına kıyasla daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

Tablo 6. Karar ağaçları hata matrisi ve başarı ölçütleri

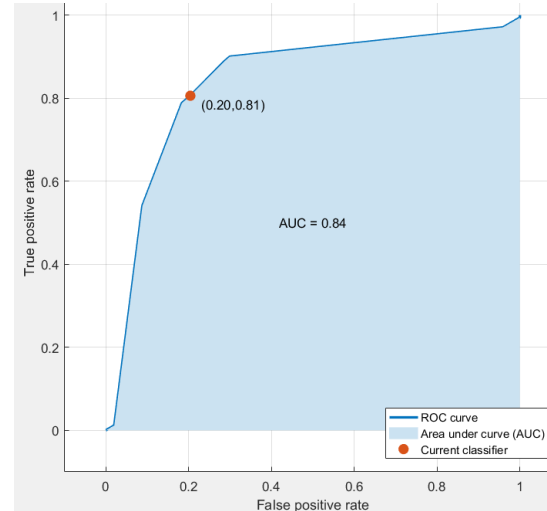
Karar Ağaçları	Gerçek Değer		Başarı Ölçütleri				F-skor	
	Kötü Huylu	İyi Huylu	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Kesinlik (%)	Seçicilik (%)		
Tahmini Değer	Kötü Huylu	114	30	82.99	80.64	86.8	85.71	0.836
	İyi Huylu	19	125					

Tablo 7. Yapay sinir ağları hata matrisi ve başarı ölçütleri

Yapay Sinir Ağları	Gerçek Değer		Başarı Ölçütleri				F-skor	
	Kötü Huylu	İyi Huylu	Doğruluk (%)	Duyarlılık (%)	Kesinlik (%)	Seçicilik (%)		
Tahmini Değer	Kötü Huylu	110	28	80.55	81.33	81.33	79.71	0.8133
	İyi Huylu	28	122					



Şekil 8. Karar ağaçları ROC eğrisi



Şekil 9. Yapay sinir ağları ROC eğrisi

Literatürde hazır veri setleri kullanılarak, çeşitli makine öğrenmesi teknikleri ile meme kanseri teşhisi için yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [20-24]. Kullanılan veri setinde; nitelik sayısının fazla olması, önemli olan niteliklerin önceden belli olması, eksik veri bulunmaması ve toplam veri sayısının daha fazla olması gibi sebeplerden dolayı sınıflandırma doğrulukları Tablo 8’de görüldüğü gibi %90’ın üzerinde çıkmıştır [20-23]. Veri setinde eksik verilerin bulunması veya veri setinde bulunan veri sayısının düşüklüğü benzer makine öğrenmesi teknikleri

kullanılmasına rağmen sınıflandırma doğruluğu değerlerinde ciddi düşümlere sebep olmaktadır [24]. Bu açılarından değerlendirildiğinde çalışma, kullanılan veri setinde eksik veriler bulunmasına rağmen yine de tatmin edici sonuçlara ulaşmıştır. Tablo 8’de belirtilen çalışmalarda, elde edilen başarı oranları yüksek doğruluk içermekle birlikte, benzer makine öğrenimi kullanımına rağmen algoritmalar tarafından elde edilen sınıflandırma doğruluklarının farklı olması dikkat çekicidir [20-24]. Etkili bir makine öğrenme modeli tasarlamak, başarılı bir ön işleme, özellik

seçme ve sınıflandırma işlemleri gerektirir [17]. Bu çalışmada, mevcut tüm özellikler kullanılarak sınıflandırma yapılmıştır. Sınıflandırma işleminden önce özellik seçim algoritmaları ile önemli özelliklerin belirlenerek yapılacak bir çalışma, sınıflandırma sisteminin hem hızını hem de başarısını arttıracaktır.

Bu çalışmada, performans sonuçlarında elde edilen değerler hastalığı tespit etmede kabul

edilebilir değerlerdir. Veriler, eksik veri tamamlama algoritması ile tamamlanmayıp; eksiksiz bir şekilde elde edilmiş olması modellerin daha yüksek performans vermelerini sağlayabilirdi. Ayrıca veri çoğaltma algoritmaları kullanılarak veri sayısının artırılması durumunda da yine modellerin daha yüksek performans vermeleri sağlanabilirdi.

Tablo 8. Literatürdeki çalışmaların başarı oranları

Yazar ve Yılı	Veri Sayısı	Veri Seti	Makine Öğrenmesi Teknikleri	Doğruluk (%)
Polat ve Güneş, 2007	683	Wisconsin breast cancer dataset (WBCD)	Destek Vektör Makinesi (SVM)	98.53
Akay, 2009	683	Wisconsin breast cancer dataset (WBCD)	Destek Vektör Makinesi (SVM)	99.51
Mert ve ark., 2015	569	Wisconsin diagnostic breast cancer dataset	a. k-En Yakın Komşu (kNN) b. Yapay Sinir Ağları (ANN) c. Radyal Temelli Fonksiyon Sinir Ağı (RBFNN) d. Destek Vektör Makinesi (SVM)	a. 93.14 b. 97.53 c. 87.17 d. 95.25
Milosevic ve ark., 2015	300	The Mini Mammographic Database	a. Destek Vektör Makinesi (SVM) b. k-En Yakın Komşu (kNN) c. Naive Bayes	a. 83.7 b. 54.3 c. 77.3
Asri ve ark., 2016	699	Wisconsin breast cancer dataset (WBCD)	a. Destek Vektör Makinesi (SVM) b. Karar Ağacı (Decision Tree) c. Naive Bayes d. k-En Yakın Komşu (kNN)	a. 97.13 b. 95.13 c. 95.99 d. 95.27

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, meme kanseri tümörlerini iyi huylu veya kötü huylu olarak kategorize etmek için karar ağaçları ve yapay sinir ağları olmak üzere iki farklı makine öğrenme yönteminin başarısı incelenmiştir. Uygulamada, karar ağaçları yöntemi için RapidMiner, yapay sinir ağları yöntemi için MATLAB programları kullanılmıştır. Yöntemlerin performanslarını ölçmek için doğruluk, duyarlılık, kesinlik, seçicilik, F-skor, ROC eğrisi ve AUC değerlerine bakılmıştır. Sınıflandırmada, karar ağaçları %82.99 doğruluk, %85.71 seçicilik, %86.8 kesinlik, 0,836 F-skor ve 0.851 AUC değerleri ile yapay sinir ağlarının önüne geçmiştir. Karar

ağaçları sınıflandırma performansı daha başarılı olduğu görülmüştür.

Karar ağaçları incelendiğinde, başlangıç değişkeninin veriyi ikiye ayırdığı ve daha sonra diğer değişkenlerin sonuç olarak çıkan grupları tekrar ayırdığı görülmektedir. Bu durum veriyi analiz ederken arka planındaki işleyişi daha anlaşılır kılmaktadır. Bu durum karar ağaçlarının, yapay sinir ağlarından daha kolay eğitilebilmesini sağlamaktadır. Ayrıca yapay sinir ağlarında oluşturulan modelde değişken seçimi, girdilerin önem düzeyleri hakkında bilgi sahibi olmak açısından önemlidir [25]. Oluşturulan sistemde tüm özellikler kullanılarak ağ eğitilip başarı ölçütleri elde edilmesi nedeniyle yapay sinir ağları, karar ağaçlarından daha düşük

doğruluk elde edilmesine neden olmuştur. Özellik seçimi ile yapılacak bir analiz yapay sinir ağlarının performansını yükseltecektir.

Bu çalışmada, sonuçlarımız Milosevic ve ark.'nın (2015) çalışması ile karşılaştırıldığında [24], kullandığımız veri seti eksik veriler içermesine rağmen aynı makine öğrenmesi teknikleri (k-En Yakın Komşu) kullanıldığı durumda daha yüksek doğruluk değeri elde edilmiştir.

Ayrıca literatürde yer alan hazır veri setleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar incelendiğinde [20-24] farklı makine öğrenmesi teknikleri hazır araçlar kullanılarak elde edilmesine karşın, bu çalışmada kullandığımız makine öğrenmesi tekniklerinden olan yapay sinir ağlarında ilgili algoritma, Şekil 4'te görülen akış şemasına göre kendi yazmış olduğumuz

kodlar ile oluşturulmuş olup, çalışmamız diğer çalışmalardan bu yönüyle farklılık göstermiştir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmaya tüm yazarlar eşit katkıda bulunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] S. K. M. Hamouda, M. E. Wahed, R. H. Abo Alez, and K. Riad, "Robust breast cancer prediction system based on rough set theory at National Cancer Institute of Egypt," *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 153, pp. 259–268, 2018.
- [2] M. Elter, R. Schulz-Wendtland, and T. Wittenberg, "The prediction of breast cancer biopsy outcomes using two CAD approaches that both emphasize an intelligible decision process: Prediction of breast biopsy outcomes using CAD approaches," *Med. Phys.*, vol. 34, no. 11, pp. 4164–4172, 2007.
- [3] M. R. Killi, "Meme kanserlerinin tanısında ve taramasında ultrasonografi," *Türkiye Klinikleri Genel Cerrahi - Özel Konular*, vol. 6, no. 2, pp. 7–14, 2013.
- [4] Ş. U. Sürücü, "BIRADS Sınıflamasına Göre Değerlendirilen Meme Lezyonlu Hastalarda Progresyon Varlığının Araştırılması Ve Risk Faktörleriyle İlişkilendirilmesi," in *Tıpta Uzmanlık Tezi (Basılmış)*, Selçuk Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Konya, 2015, pp. 1–51.
- [5] I. Fondón et al., "Automatic classification of tissue malignancy for breast carcinoma diagnosis," *Comput. Biol. Med.*, vol. 96, pp. 41–51, 2018.
- [6] A. Helwan, J. B. Idoko, and R. H. Abiyev, "Machine learning techniques for classification of breast tissue," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 120, pp. 402–410, 2017.
- [7] D. M. Vo, N.-Q. Nguyen, and S.-W. Lee, "Classification of breast cancer histology images using incremental boosting convolution networks," *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 482, pp. 123–138, 2019.
- [8] E. Aydemir and İ. Karşlıoğlu, "Akıllı Telefonların İvmeölçer Sensörü Yardımıyla Yürüyüş Deseni Analizi," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 21, pp. 283–299.
- [9] R. Pan, T. Yang, J. Cao, K. Lu, and Z. Zhang, "Missing data imputation by K nearest neighbours based on grey relational structure and mutual information," *Appl. Intell.*, vol. 43, no. 3, pp. 614–632, 2015.
- [10] A. Altunkaynak, E. E. Başakin, and E. Kartal, "Dalgacık K-En Yakın Komşuluk Yöntemi ile Hava Kirliliği Tahmini," *Uludağ Univ. J. Fac. Eng.*, pp. 1547–1556, 2020.
- [11] M. F. Adak and N. Yurtay, "Gini algoritmasını kullanarak karar ağacı oluşturmayı sağlayan bir yazılımın geliştirilmesi," *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, vol. 6, no. 3, pp. 1–6, 2014.
- [12] E. Sezer, A. Bozkir, S. Yagiz, and C. Gokceoglu, "Karar ağacı derinliğinin CART algoritmasında kestirim kapasitesine etkisi: bir tünel açma makinesinin ilerleme hızı üzerinde uygulama," *Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu*, pp. 21–24, 2010.
- [13] H. Zheng, L. Chen, X. Han, X. Zhao, and Y. Ma, "Classification and regression tree (CART) for analysis of soybean yield variability among fields in Northeast China: The importance of phosphorus application rates under drought conditions," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 132, no. 1–2, pp. 98–105, 2009.
- [14] X. Wu, *The top ten algorithms in data mining*. London, England: CRC Press, 2009.

- [15] B. Ataseven, “Yapay sinir ağları ile öngörü modellemesi,” *Öneri Dergisi*, vol. 10, pp. 101–115, 2013.
- [16] A. Dahamshah and H. Aksoy, “Kurak bölge aylık yağışlarının Markov zinciri eklenmiş koşullu ileri beslemeli geri yayılım yapay sinir ağları ile tahmini,” *İTÜ Dergisi Seri D: Mühendislik*, vol. 8, no. 6, pp. 37–48, 2009.
- [17] İ. Ateş and T. T. Bilgin, “The investigation of the success of different machine learning methods in breast cancer diagnosis,” *Konuralp tıp derg.*, 2021.
- [18] J. Brownlee, “A gentle introduction to the fbeta-measure for machine learning,” *Machine Learning Mastery*, 23-Feb-2020. [Online]. Available: <https://machinelearningmastery.com/fbeta-measure-for-machine-learning/>. [Accessed: 02-Oct-2021].
- [19] S. Kılıç, “Klinik karar vermede ROC analizi,” *Journal of Mood Disorders*, vol. 3, 2013.
- [20] K. Polat and S. Güneş, “Breast cancer diagnosis using least square support vector machine,” *Digit. Signal Process.*, vol. 17, no. 4, pp. 694–701, 2007.
- [21] M. F. Akay, “Support vector machines combined with feature selection for breast cancer diagnosis,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 2, pp. 3240–3247, 2009.
- [22] A. Mert, N. Kılıç, E. Bilgili, and A. Akan, “Breast cancer detection with reduced feature set,” *Comput. Math. Methods Med.*, vol. 2015, p. 265138, 2015.
- [23] H. Asri, H. Mousannif, H. A. Moatassime, and T. Noel, “Using machine learning algorithms for breast cancer risk prediction and diagnosis,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 83, pp. 1064–1069, 2016.
- [24] M. Milosevic, D. Jankovic, and A. Peulic, “Comparative analysis of breast cancer detection in mammograms and thermograms,” *Biomed. Tech. (Berl.)*, vol. 60, no. 1, pp. 49–56, 2015.
- [25] D. Altaş and V. Gülpınar, “Karar ağaçları ve yapay sinir ağlarının sınıflandırma performanslarının karşılaştırılması,” *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 14, no. 1, pp. 1–22, 2012.

Organic Barley and Wheat Production Forecast: The Case of Ağrı Province

Ayça Nur ŞAHİN DEMİREL^{1*}

¹Iğdir University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, Iğdir-Turkey
(ORCID: [0000-0003-2988-8448](https://orcid.org/0000-0003-2988-8448))



Keywords: Trend analysis, Organic wheat, Organic barley, Organic agriculture

Abstract

This study explains the trend analysis for organic wheat and barley production in Turkey-Ağrı province between 2021 and 2024. For organic product production, the organic agricultural farm area trend and the organic agricultural worker trend have been analyzed. Until 2015, it has been determined that there was an increase in the number of organic agricultural areas and workers, but between 2015 and 2020 the trend of stagnation and then the downtrend had been occurred. While a similar trend has occurred in organic wheat production, it has been determined that organic barley production has been increasing overall since 2008. For the estimations of 2021-2024 years in the organic farming area, number of workers, wheat and barley production in Ağrı province, the Exponential Growth Method was applied separately to the 2007-2020 data with the Quadratic Trend Analysis method and ideal estimation data were tried to be obtained. Within the scope of the forecast results obtained, organic barley production is expected to be on an upward trend in the coming years, while organic wheat production is expected to be the opposite. In the light of these analysis results, it is of great importance for agricultural producers to raise awareness of producers and turn the downward trends back into an upward trend.

1. Introduction

Nowadays technology is known to further reduce people's physical mobility in daily life via fast foods, internet orders, etc. [1,2]. This situation causes extreme weight gain and obesity risk by bringing in particular malnutritional habit. People who are in such a situation are looking for the remedy in dietary foods in order to return to their healthy lives. Barley which is the most remarkable product in healthy living and dietary products, stands out as one of the best dietary foods [3]. Barley contains almost all the nutrients necessary for a person in the right proportions. Barley also has many medical restorative properties with its water [4]. Especially, it can be used as an appetite regulator in addition to reducing body weight or controlling weight. Barley which is used in the production of various health tonics and malt beverages in industrial uses, proves to be an important product worldwide [5].

Wheat, another important nutrient as well as barley, is consumed worldwide and is considered one of the most important food products for humans [6,7]. Wheat is known to rank first among cultural plants in the world in terms of cultivation and production [8]. The first domesticated wheat production in history was grown in a limited area between the Tigris and Euphrates rivers of Turkey, which was called the "Fertile Crescent" at the time [6,7]. This situation shows how important Turkey plays in world wheat cultivation. While a grain of wheat contains a suitable feeding value for a person, it is the main food of approximately 50 countries due to the conveniences of storage and processing. Wheat provides the world's population with approximately 20% of the total calories from plant-derived foods [6,9]. In general, wheat is used in many foods and industrial sectors, especially bakery products.

*Corresponding author: aycanur.sahin@igdir.edu.tr

Received: 06.10.2021, Accepted: 05.11.2021

Although Wheat and Barley are used in many fields in the industry, more production is provided in shorter periods with various modifications in order to meet the increasing demands in present conditions. In particular, this allows the introduction of genetically modified products to the market, which leads to the introduction of nutrients that are beneficial to human health, such as wheat and barley, into unhealthy forms. However, the awareness of organic food consumption that has emerged in recent years is gradually changing this situation. Organic products are generally defined as products that are natural, do not contain contamination in seeds and products, do not pose an additional risk of food poisoning, may contain more vitamins and minerals and secondary nutrients, i.e. vegetable foods, than traditional foods [6,9]. It is inevitable that conscious consumers will direct all producers to organic product production again in the long term, especially by directing them to organic products.

Given the general situation for Barley and Wheat, the past status of these products and the estimate of possible future productions may play a vital role in establishing a policy framework to find a sustainable solution to future food insecurity problems [10-14]. Specially, these estimates not only affect the price policy of the product produced, except that the fertilizer used in the production of the products, diesel fuel, certified seed, etc. it will also affect the pricing policy of expenses. In this study, production estimates have been made between 2021 and 2024 for Turkey's Ağrı province, which has become popular in Turkey in recent years and started organic wheat production in 2007 and organic barley production in 2008. As of 2020, the number of organic product varieties in Ağrı has reached to 23 different species [14]. In addition to organic barley and wheat, this province, where other products such as pears, sunflowers, sainfoin and clover are produced, is of great importance in terms of organic product production. While organic wheat production in Ağrı is 10.03% of the general organic product production throughout Turkey, it has a share of 12.62 % in organic barley production [14, 21]. These percentages were obtained in proportion to the total production of hundreds of organic products. In other words, these percentages will be obtained much higher when only wheat and barley are evaluated. This situation makes Ağrı province an organic barley and wheat production center. On the other hand, considering organic barley production, organic wheat production, number of

workers and total production areas for Ağrı province, very striking results have been emerged. It has been determined that the downtrend after 2015, especially in wheat production, also affects the province of Ağrı, and this downtrend is expected to occur in the coming years. On the other hand, this trend for organic barley production has been determined to be the opposite. With this study, it is expected that organic barley and wheat production forecasts for Ağrı province will be a guide for both agricultural producers and auxiliary units in production (diesel suppliers, fertilizer producers, seed producers, etc.).

2. Material and Method

In this study, statistical data of the Ministry of Agriculture and Forestry of Turkey has been used for the annual number of agricultural workers in Ağrı, total area of production of organic products, total amounts of organic wheat and barley. Minitab software-Quadratic Trend Analysis (QTA) and Exponential Growth Model (EGM) methods have been used to do trend analysis in general for 2021-2024. QTA and EGM trend forecast methods have been used in all analysis methods to make the most ideal trend analyses. In QTA analysis, quadratic trend tests are performed to determine the coefficients of orthogonal polynomials and the possible future figure. Thus, the continuity course is determined according to the trend of the data. QTA has been used as a linear regression equation and this equation is;

$$Y_t = b_0 + b_1t + b_2t^2 \quad (1)$$

here, b_0 is for intercept; b_1 and b_2 are for the 1st and 2nd time variables, respectively; and t is for time [15-17].

Another method most commonly used in time-series analysis is Exponential Growth Method. In general, this method can give accurate forecast results when there is a tendency to continuously increase or decrease continuously in a series. The EGM formula is [15-17];

$$Y_t = b_0 + e^{bt} \quad (2)$$

here b_0 is for intercept, b_1 is for time variable and t is for time. In order for the forecasts made as a result of trend analysis to be closer to reality, it is desirable that the historical data be in longer series. But in conditions where this is not possible, short-

term data can be made more regular by the Double Exponential Smoothing (DES) method in order to equalize the data fluctuation and obtain results closer to reality [16,17]. The DES was applied to some data in this study by making use of the double exponential smooth feature of the Minitab program. The data used for the years 2007-2020 have been generally accepted as short-term data and the DES method was applied in order to deal with some fluctuations in the data such as the number of workers and wheat production, and then estimate analyses have been carried out with QTA or EGM. The main purpose of choosing 3-year periods in both estimation analysis methods is that the data obtained in the past periods are defined as short-term intervals. In other words, data from 2007 or earlier periods must be found in order to carry out a longer-term forecasting study.

The numerical data obtained from the analysis were evaluated to compare the accuracy of the periodic forecasting analyses. These data are respectively Mean Absolute Percentage Error (MAPE), Mean Absolute Deviation (MAD) and Mean Squared Deviation (MSD). The MAPE, MAD and MSD data are important for metric evaluations in the forecasts, and the analysis method with the smaller of these three values is preferred for a more consistent estimation [18-20].

3. Results and Discussion

After examining the statistical data made by the Ministry of Agriculture and Forestry since 2000, it has been determined that Ağrı had started producing organic wheat in 2007 and organic barley in 2008. When evaluated in general, for the province of Ağrı, which is still a baby producer, investigations of organic product production areas were made first.

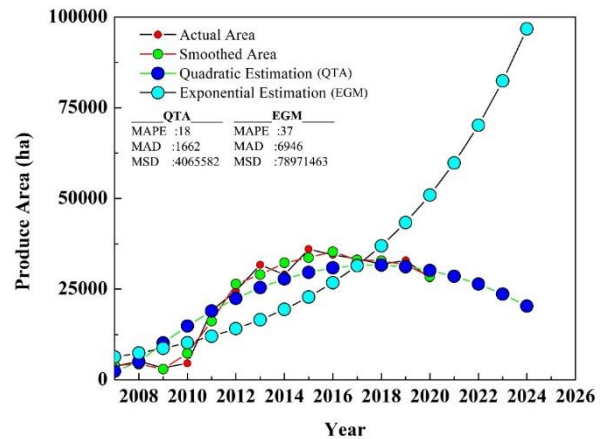


Figure 1. Total agricultural area used in the production of organic products for Ağrı.

Figure 1 shows the total amount of agricultural land used for all organic products produced in Ağrı. The level of agricultural land used for organic product production, which started in 2007, was at standard levels until 2010 and increased from 2010 to 2015. This situation indicates that the interest in organic product production had increased between 2010 and 2015 in Ağrı. In general, the organic product production trend, which reached saturation in 2015, has been seen to enter a downtrend between 2015 and 2020. In order to carry out organic product farmland trend analysis, DES method was applied first and data was prepared for QTA and EGM analysis. As a result of the trend analyzes in Figure 1, MAPE, MAD and MSD values for QTA and EGM were compared. For a more accurate future estimation, it was determined that the QTA method, where these 3 values are the smallest, is more suitable for 2021-2024 agricultural land forecasts. Accordingly, between 2021 and 2024, the amounts of agricultural land to be used has been given in Table 1.

According to the QTA results, 27990.3 hectares of agricultural land were used in 2020, compared to 30171.29 hectares according to the QTA estimate. The difference of 2180.99 hectares generally indicates that the QTA estimate is calculated accurately at the rate of 82%, according to MAPE value. Given that the accuracy estimate, which remains above 70%, is generally acceptable, it can be considered that QTA estimates are more accurate with 82%.

Table 1. Organic agricultural area trend analysis data of Ağrı.

Years	Actual Area (ha)*	Smoothed Area (ha)	QTA (ha)	EGM (ha)
2007	3727.96	4012.781	2372.52	6322.26
2008	5176.37	4337.712	4975.66	7422.775
2009	3301.87	2992.543	10206.59	8714.856
2010	4565.89	7334.928	14868.2	10231.85
2011	19038.68	16203.92	18960.48	12012.91
2012	24485.05	26427.38	22483.43	14103.99
2013	31742	29029.63	25437.05	16559.07
2014	28986.03	32261.58	27821.35	19441.51
2015	36038	33693.64	29636.33	22825.69
2016	34504	35326.11	30881.97	26798.95
2017	33341	33055.65	31558.29	31463.84
2018	31914.72	32862.84	31665.29	36940.75
2019	32920	31694.16	31202.95	43371.02
2020	27990.3	28499.01	30171.29	50920.61
2021			28570.31	59784.36
2022			26400	70191.01
2023			23660.36	82409.16
2024			20351.39	96754.11

*It was obtained from the organic agriculture statistics of the Republic of Turkey, the Ministry of Agriculture and Forestry.

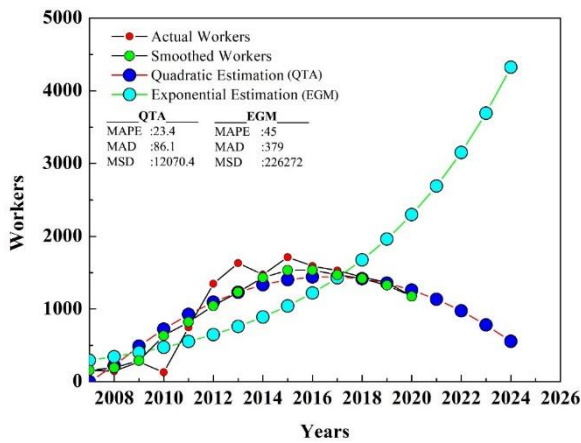


Figure 2. Trend analysis data on the number of workers working in organic agricultural areas in Ağrı

Figure 2 shows the total number of workers working in organic product production in Ağrı, as result of the trend analyses of QTA and EGM analyses. As with farming area data, a similar trend has emerged in worker analysis. While it was stagnant between 2007 and 2010, the number of organic agricultural workers increased between 2010 and 2015. Similarly, between 2015 and 2020, a stagnant and declining trend emerged. Due to fluctuations in the data between 2007 and 2020, the DES method has been applied to the data first and

then QTA and EGM analyses have been performed. As a result of the trend analyzes in Figure 2, MAPE, MAD and MSD values were compared. It has been determined that the QTA method, where these 3 values are the smallest, is more ideal for the estimates of the number of workers for the years 2021-2024.

According to the Ministry of Agriculture and forestry data, there were 1175 employees of organic products in 2020, while according to the QTA analysis, this value has been estimated at 1261. After the QTA analysis, a difference of 86 people has been formed. The difference of 86 people has shown that the consistency of the forecast is 76.6%, according to MAPE value. This indicates that the QTA analysis will greatly confirm the expectations of the labor trend by 2024, that is, organic agricultural workers will decrease between 2021 and 2024. Especially the decrease in the organic agricultural area and the number of workers is an expected result being correctly proportional. However, the reasons of this decrease since 2015 need to be carefully examined. Therefore, it will be able to create auxiliary methods to investigate the production of organic wheat and barley in Ağrı, which is the basis of the study, and to understand the reasons for the downward trend.

Table 2. Organic agricultural worker trend analysis data in Ağrı.

Years	Actual Worker*	Smoothed Worker	QTA	EGM
2007	158	158	122	294

2008	147	192	221	344
2009	272	290	488	403
2010	130	633	723	473
2011	746	821	924	554
2012	1348	1044	1093	648
2013	1631	1233	1229	759
2014	1473	1432	1333	889
2015	1713	1531	1403	1042
2016	1590	1534	1441	1220
2017	1529	1469	1445	1430
2018	1439	1419	1417	1674
2019	1366	1326	1355	1961
2020	1175	1175	1261	2297
2021			1134	2691
2022			974	3152
2023			781	3692
2024			555	4324

*It was obtained from the organic agriculture statistics of the Republic of Turkey, the Ministry of Agriculture and Forestry.

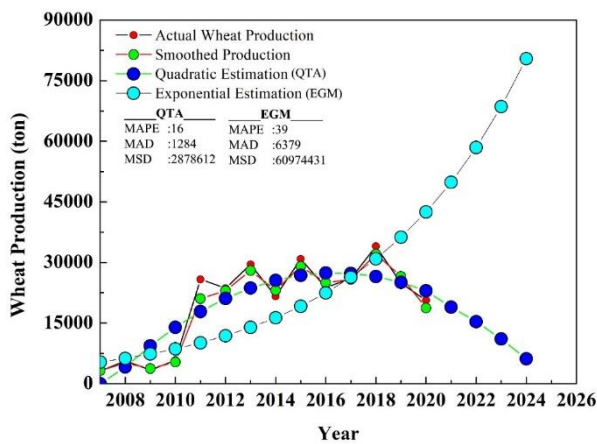


Figure 3. Trend analyses data for wheat production of Ağrı

In Figure 3, the analysis data of organic wheat production of Ağrı are seen between 2007-2020. Similar trends of increase and decrease are observed when examined together with Figure 1, Figure 2 and Figure 3. When the data of the Ministry of Agriculture and Forestry have been examined, it has shown that organic agriculture started with organic wheat production in Ağrı and then the product diversity has increased over the years. Again, according to these data, the fact that the highest amount of organic wheat production is made in Ağrı ensures that both the amount of organic agricultural land and the number of organic agricultural workers vary. In other words, the change in agricultural land area and the number of

workers also affected wheat production in direct proportion.

Table 3 shows organic wheat production amounts between 2007-2020 and trend analysis results between 2007 and 2024. While 20636.41 tons of organic wheat has been produced for 2020, this value has been calculated as 22997.67 by QTA analysis. According to 2020 data, this difference of 2361.26 tons have revealed an accuracy rate of 84% overall. This suggests that forecasts made by QTA method can be reliable by 2024. It has been concluded that the QTA method, in which MAPE, MAD and MSD values are the smallest, is more reliable for estimating wheat production amounts for the years 2021-2024.

Although a downtrend is observed in organic wheat production compared to the number of agricultural land and workers formed after 2015, it has been determined as a result of the literature study that this situation is not only for the province of Ağrı [21]. Especially since 2015, wheat production has been on a downtrend throughout Turkey, and Ağrı has adapted to this trend [21]. The main reasons for this situation occurring throughout Turkey are that Turkey produces enough wheat only for itself, that production becomes more expensive than imports due to increasing exchange rates, COVID-19 that emerged in 2019 and with it the decrease in agricultural worker mobility and some political reasons can be cited.

Table 3. Trend analysis data of organic wheat production in Ağrı.

Years	Actual Wheat Production (ton)*	Smoothed Wheat Production (ton)	QTA (ton)	EGM (ton)
2007	3112.55	3245.36196	0	5354.97589
2008	5715.25	5138.76737	4108.31357	6280.24046
2009	3355.78	3771.93702	9361.45409	7365.37774
2010	5838.36	5356.04787	13945.68053	8638.01149
2011	25821.3	21044.621	17860.99288	10130.53847
2012	23626.37	23023.77854	21107.39113	11880.95312
2013	29535.13	28015.3522	23684.8753	13933.81483
2014	21633.93	23123.38174	25593.44538	16341.38219
2015	30883	29071.8713	26833.10136	19164.94335
2016	23786.1	25019.82205	27403.84326	22476.37618
2017	26058.21	25815.84573	27305.67107	26359.97807
2018	34017.1	32102.89153	26538.58479	30914.61178
2019	24867.41	26556.20291	25102.58441	36256.22218
2020	20636.41	18743.98546	22997.66995	42520.78778
2021			18962.47069	49867.78226
2022			15360.68811	58484.23412
2023			11097.06223	68589.48775
2024			6171.59306	80440.78718

*It was obtained from the organic agriculture statistics of the Republic of Turkey, the Ministry of Agriculture and Forestry.

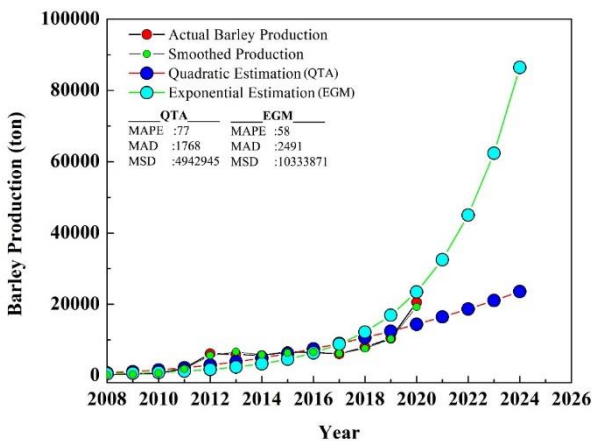


Figure 4. Trend analysis data of organic barley production of Ağrı

Figure 4, organic barley, which began production as of 2008, has consistently shown an increasing trend in the process until 2020. This situation differs more than organic wheat production. Table 4 provides actual production data for organic barley and QTA and EGM analysis results between 2008 and 2020. When the data for 2020 were examined, organic barley production, which is 20589.44 tons, has been estimated as 14375.93112 tons by QTA method, while EGM analysis has estimated this value as 23460.82883. In particular, the increase in actual production values until 2020 suggests that the EGM method may yield more probable results. MAPE, MAD and MSD values, which show the correctness of this idea, were compared in the two analyses methods

(QTA and EGM). According to these values, it has been confirmed by numerical analysis that the EGM method is more reliable for barley production forecasts for the years 2021-2024.

When the organic product production of Ağrı is generally examined, the adventure that started with organic wheat production in 2007 had developed in an increase trend with the number of agricultural and agricultural workers until 2015. However, after 2015, this situation first entered into stagnation and then into the downtrend. Within the scope of the trend analyzes carried out until 2021, it was decided as a result of the examination of similar studies in the literature whether the analyzes between the years 2022-2024 will give correct results. In the Ruekkasaem and Sasananan [22] study, they compared the rice prices by traditional forecasting and time series analysis. After, examining has been made on forecasts results 12 different models depending on time series with different analysis methods [22]. The obtained results showed that as a result of the evaluation of MAPE, MAD, MSD values, the time series analyzes will give more accurate results for future forecasts. In another study, Sabır and Batuk performed time series analyzes on textile dyes, in 2013 [23]. Although the compared this study differs with organic products, it shows that time series trend analyzes can give accurate forecast results in different products and different applications. With their work, Sabır and Batuk [23] showed that time series trend analyzes gave successful results in the field of textiles as well.

Table 4. Trend analysis data for organic wheat production in Ağrı.

Years	Actual Barley Production (ton)*	Smoothed Barley Production (ton)	QTA (ton)	EGM (ton)
2007	-	-	-	-
2008	137.81	161.72728	758.27879	469.25576
2009	556.69	341.91654	1091.26072	650.11086
2010	603.18	654.5398	1570.02855	900.66903
2011	2129.27	1886.86956	2194.58227	1247.79443
2012	6144.97	5648.9289	2964.92189	1728.70487
2013	5956.81	6679.47872	3881.04741	2394.96222
2014	5607.52	5840.03459	4942.95882	3318.00075
2015	6749	6386.96289	6150.65613	4596.78606
2016	6448.6	6609.29693	7504.13933	6368.42595
2017	6083.57	6185.81226	9003.40843	8822.87071
2018	8020.3	7592.82912	10648.46343	12223.27907
2019	10459.89	10283.37334	12439.30433	16934.23331
2020	20589.44	19253.21129	14375.93112	23460.82883
2021			16458.34381	32502.82899
2022			18686.54239	45029.69183
2023			21060.52687	62384.51265
2024			23580.29725	86428.02694

*It was obtained from the organic agriculture statistics of the Republic of Turkey, the Ministry of Agriculture and Forestry.

According to Global Wheat Market reports, there has been a decrease in wheat production worldwide since 2017 [24]. The downward trend experienced in the period from 2017 to 2021 has similarly affected Turkey. It has been observed that the most important factor causing this downward trend is the stagnation of the demand for organic wheat consumption worldwide [24, 25]. Commenting that the stagnation in consumption demand may continue in the next few years has been seen to support the downtrend forecasts, especially for the years 2021-2024 [24, 25]. On the other hand, it has been determined that the production forecasts made between 2019-2026 and 2020-2028 in organic barley production show an increasing trend around the world [26, 27]. Considering that the production increase and decrease trends in the world directly affect Turkey, it is possible that an increase trend in organic barley production between the years 2021-2024 in Ağrı province will occur. According to the results of the forecast and literature researches, it is forecasted that the downtrend in organic wheat production will continue for some time, while on the contrary organic barley production will increase in the coming years. Evaluation of this situation may also help the

organic product producers to enter an upward trend in a short time by raising awareness for wheat production.

4. Conclusion and Suggestions

The production area, annual number of workers, wheat and barley productions for Ağrı province, which is one of the organic product production centers of Turkey, have been successfully analyzed according to the data between 2007 and 2020. As a result of the analyses, two different (QTA and EGM) methods have applied to make trend predictions between 2021 and 2024. Based on historical production data, the QTA method has been found to give more likely results in production area, number of workers and organic wheat production estimates. In organic barley production, it has been determined that the EGM analysis results gave more ideal results for future production. Within the scope of the results obtained, it is predicted that the downtrend in organic product agriculture, number of workers and organic wheat productions in Ağrı will continue between 2021 and 2024, while production in organic barley production will be on an increasing trend. It has been considered that the

reason for the downtrend is the lack of export production throughout the country, the high costs to the producer because of rising inflation and the COVID-19 pandemic restricting worker mobility and working times. As a result, organic barley which is the rising trend in organic product production in Ağrı will provide a great advantage for producers in the coming years. Also, as a recommendation for policy makers, it is thought that for the period until 2024, focusing on the production of different types of organic products

instead of organic wheat production would be beneficial for both the producer and the domestic organic market. For the future of organic barley production, increasing the support that should be given to the producer will be beneficial both for the domestic market and for exports.

Statement of Research and Publication Ethics

The study is complied with research and publication ethics

References

- [1] G. Lyons, "Internet: investigating new technology's evolving role, nature and effects on transport" *Transport Policy (Oxford)*, vol. 9, pp. 335–346, 2002.
- [2] C. Caballini, M. Agostino, and B. Dalla Chiara, "Physical mobility and virtual communication in Italy: Trends, analytical relationships and policies for the post COVID-19," *Transp. Policy (Oxf.)*, vol. 110, pp. 314–334, 2021.
- [3] J.J. Pins and H. Kaur, "A review of the effects of barley [beta]-glucan on cardiovascular and diabetic risk," *Cereal Foods World*, vol. 51, pp. 8-11, 2006.
- [4] A. Cavazos and E. Gonzalez de Mejia, "Identification of bioactive peptides from cereal storage proteins and their potential role in prevention of chronic diseases: Bioactive peptides from cereal proteins...", *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 12, no. 4, pp. 364–380, 2013.
- [5] S. Meyerowitz, *Wheatgrass: Nature's Finest Medicine : the Complete Guide to Using Grass Foods & Juices to Help Your Health*. Sproutman Publications, 2006.
- [6] P.M. Priyadarshan, *Plant Breeding: Classical to Modern*. Springer Nature, 2019.
- [7] G. Igrejas, T.M. Ikeda, and C. Guzmán, *Wheat Quality For Improving Processing And Human Health*, Springer Nature Switzerland, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-34163-3
- [8] TOB-a, "Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry", <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ktae/Belgeler/brosurler/Bu%C4%9Fday%20Tar%C4%B1m%C4%B1.pdf> [Accessed: 10-June-2021].
- [9] J. Sheng, L. Shen, Y. Qiao, M. Yu, and B. Fan, "Market trends and accreditation systems for organic food in China" *Trends in Food Science and Technology*, vol. 20, pp. 396-401, 2009.
- [10] D.M. Morris, J.P. Kimmins, and D.R. Duckert, "The use of soil organic matter as a criterion of the relative sustainability of forest management alternatives: a modelling approach using FORECAST," *Forest Ecology and Management*, vol. 94, pp. 61-78, 1997.
- [11] A. Fedele, A. Mazzi, M. Niero, F. Zuliani, and A. Scipioni, "Can the life cycle assessment methodology be adopted to support a single farm on its environmental impacts forecast evaluation between conventional and organic production? An Italian case study," *Journal of Cleaner Production*, vol. 69, pp. 49-59, 2014.
- [12] FAO, "The future of food and agriculture – Trends and challenges", Rome, 2017.
- [13] S.N. Kumar, B.B. Mishra, S. Kumar, and J. Mandal, "Organo-arsenic complexation studies explaining the reduction of uptake of arsenic in wheat grown with contaminated irrigation water and organic amendments," *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 232, pp. 118-128, 2021.
- [14] TOB-b, "Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry", <https://www.tarimorman.gov.tr/Konular/Bitkisel-Uretim/Organik-Tarim/Istatistikler> [Accessed: 10-June-2021].
- [15] F. Khan, T. Husain, and A. Lumb, "Water quality evaluation and trend analysis in selected watersheds of the atlantic region of Canada," *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 88, pp. 221-248, 2003.
- [16] A.C. Costamagna, W.V.D. Werf, F.J.J.A. Bianchi, and D.A. Landis, "An exponential growth model with decreasing r captures bottom-up effects on the population growth of *Aphis glycines* Matsumura (Hemiptera: Aphididae)," *Agricultural and Forest Entomology*, vol. 9, pp. 297-305, 2007.

- [17] S. Abid, I. Raza, A. Khalil, M.N. Khan, S. Anwar, and M.A. Masood, "Trend analysis and forecasting of maize area and production in khyber pakhtunkhwa, Pakistan," *European Journal of Academic Research*, vol. 2, pp. 4653-4664, 2014.
- [18] J. McKenzie, "Mean absolute percentage error and bias in economic forecasting," *Economics Letters*, vol. 113, pp. 259-262, 2011.
- [19] K.M.U.B. Konarasinghe, "Forecasting Tourist Arrivals to Sri Lanka: Post-War Period," *International Journal of Novel Research in Physics Chemistry & Mathematics*, vol. 3, pp. 57-63, 2016.
- [20] U. Khair, H. Fahmi, S.A. Hakim and R. Rahim, "Forecasting Error Calculation with Mean Absolute Deviation and Mean Absolute Percentage Error," *IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series*, vol. 930, pp. 012002, 2017.
- [21] "TÜİK - Veri portalı," *Gov.tr*. [Online]. Available: <https://data.tuik.gov.tr/>. [Accessed: 10-June-2021].
- [22] L. Ruekkasaem and M. Sasananan, "Forecasting agricultural products prices using time series methods for crop planning," *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, vol. 9, pp. 957-971, 2018.
- [23] E.C. Sabır and E. Batuk, "Demand forecasting with of using time series models in textile dyeing-finishing mills," *Tekstil ve Konfeksiyon*, vol. 23, pp. 143-151, 2013.
- [24] GWM, "Global Wheat Market Report" <https://www.dtnpf.com/agriculture/web/ag/blogs/canada-markets/blog-post/2021/05/12/global-wheat-production-forecast-use> [Accessed: 02-Nov-2021]
- [25] FBN, "Food Business News" <https://www.foodbusinessnews.net/articles/19337-all-wheat-production-forecast-down-3-from-july-estimate> [Accessed: 02-Nov-2021].
- [26] GFR, "Global Fermentation Reports" <https://www.prejon.com/global-fermentation-products-market-industry-analysis-and-forecast-2019-2026/> [Accessed: 02-Nov-2021].
- [27] GBM, "Global Barley Market Reports" <https://dataintelo.com/report/global-organic-barley-malt-market/> [Accessed: 02-Nov-2021].



Kiral Amit Bileşiğinin Jelleşme Özelliklerinin İncelenmesi

Deniz BARIŞ CEBE^{1*}

¹Department of Chemistry, Batman University, Batman, Turkey
(ORCID: [0000-0001-5860-2133](https://orcid.org/0000-0001-5860-2133))



Anahtar Kelimeler:

Organojelatör, Tetraamit bileşikler, Jel, Biyoyumlu.

Öz

Bu çalışmada *L*-izolösin temelli C_2 -simetrik kiral tetraamit bileşiği organojelatör olarak seçilmiş olup çeşitli çözücülerle jel verip vermediği araştırılmıştır. Oluşan jellerin minimum jelleşme konsantrasyonu ve jelin erime sıcaklığı olan T_g değeri tespit edilmiştir. Ayrıca jelleşme entalpisi değeri olan ΔH_g , van't Hoff denkleminden bulunmuştur. Bunun yanı sıra jelin ağ yapısı SEM cihazıyla çekilen görüntülerle tespit edilmiştir. Çalışmada jelleştirmede kullanılan çözücüler kozmetik ve ilaç endüstrisinde kullanılan ve biyoyumlu yağ asit esterleri (etil ve izopropil laurat, etil ve izopropil miristat, etil ve izopropil palmitat) ve de yaygın olarak kullanılan ksilen, toluen, dietilen glikol, kloroform, anisol,1-dekanol, n-dodekan ve likit parafin seçilmiştir. Buna göre organojelatör, seçilen çözücülerle yağ asidi esterlerinden izopropil miristat hariç tümüyle çok düşük konsantrasyon değerlerinde jel oluşturmuştur. Yaygın organik çözücülerden ise ksilen, dietilen glikol, 1-dekanol ve kloroform hariç diğer çözücülerle jel vermiştir. Ayrıca, yaygın çözücüler içinde hazırlanan jellerin T_g değerlerinin yağ asidi esterleri ile hazırlanan jellerin T_g değerlerine göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek T_g değerlerine sahip organojel, etil laurat ile elde edilen jeldir. Bunun yanı sıra jelleşme entalpisi olan ΔH_g sonuçlarına baktığımızda ise en yüksek değer yine etil laurat ile hazırlanan jelle elde edildiği görülmektedir.

Investigation of the Gelation Properties of Chiral Amide

Keywords: Organogelator, Tetraamide compounds, Gel, Biocompatible.

Abstract

In this study, *L*-isoleucine based C_2 -symmetric chiral tetraamide compound was chosen as an organogelator and it was investigated whether it gave gel with various solvents. The minimum gelation concentration of the formed gels and the T_g value, which is the melting temperature of the gel, were determined. In addition, the gelation enthalpy value, ΔH_g , was found from the Van't Hoff equation. In addition, the network structure of the gel was determined by the images taken with the SEM device. In the study, biocompatible fatty acid esters (ethyl laurate, isopropyl laurate, ethyl myristate, isopropyl myristate, ethyl palmitate, isopropyl palmitate) and commonly used anisole, xylene, liquid paraffin, toluene, diethylene glycol, which are used in the field of medicine and cosmetics as gelling solvents, 1-decanol, n-dodecane and chloroform were selected. Accordingly, the organogelator formed a gel at very low concentrations with the selected solvents, except for isopropyl myristate from fatty acid esters. Among common organic solvents, it gave gel with other solvents except xylene, diethylene glycol, 1-decanol and chloroform. In addition, it was determined that the T_g values of the gels prepared with fatty acid esters were higher than the T_g values of the gels prepared in common solvents. According to this result, the organogel with the highest T_g values is the one whose solvent is LEE. In addition, when we look at the results of ΔH_g , which is the enthalpy of gelation, it is seen that the highest value is obtained with the gel prepared with LEE.

*Sorumlu yazar: deniz.baris@batman.edu.tr

Geliş Tarihi: 14.10.2021, Kabul Tarihi: 27.01.2022

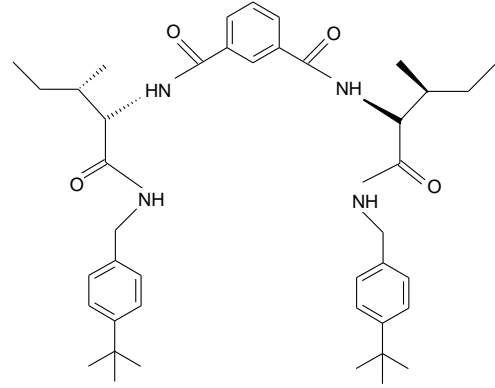
1. Giriş

Jeller, hidrojeller ve organojeller şeklinde sınıflandırılan, yarı-katı formülasyonunda, dış bir çözücü faz şeklinde bulunan yapılardır [1]. Organojelatörler, düşük molekül ağırlıklı organik moleküller olup küçük konsantrasyonlarda jelleşebilir ve böylece organik çözücülerde üç boyutlu bir ağ (network) oluşturabilirler [2]. Düşük molekül ağırlıklı jeller, benzersiz özellikleri nedeniyle büyük ilgi çekmişlerdir. Bu jellerle sadece akademik açıdan değil aynı zamanda sağlık, kozmetik, gıda, yağ ve tekstil gibi endüstriyel uygulamalarından ötürü de ilgilenilmiştir [3-5]. Örneğin, 12-hidroksisteirik asit evsel atık yağların arıtılmasında kullanılan en ünlü jelatörlerden biridir. Benzer şekilde N-Lauroil-L-glutamik acid- α,γ -bis(n-butylamide) de petrol sızıntısının giderilmesinde pratik olarak kullanılmaktadır [6].

İlaç salınımında moleküllerin deriden geçişi ve yerleşimi zahmetli ve önemli bir aşama olabilmektedir. Bu amaçla ilaç geçirgenliğini arttırıcıların kullanılması uygulanan yöntemlerden birisidir. Geçirgenliği arttırıcılar biyobozunur ve biyouyumlu özellikleri sayesinde uzun süreli uygulama için güvenli olmaktadır. İlaç geçirgenliğini arttırıcı olarak yağ asidi esterlerinin ve alkollerin kullanılması, topikal ve transdermal ilaç salımı için çok ilgi çekmektedir. Bu sayede, nonsteroidal antiinflamatuvar ilaçların oral yolla alınmasıyla ortaya çıkan mide tahrişi, ishal, şişkinlik ve karın ağrısı gibi yan etkiler ortadan kalkmaktadır. Ayrıca eklem iltihabı gibi bazı durumları daha iyi tedavi etmek için ağızdan yoluyla yapılan tedaviye ilave olarak kullanılabilirler [7-9]. Doğal kaynaklı düşük molekül ağırlıklı maddelere örnek olarak lesitin de jelatör olarak kullanılmaktadırlar. Fakat bunlar ilaç taşıyıcısı sistemi olarak pahalıdırlar. Bunun dışında büyük oranlı olarak üretimleri pek mümkün değildir. O nedenle bu doğal hammaddeler yerine, yeni ve sentetik, amino asit bazlı organojelatörler tasarlanmaktadır [10, 11]. Bu çalışmada *L*-izolösin amino asit bazlı sentetik bir organojelatör de bu amaçla kullanılmış olup jelleşme özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Tüm reaktifler Merck, Sigma-Aldrich ve Fluka firmalarından alındı. Çözücüler Sigma-Aldrich veya Merck olup ilave saflaştırma yapılmadı. Yağ asidi esterleri olarak insan vücuduyla uyumlu olan etil laurat, etil palmitat, etil miristat, izopropil laurat, izopropil palmitat, izopropil miristat seçildi [12, 13]. Organojelatör olarak *L*-izolösin temelli kiral tetraamit bileşiği, ilgili literatürde belirtildiği gibi sentezlenmiştir [14] (Şekil 1).



Şekil 1. Organojelatörün yapısı

2.1. Organojellerin hazırlanması

Organojelatörden 1 mg alınıp, 10 mm iç çapa sahip rodajlı kapaklı bir tüp içinde üzerine 1 mL çözücü (Yağ asidi esterleri: palmitik, laurik ve miristik asitin izopropil ve etil esterleri; organik çözücüler: n-dodekan, toluen, dietilen glikol, likit parafin, 1-dekanol, ksilen, kloroform ve anisol) konuldu. Organojelatör çözünene kadar yavaşça ısıtıldı ve ardından oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. 15 dakika sonra şeffaf jeller meydana geldi ve bunlar cam tüpün ters çevrilmesi ile stabil olarak kabul edildi [15].

2.2. Minimum jel konsantrasyonunun belirlenmesi

Jelleşme testi, daha önce bildirilen bir prosedürle gerçekleştirilmiştir [16]. 1 mg organojelatör, 1 mL çözücü içinde çözündürüldü. Bu çözelti, jelatör tamamen çözünene kadar jelleştirme sıvısının kaynama noktasının 20°C altına kadar ısıtıldı. Daha sonra, 25 °C'de termostatlı bir su banyosunda tutuldu. Yaklaşık 15 dakika sonra çözeltinin jel oluşturup oluşturmadığı kontrol edildi, oluşmıyorsa 1 mg daha jelatör eklendi ve jelleşme gerçekleşinceye kadar bu işleme devam edildi. Jelleşmenin meydana geldiği

konsantrasyon, minimum jelleşme konsantrasyonu (MJK mg/mL) olarak belirlendi. Bazı durumlarda, jelatörün çözücünün %10'undan fazlasında çözünür olduğu hallerde, jelatörün bu spesifik çözücü içinde çözünür olduğu sonucuna varılmıştır. Bazı durumlarda da jelatörün 1 mg'ı bile 1 mL çözücü içinde çözünmemiştir.

2.3. Jellerin erime noktasının belirlenmesi (T_g)

Jeller, 10 mm'lik bir iç çapındaki bir test tüpü içinde 1 mL organik çözücü içinde hazırlandı. Bu jellerin yüzeyine 0.25 g ağırlığında çelik bilye, sıcaklık kontrollü bir yağ banyosunda dikkatlice yerleştirilmiştir. Çelik bilye, tüpün dibine düşene kadar bu yağ banyosu 1 °C aralıklarla ısıtıldı. Bilyenin düşmeye başladığı sıcaklık, jelatörün erime noktası (jel-sol geçiş sıcaklığı) (T_g) olarak tespit edildi. Bu yöntem, farklı konsantrasyonlarda hazırlanan jelatörlerle tekrarlandı [17].

2.4. ΔH_g jelleşme entalpisi hesabı

Sol-jel geçiş entalpi değeri van't Hoff denkleminde hesaplanabilir (Eşitlik 1.) [18, 19]. Jelatörlerin jelleşme entalpi değerleri, $\ln \% C_g$ (jelatör derişimi %w olarak karşı $1/T_g$ değerinin grafiğe geçirilerek bulunan doğruların eğiminden belirlenir. Burada C_g , mol L^{-1} olarak jelatör konsantrasyonudur, T_g , faz geçiş sıcaklığıdır ve R, Rydberg gaz sabitidir ($R = 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$).

$$d \ln[C_g]/d(1/T_g) = -\Delta H_g/R \quad (1)$$

2.5. Jel yapısının SEM ile karakterizasyonu

Organojelatörlerin, kendi kendine oluşan nanofiberlerin birbirine dolanarak meydana getirdiği üç-boyutlu ağ yapısı sonucunda organojel oluşturduğu bilinmektedir [20]. Organojelatörlerin bu nanoyapıları, taramalı elektron mikroskobu teknolojisi kullanılarak gözlemlenebilir. Elektron mikroskobu analizleri (SEM) için örnek kuru bir jel numunesi, jellerden

çözücünün boşaltılmasını izleyen vakumda jelin kurutulması ile hazırlanır. Jeller freeze-dry ile vakumda 24 saat bekletildikten sonra, kserojel haline gelen jelatörün SEM görüntüsü alınır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Minimum jel konsantrasyonunun belirlenmesi

L-izolösin temelli kiral amit jelatörün, laurik asit etil (LEE) ve izopropil esteri (LİE), miristik asit etil (MEE) ve izopropil esteri (MİE), palmitik asit etil (PEE) ve izopropil esteri (PIE), ksilen, toluen, dietilen glikol, kloroform, anisol, 1-dekanol, n-dodekan ve likit parafin içinde jelleşme deneyleri yapılarak minimum jelleşme konsantrasyonu (MJK) değerleri tespit edildi. Buna göre jelatör yağ asidi esterleriyle yaygın çözücülere göre daha iyi jel oluşturma kapasitesine sahiptir. Yağ asidi esterlerinden MİE hariç hepsiyle düşük konsantrasyon değerlerinde jel oluşturmuştur. Yaygın çözücülerden ise dietilen glikol, 1-dekanol, ksilen ve kloroform hariç diğerleriyle jel vermiştir (Tablo 1, Şekil 2).

Tablo 1. Organojelatörün (MJK) değerleri (mg/mL)

Çözücü	Organojelatör
Etil Laurat	2
İzopropil Laurat	2
Etil Miristat	2
İzopropil Miristat	Jel vermedi
Etil Palmitat	2
İzopropil Palmitat	1
Anisol	5
n-dodekan	5
Likit Parafin	2
Toluen	2
Dietilen Glikol	Jel vermedi
1-dekanol	Jel vermedi
Ksilen	Jel vermedi
Kloroform	Jel vermedi



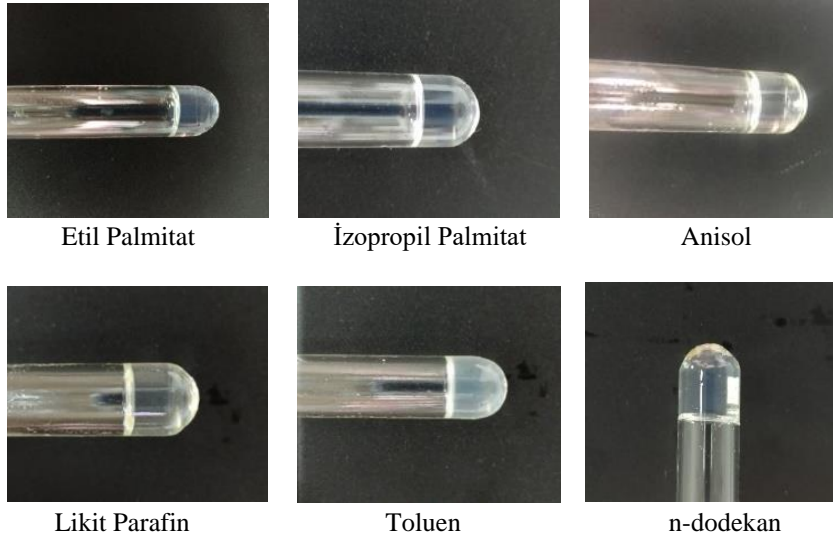
Etil Laurat



İzopropil Laurat



Etil Miristat



Şekil 2. Organojelatörün MJK'da çeşitli çözücülerde oluşturduğu jellerin fotoğrafları

3.2. Jellerin erime noktasının belirlenmesi (T_g)

Tablo 2 ve 3'de organojelatörün yağ asidi esterleri ve yaygın çözücüler içerisinde yapılan jellerinin, jelatörün jel içindeki % kütlesine (C_g) karşı olarak erime noktası (T_g) değişim değerleri gösterilmiştir. Şekil 3 ve 4'te ise grafikleri gösterilmiştir. Tablo 2 ve 3'ten de görüldüğü gibi jellerin T_g değerlerinin yağ asidi esterleri ile elde edilenlerin yaygın çözücüler ile elde edilen jellere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna göre T_g değeri en yüksek organojel, LEE ile elde edilendir. Organojelatörün yağ asidi esterleri ve yaygın

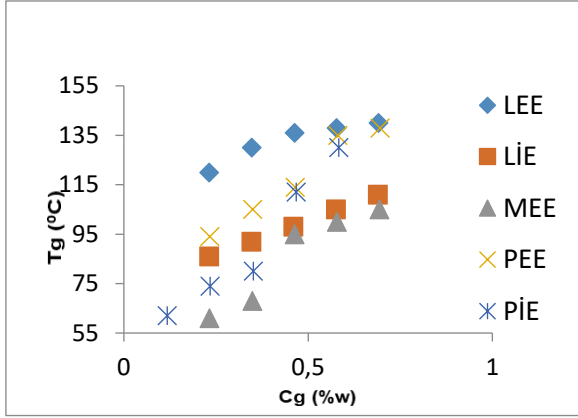
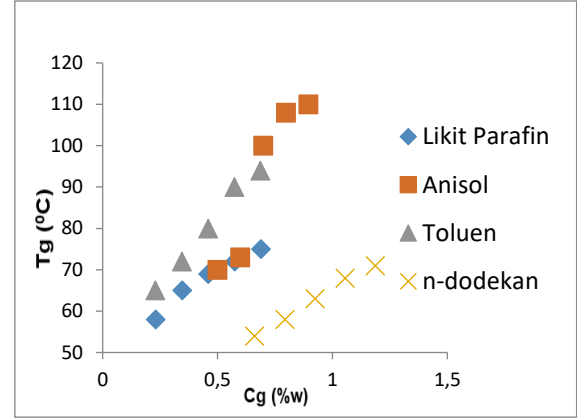
çözücüler içindeki jelleri için, T_g ile %w arasındaki değişim Şekil 3'de ve Şekil 4'de toplu olarak verilmiştir. Elde edilen değerlere göre T_g 'nin jelin derişimi ile arttığı tespit edilmiştir. Yağ asidi esterleri ile yapılan jelleri karşılaştırmada LEE, LİE, PEE ile elde edilen jellerin T_g 'sinin birbirine yakın olduğu ancak MEE ve PİE çözücülerini ile yapılan jellerin daha düşük T_g 'ye sahip olduğu görüldü. Yaygın çözücüler ile yapılan jellerin en yüksek ve en düşük T_g değerlerinin sırası ile anisol ve n-dodekan ile hazırlanan jelle ait olduğu gözlenmiştir.

Tablo 2. Jelatörün yağ asidi esterleriyle elde edilen jellerinin konsantrasyonlarına (C_g) karşılık erime noktaları (T_g) değişimi

Etil Laurat		İzopropil Laurat		Etil Miristat		Etil Palmitat		İzopropil Palmitat	
C_g	T_g ($^{\circ}$ C)	C_g	T_g ($^{\circ}$ C)	C_g	T_g ($^{\circ}$ C)	C_g	T_g ($^{\circ}$ C)	C_g	T_g ($^{\circ}$ C)
0.231	120	0.231	86	0.232	61	0.233	94	0.117	62
0.347	130	0.346	92	0.348	68	0.349	105	0.234	74
0.463	136	0.460	98	0.463	95	0.465	114	0.351	80
0.577	138	0.575	105	0.578	100	0.580	135	0.467	92
0.691	140	0.689	111	0.693	105	0.695	138	0.583	105

Tablo 3. Jelatörün yaygın çözücülerle elde edilen jellerinin konsantrasyonlarına (C_g) karşılık erime noktaları (T_g) değişimi

Likit parafin		Anisol		Toluen		n-dodekan	
C_g	T_g (°C)	C_g	T_g (°C)	C_g	T_g (°C)	C_g	T_g (°C)
0.231	58	0.500	70	0.230	65	0.662	54
0.346	65	0.599	73	0.345	72	0.794	58
0.460	69	0.699	100	0.459	80	0.925	63
0.575	72	0.798	108	0.573	90	1.055	68
0.689	75	0.896	110	0.687	94	1.186	71

**Şekil 3.** Organojelatinlerin yağ asidi esterleri ile elde edilen organojellerinin erime noktası değerlerinin (T_g) jelatörün derişimine C_g bağılı değişimi**Şekil 4.** Organojelatinlerin yaygın çözücüler ile elde edilen organojellerinin erime noktası değerlerinin (T_g) jelatörün derişimine C_g bağılı değişimi

3.3. Jelleşme entalpi hesabı (ΔH_g)

Organojelatinlerin yağ asidi esterleri ve yaygın çözücüler içerisinde yapılan jellerin $\ln C_g$ 'ye karşı $1/T_g$ değişim değerleri Tablo 4 ve 5'te verilmiştir. Şekil 5 ve 6'da da elde edilen grafikler verilmiştir. Çizilen doğruların eğimlerinden ΔH_g jelleşme

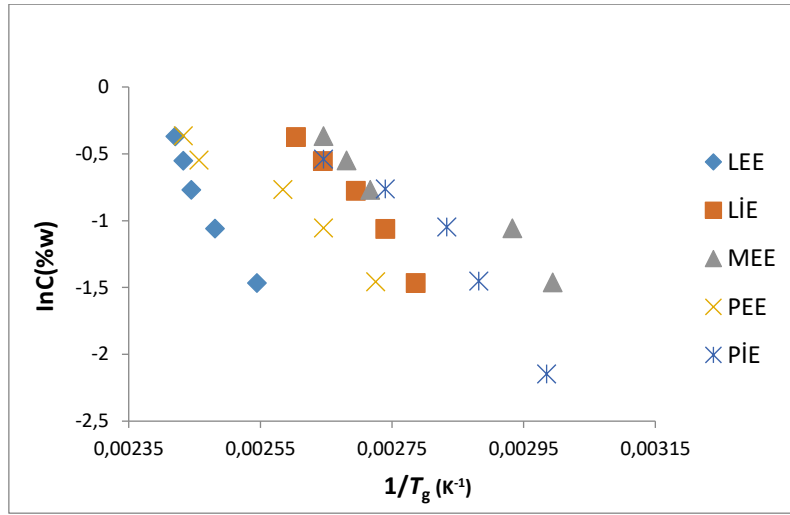
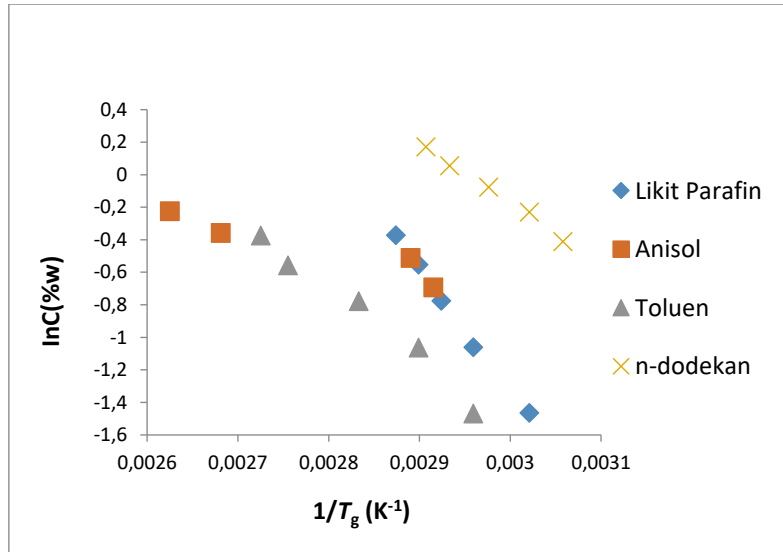
entalpisi değeri, van't Hoff bağıntısından belirlenerek Tablo 6'da verilmiştir. Şekil 5'de organojelatinlerin yağ asidi esterleri ve Şekil 6'da yaygın çözücüler içerisindeki jellerinin, $1/T_g$ (K^{-1}) ile $\ln C$ (%w) arasındaki değişimi toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4. Organojelatinlerin yağ asidi esterleri ile elde edilen organojellerinin, $\ln C_g$ (%w) karşı $1/T_g$ (K^{-1}) değişimi

Etil Laurat		İzopropil Laurat		Etil Miristat		Etil Palmitat		İzopropil Palmitat	
$\ln C_g$	$1/T_g$	$\ln C_g$	$1/T_g$	$\ln C_g$	$1/T_g$	$\ln C_g$	$1/T_g$	$\ln C_g$	$1/T_g$
-1.465	0.002545	-1.465	0.002786	-1.461	0.002994	-1.457	0.002725	-2.146	0.002985
-1.058	0.002481	-1.061	0.002740	-1.056	0.002933	-1.053	0.002646	-1.452	0.002882
-0.770	0.002445	-0.777	0.002695	-0.770	0.002717	-0.766	0.002584	-1.047	0.002833
-0.550	0.002433	-0.553	0.002645	-0.548	0.002681	-0.545	0.002457	-0.761	0.002740
-0.370	0.002421	-0.373	0.002604	-0.367	0.002646	-0.364	0.002433	-0.540	0.002646

Tablo 5. Organojelatörün yaygın çözücüler ile elde edilen organojellerinin, $\ln C_g$ (%w) karşı $1/T_g$ (K^{-1}) değişimi

Likit parafin		Anisol		Toluen		n-dodekan	
$\ln C_g$	$1/T_g$	$\ln C_g$	$1/T_g$	$\ln C_g$	$1/T_g$	$\ln C_g$	$1/T_g$
-1.465	0.003021	-0.693	0.002915	-1.470	0.002959	-0.412	0.003058
-1.061	0.002959	-0.512	0.002890	-1.064	0.002899	-0.231	0.003021
-0.777	0.002924	-0.358	0.002681	-0.779	0.002833	-0.078	0.002976
-0.553	0.002899	-0.226	0.002625	-0.557	0.002755	0.054	0.002933
-0.373	0.002874	-0.110	0.002611	-0.375	0.002725	0.171	0.002907

**Şekil 5.** Organojelatörün yağ asidi esterleri ile yapılan jellerinin van't Hoff grafikleri**Şekil 6.** Organojelatörün yaygın çözücüler ile yapılan jellerinin van't Hoff grafikleri

ΔH_g 'nin (jel-sol geçiş entalpisi) yüksek olması kararlı bir ağ yapısı verdiğini

göstermektedir. Tablo 6'daki değerlere bakıldığında en yüksek ΔH_g değerinin yağ asidi

esterleri içinde $70.430 \text{ kJ mol}^{-1}$ değeriyle LEE, en düşük $21.851 \text{ kJ mol}^{-1}$ ile MEE olduğu görülmektedir. Yaygın çözücüler içinde ise en yüksek ΔH_g değerinin $62.505 \text{ kJ mol}^{-1}$ değeriyle likit parafin, en düşük $12.360 \text{ kJ mol}^{-1}$ ile anisol olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Organojelatörün van't Hoff grafikleri kullanılarak bulunan sol-jel geçiş entalpi ΔH_g (kJ mol^{-1}) değerleri

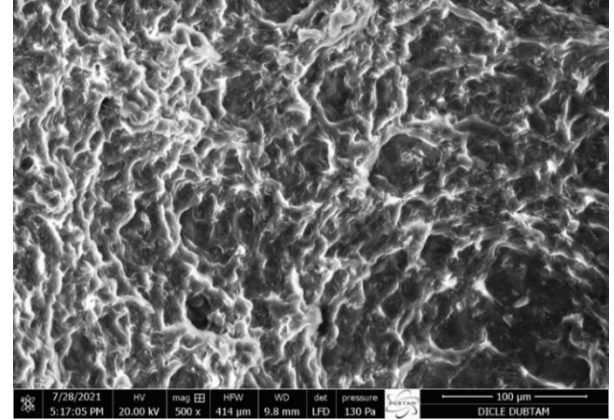
Çözücü	Organojelatör
LEE	70.430
LİE	48.782
MEE	21.851
PEE	28.283
PİE	39.140
Anisol	12.360
Likit Parafin	62.505
Toluen	36.434
n-dodekan	30.843

4. Sonuç ve Öneriler

Kullanmış olduğumuz organojelatör, yağ asidi esterlerinin hemen hepsiyle jel vermiştir ve minimum jelleşme konsantrasyon değerleri oldukça düşük bulunmuştur. Bu da organojelatörün çok düşük miktarının bile çözücüleri jelleştirdiğini göstermektedir. Bu nedenle hazırlanmış olduğumuz jel sistemleri; ilaç taşıyıcı sistemlerde, kozmetik sanayinde kullanılan birçok malzemenin hazırlanmasında potansiyel olarak kullanılabilirler. Hazırlanan jellerin konsantrasyonları arttıkça jellerin erime sıcaklıklarının artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu da jellerin istenilen çalışma sıcaklarında çalışmalarına olanak vermektedir. Kullanılan organojelatör, düşük mol kütleli olması sebebiyle vücuttan atılma kolaylığı yönünden polimerik jelatörlere kıyasla daha avantajlıdır. Ayrıca jelleşme olabilmesi için gerekli jelatör miktarının düşük olması, kozmesötik malzemeler

3.4. Jel yapısının SEM ile karakterizasyonu

Jellerin oluşturduğu ağ yapılarını görüntülemek için kserojel oluşturuldu. Bu amaçla kaynama noktası düşük olan toluen çözücüsü ile yapılan jel seçildi. Kserojel, freeze drying işlemiyle hazırlandı. Freeze drying 24 saat süresince uygulanarak numune SEM analizi için hazırlandı. Şekil 7'de görüntüsü çekilen kserojel yapısı gösterilmiştir. Jellerin oluşması için gereken ağ yapısı (network) fotoğrafta görünmektedir.



Şekil 7. Organojelatörün toluen ile yapılmış jelinin SEM görüntüsü

için bir avantaj olmaktadır. Jelleştirmede kullanılan çözücülerin sıvı parafin ve yağ asidi esterleri gibi ilaç endüstrisinde kullanılan çözücüler olması ve organojelatör yapısının, *L*-izolösin gibi amino asitinden oluşması, insan vücudunun tanıdığı peptit ve amit gibi fonksiyonel grupları içermesi nedeniyle hazırlanan organojeller biyoyoumludurlar.

Teşekkür

Bu çalışma Batman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından BTÜBAP-2018-FED-3 no'lu proje tarafından desteklenmiştir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] A. Vintilioiu and J. C. Leroux, "Organogels and their use in drug delivery—A review," *Journal of Controlled Release*, vol. 125, pp. 179-192, 2008.
- [2] M. Çolak, D. Barış, N. Pirinççioğlu and H. Hoşgören, "Novel bis(aminoalcohol)oxalamide organogelators and their diglycolyamide analogs: evaluation of gelation efficiency in various organic fluids," *Turkish Journal of Chemistry*, vol. 41, pp. 658-671, 2017.
- [3] N. Sangeetha and U. Maitra, "Supramolecular Gels: Functions And Uses," *Chemical Society Reviews*, vol. 34, pp. 821-836, 2005.
- [4] M. De Loos, B. L. Feringa and J. H. Van Esch, "Design and application of self-assembled low molecular weight hydrogels," *European Journal of Organic Chemistry*, vol. 17, pp. 3615-3631, 2005.
- [5] F. Fages, F. Vogtle and M. Zinic, "Systematic design of amide- and urea-type gelators with tailored properties," *Topics in Current Chemistry*, vol. 256, pp. 77-131, 2005.
- [6] T. Tachibana, T. Mori and K. Hori, "Long chain fatty acid gelator," *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, vol. 53, pp. 1714-1720, 1980.
- [7] S. Uzan, D. Barış, M. Çolak, H. Aydın and H. Hoşgören, "Organogels as novel carriers for dermal and topical drug delivery vehicles," *Tetrahedron*, vol. 72, pp. 7517-7525, 2016.
- [8] Y. Zhang, H. Gu, Z. Yang and B. Xu, "Supramolecular Hydrogels Respond to Ligand–Receptor Interaction," *Journal of the American Chemical Society*, vol. 125(45), pp. 13680-13681, 2003.
- [9] S. L. Zhou, S. Matsumoto, H. D. Tian, H. Yamane, A. Ojida, S. Kiyonaka and I. Hamachi, "pH-Responsive Shrinkage/Swelling of a Supramolecular Hydrogel Composed of Two Small Amphiphilic Molecules," *Chemistry A European Journal*, vol. 11, pp. 1130-1136, 2005.
- [10] S. K. Gupta, P. Bansal, R. K. Bhardwaj, J. Jaiswal and T. Velpandian, "Comparison of analgesic and anti-inflammatory activity of meloxicam gel with diclofenac and piroxicam gels in animal models: Pharmacokinetic parameters after dermal application," *Skin Pharmacology and Applied Skin Physiology*, vol. 15, pp. 105-111, 2002.
- [11] G. Tarun, B. Ajay, K. Bhawana, K. Sunil and J. Ravi, "Organogels: Advanced and novel drug delivery system," *Internatinal Research Journal of Pharmacy*, vol. 2(12), pp. 15-21, 2011.
- [12] B. D. White, J. Mallen, K. A. Arnold, F. R. Fronczek, R. D. Gandour, L. M. B. Gehrig and G. W. Gokel, "Peptide side-arm derivatives of lariat ethers and bibracchial lariat ethers: syntheses, cation binding properties, and solid state structural data," *The Journal of Organic Chemistry*, vol. 54, pp. 937-947, 1989.
- [13] V. Sanna, A. Mariani, G. Caria and M. Sechi, "Synthesis and evaluation of different fatty acid esters formulated into Precirol ATO-based lipid nanoparticles as vehicles for topical delivery," *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, vol. 57, pp. 680-684, 2009.
- [14] M. Sunkur, S. Aydın, T. Aral, B. Dağ and R. Erenler, "Preparation of new mono- and bis-amide derivatives of L-isoleucine via amidation of carboxyl and amino groups," *Organic Communications*, vol. 14(3), pp. 294-299, 2021.
- [15] K. Hanabusa, M. Yamada, M. Kimura and H. Shirai, "Prominent gelation and chiral aggregation of alkylamides derived from trans-1,2-diaminocyclohexane," *Angewandte Chemie International Edition*, vol. 35, pp. 1949-1951, 1996.
- [16] O. Gronwald and S. Shinkai, "Sugar-integrated gelators of organic solvents," *Chemistry A European Journal*, vol. 7, pp. 4328-4334, 2001.
- [17] Y. Xudong, Y. Li, Y. Yin and D. Yu, "A simple and colorimetric fluoride receptor and its fluoride-responsive organogel," *Materials Science Engineering: C*, vol. 32, pp. 1695-1698, 2012.
- [18] S. H. Seo and J. Y. Chang, "Organogels from ¹H-imidazole amphiphiles: Entrapment of a hydrophilic drug into strands of the self-assembled amphiphiles," *Chemistry of Materials*, vol. 17, pp. 3249-3254, 2005.
- [19] M. Suzuki, M. Yumoto, H. Shirai and K. Hanabusa, "Supramolecular gels formed by amphiphilic low-molecular-weight gelators of N-alpha,N-epsilon-diacyl-L-lysine derivatives," *Chemistry A European Journal*, vol. 14, pp. 2133-2144, 2008.

- [20] M. Suzuki, H. Saito and K. Hanabusa, “Two-component organogelators based on two L-amino acids: Effect of combination of L-amino acids on organogelation behavior,” *Langmuir*, vol. 25, pp. 8579-8585, 2009.

Classification of 1D and 2D EEG Signals for Seizure Detection in the Newborn Using Convolutional Neural Networks

Merve AÇIKOĞLU^{1*}, Seda ARSLAN TUNCER¹

¹Firat University Software Engineering Department

(ORCID: [0000-0001-8689-6917](https://orcid.org/0000-0001-8689-6917)) (ORCID: [0000-0001-6472-8306](https://orcid.org/0000-0001-6472-8306))



Keywords: Neonatal seizure, EEG signal, C4-P4 channel, Convolutional neural network

Abstract

Unlike adults, neonates do not always show clinical symptoms during seizures. Therefore, uncontrolled seizures lead to severe brain damage. Timely recognition of seizures plays a crucial role for neonates. In this study, a deep transfer learning approach was proposed for automatic detection of seizures on the C4-P4 channel using electroencephalography (EEG) signals from neonates. The EEG signals were used in 1D and 2D dimensions to ensure performance, robust functionality, and a clinically acceptable level of detection accuracy. The pre-trained deep learning models Alexnet, ResNet, GoogleNet and VggNet were used in the study. Spectrograms were obtained by converting 1-dimensional signal data into 2-dimensional images, and then classification was performed for both the 1D and 2D datasets. For 1D classification, the highest performance was obtained by VggNet architecture with 91.67%, while 2D classification was obtained by AlexNet and ResNet architecture with 95.83%. The use of spectrograms significantly improved classification performance and made neonatal seizure detection and decision-making more clinically reliable.

1. Introduction

An epileptic seizure is a clinical condition resulting from sudden and irregular electrical discharges in all or part of the brain. Seizures in neonates are often caused by problems such as oxygen deprivation, hemorrhage, meningitis, infection, and stroke [1]. Seizures in neonates have different clinical symptoms than those in children and adults. In addition, they do not always show clinical signs during seizures. The fact that seizures in the neonatal period are often associated with severe illness makes special treatment necessary. Uncontrolled seizures cause severe brain damage and affect long-term prognosis. Visual scanning of EEG data is usually done within a few days and is a time-consuming process. In addition, a good specialist is needed to analyze the entire length of the EEG recordings and detect epileptic activity. If seizures are not recognized in time and if they are not treated, in some cases this can lead to death. Therefore, it is crucial to identify seizures in neonates urgently

and initiate treatment. For these reasons, there is a need for computerized systems to assist experts in making decisions regarding the diagnosis of seizures [2].

Deep Learning is a class of machine learning algorithms that use multiple layers to progressively extract higher-level features from raw input. Most deep learning methods use neural network architectures. Convolutional Neural Networks (CNNs) eliminate the need for manual feature extraction in traditional machine learning methods, so you do not have to define the features used to classify images. CNNs work by extracting features directly from images. Relevant features are not pre-trained; they are learned while working on a network image collection. This automatic feature extraction makes deep learning models extremely accurate for computer vision tasks such as object classification. There are numerous clinical and technical studies in the literature for seizure detection [3, 4, 5]. In their study, Albayrak et al. aimed to detect the presence of epileptic activity in

*Corresponding author: mrvackgl@gmail.com

Received: 20.10.2021, Accepted: 02.02.2022

electroencephalogram (EEG) data and lay the foundation for software to aid in automatic diagnosis, with further software to be developed in the next phases [6]. Yıldırım et al. proposed a deep transfer learning approach for automatic diagnosis of diabetes mellitus (DM) using heart rate signals (HR) obtained from electrocardiogram (ECG) data. Signal analysis was performed in both 1D and 2D. In the study, the highest accuracy of 97.62% and sensitivity of 100% was achieved by using pre-trained deep learning methods [7]. In their study, Stevenson et al. determined the nonstationary periodic properties of electroencephalographic seizures by fitting their correlation estimates with time in both the time and time-frequency domains. It was integrated into a seizure detection algorithm (SDA) based on a support vector machine to detect episodes of seizures and unresponsiveness. The dataset used is from the Helsinki University Central Hospital. This dataset includes EEG recordings from neonatal and visual interpretation of the EEG by the specialist. The data were recorded from 79 neonatal using the NicoletOne EEG system. The recommended measures have high discriminatory power in detecting seizures [8]. Tuncer et al. a feature selection-based decision support system was developed to detect neonatal seizures using EEG signals. The highest performance was obtained by the C4-P4 channel with 98.8% [9]. Ullah et al. proposed a system for automatic diagnosis of epilepsy consisting of a collection of pyramidal one-dimensional convolutional neural networks. The proposed P-1D-CNN model is not only suitable for the detection of epilepsy, but can also be used in the development of robust expert systems for other similar diseases. In the study, 99% accuracy was achieved in almost all cases [10]. Yıldırım et al. proposed a new deep one-dimensional convolutional neural network (1D CNN) for automatic detection of normal and abnormal EEG signals. The developed model resulted in an error rate of 20.66% in classifying normal and abnormal EEG signals [11]. Hongshuai et al. designed a deep multiscale fusion CNN model based on an extended fusion kernel to classify these three states: normal, preictal, and ictal. The CNN model achieved 98.67% accuracy, 99% sensitivity, and 98% specificity [12]. In their study, Acharya et al. applied a 13-layer deep convolutional neural network (CNN) algorithm to detect the classes normal, preictal, and ictal. The dataset is from the University of Bonn, Germany. The data consists

of continuous multichannel EEG recordings obtained from 5 patients. The proposed technique provided 88.67%, 90% and 95% accuracy, specificity and sensitivity, respectively [13]. Romero et al. showed that functional near infrared spectroscopy (fNIRS) can be used to predict epileptic seizures. The proposed method showed better results than EEG-based methods in detecting epileptic seizures. The study found that the deep learning application is suitable for this problem [14]. O'Shea et al. proposed a fully convolutional based model for neonatal seizure detection from raw EEG. The model showed better results than the latest technology without feature engineering [15]. Ryu et al. developed a new seizure detection algorithm using machine learning for single channel EEG [16].

This work is a continuation of our earlier work. Therefore, the results of other channels were not included in the study and the best results were obtained with the C4-P4 channel [9]. Therefore, Deep Learning methods were used only in the C4-P4 channel to detect epileptic seizures in Neonatal. For better performance, classification of the dataset was performed in both 1D and 2D using AlexNet, GoogleNet, ResNet, VggNet, pre-trained Deep Learning architectures. The EEG signal data was converted into spectrogram images for the pre-trained Deep Learning architectures. In this way, both higher classification accuracy and pre-trained Deep Learning architectures were trained with one dataset (40 normals and 40 patients).

1.1 Novelties and Contributions

In this article, pre-trained models using EEG signals are used to detect seizures in neonates. Additional studies were added to the literature. However, the application of the proposed method to the dataset used was not found.

Novelties;

- The use of spectrogram images obtained from EEG signals to detect seizures in neonatal is the most important innovation.

- Seizure detection was performed using the C4-P4 channel, which provided the highest accuracy value, rather than using all EEG channels.

Contributions of this study;

- Although manual feature extraction is effective, the use of CNN models provides high accuracy when evaluating complex signals such as EEG.

- Using spectrogram images from EEG signals is a simple and effective transformation. By using spectrogram images, higher accuracy has been

achieved compared to classification of 1D signals.

- The recommended approach to detect neonatal seizures is an alternative method that helps physicians.

2. Material and Method

Two different datasets were used for the study. The first dataset is from the NICU (Neonatal Intensive Care Unit) of the Finnish Children's Hospital, the central hospital of the University of Helsinki. The data consists of 79 full term neonatal. The sampling frequency of the data is 256 Hz and their average age is 3 days. The EEG recordings were evaluated by 3 experts and it was unanimously decided that 40 patients had seizures and 22 patients did not.

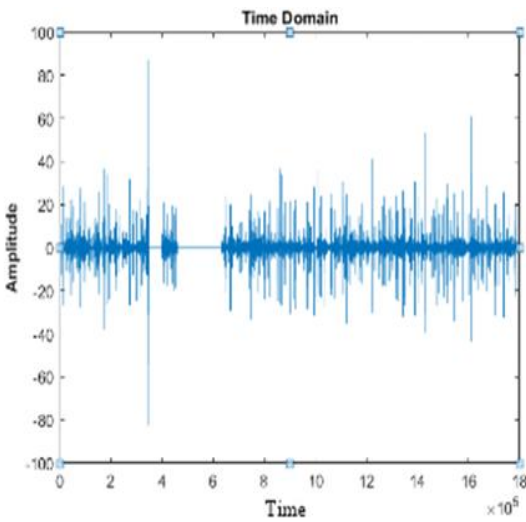


Figure 1. 1D EEG signal image

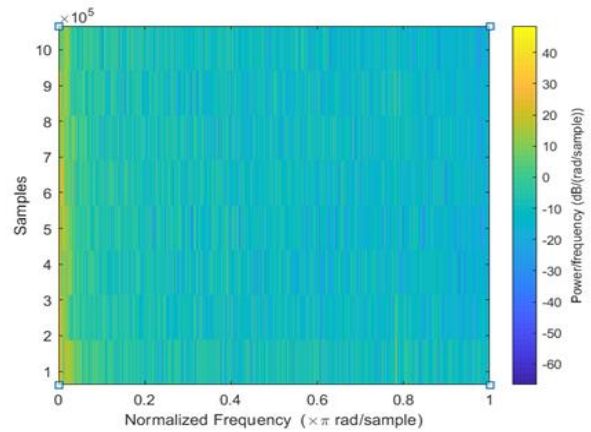


Figure 2. 2D EEG signal image

The second data set consists of data recorded during sleep hours of 18 neonatal without seizures, randomly selected from 100 records in 10 age groups. The data were recorded at the University of Jena in Germany as part of the project on automated EEG assessment of neonatal brain development. In total, the dataset includes 40 normal and 40 patient neonatal data. Figure 1 and Figure 2 show 1D and 2D signal images, respectively. The size of the images is 524 x 410 on average.

Classification is a data mining function that assigns features in a collection to specific categories or classes. The purpose of classification is to accurately predict the target class for each sample in the data. In this study, a CNN model, one of the most popular Deep Learning methods, was used to classify EEG signals from neonatal. A CNN combines learned features with input data and uses 2D convolutional layers, making this architecture very suitable for processing 2D data such as images. Spectrogram images are used to train and test pre-trained models. In this study, 1-dimensional EEG signal data was transformed into 2-dimensional spectrogram images using the pre-trained deep learning architectures AlexNet, GoogleNet, ResNet50, Vgg16 and Vgg19 with Short Term Fourier Transform and signal analysis was performed in both 1D and 2D. 70% of the data was used for training and 30% for testing. Figure 3 shows the application steps.

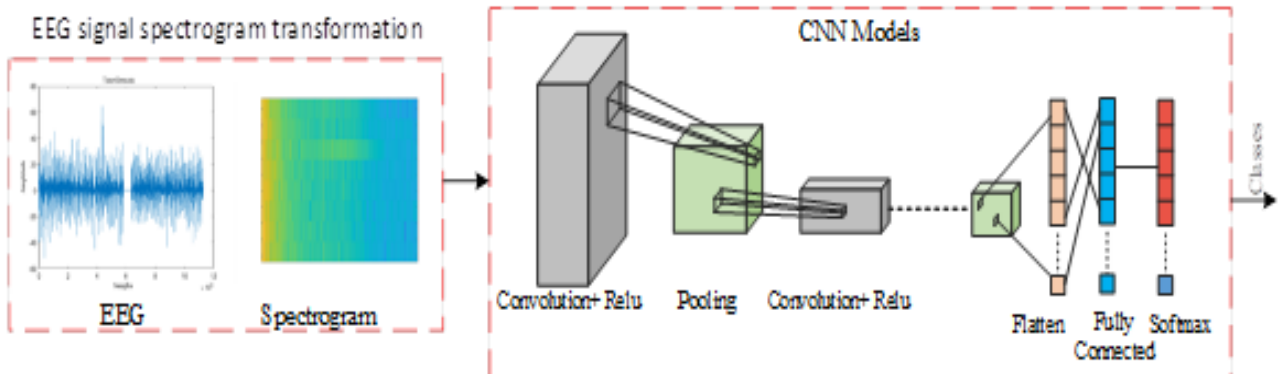


Figure 3. Application steps

2.1. 1D & 2D CNN Model

A pre-trained CNN model was used to classify EEG signals. 1-dimensional images of EEG signal data were obtained and trained and tested after introducing them into pre-trained Deep Learning architectures (AlexNet, GoogleNet, ResNet, VggNet). Figure 4 shows 1D signal images of a neonatal with and without seizures, respectively.

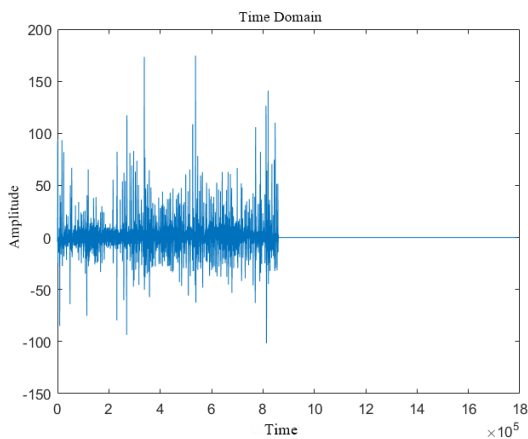


Figure 4.a) Sample 1D C4-P4 signal of a seizure neonates

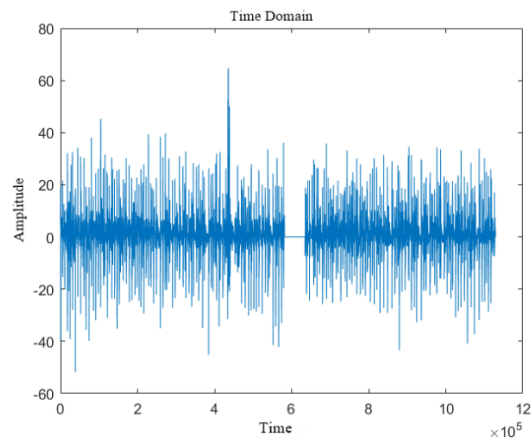


Figure 4.b) 1D C4-P4 signal of a seizure without neonates

EEG signals were converted into images that can be processed with pre-trained 2D CNN models to improve classification performance. Popular pre-trained models such as AlexNet, VggNet, GoogleNet and ResNet50 were trained and tested on this image data. Therefore, the short-time Fourier transform was applied to 1D EEG signals to obtain 2D images with visual representations of frequency spectrograms. When visually viewing the spectrogram images, it is difficult to distinguish between neonatal with and without seizures.

Deep learning can achieve the best recognition performance by extracting abstract features from these spectrogram images. Figure 5 shows spectrogram images of C4-P4 signals from a neonatal with and without seizures, respectively.

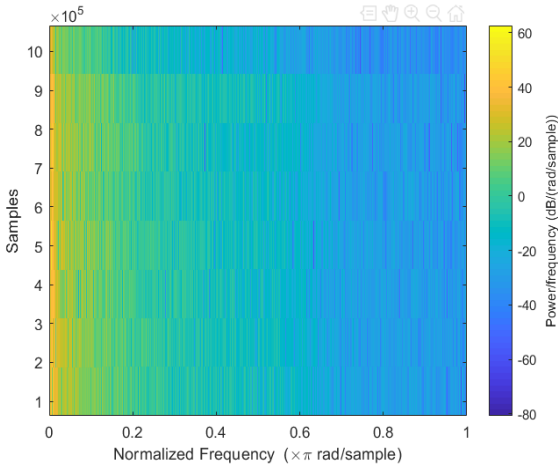


Figure 5.a) Spectrogram Image of a seizure without neonates

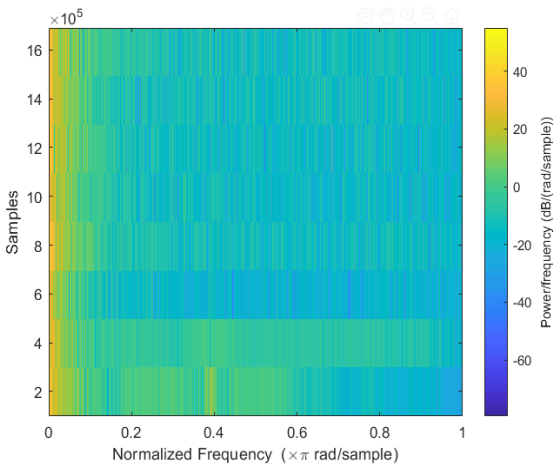


Figure 5.b) Spectrogram Image of a Seizure Neonates

2.2. Convolutional Neural Networks

The Convolutional Neural Network (CNN), a multilayer feedforward artificial neural network, is particularly used for image analysis. Alexnet is a deep learning architecture developed by Krizhevsky et al. and consists of 25 layers. It includes an input layer, five convolutional layers, three pooling layers, two dilution layers, three fully linked layers, seven ReLU layers, two normalization layers, and one classification layer. The input layer image is 227x227x3. ReLU is used as the activation function and maximum pooling is used in the pooling layer. The architecture of AlexNet is shown in Figure 6 [17].

A CNN combines learned features with input data and uses 2D convolutional layers, making this architecture well suited for processing 2D data such as images. CNNs eliminate the need for manual feature extraction, so you do

not have to define features that are used to classify images. CNN works by extracting features directly from images. Associated features are not trained in advance; the network learns as it works with a collection of images. This automatic feature extraction makes Deep Learning models extremely sensitive to computer vision tasks such as object classification.

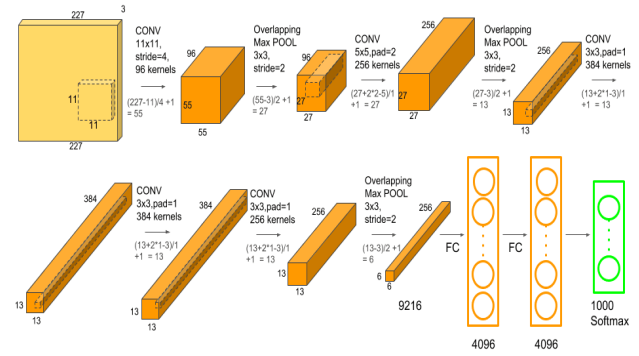


Figure 6. AlexNet architecture [18]

GoogleNet was the winner of the ILSVRC competition in 2014. GoogleNet (Inception) has a complex structure [19]. It achieved high performance with a low error rate of 5.7%. It has a depth of 22 layers and GoogleNet has a structure of 144 layers. By filtering in different dimensions with the inception module, it has revealed a formation that is different from the previously appeared Deep Learning architectures. To optimize the quality, the architectural decisions are based on the Hebbian principle and the intuition of multiscale processing.

It is a model developed by the Visual Geometry Group (VGG) at the College of Oxford. In Vgg16, smaller filters (3x3) were used in the convolutional layers instead of large filters (11x11, 9x9) as in AlexNet. VGG has 13 convolutional layers and 3 fully bound layers. There are 5 max-pooling layers with 2x2 dimensions and a softmax layer in the last layer. Vgg66, which uses ReLU as the activation function, contains 138 million parameters, while Vgg19 contains about 144 million parameters. It has 16 convulsive layers and 3 fully linked layers [20].

ResNet50 to solve the problem of training difficulty with increasing depth of network structure in CNNs. Instead of mapping the nonlinear function $F(x)$ in normal CNNs, it adds the input value (x) to the function $F(x)$ as an arithmetic function $(F(x) + x)$ by linking from the

input (x) to the output and bypassing certain layers. In this way, the training process is simplified. The Resnet50 model has a 50-layer structure [21].

2.3 Performance Evaluation

In the literature, many methods are used to evaluate the performance of the models. Therefore, the classification performances of the models in the study were evaluated using the indicators of sensitivity, specificity and AUC. Complexity Matrix was used in the calculation of the indicators. The calculation of the performance evaluation criteria is shown in Table 1 [22].

Table 1. Performance evaluation parameters

		Predicted Class		
		A ES (+)	A ES (-)	
Actual Class	A ES (+)	True Positive (TP)	False Negative (FN) Type II Error	Sensitivity $\frac{TP}{TP+FN}$
	A ES (-)	False Positive (FP) Type I Error	True Negative (TN)	Specificity $\frac{TN}{TN+FP}$
		Precision $\frac{TP}{TP+FP}$	F-measure $\frac{2TP}{2TP+FN+FP}$	Accuracy $\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN}$

3. Results and Discussion

In this study, signal analysis was performed in both 1D and 2D. After training the 1D-CNN model, the best classification accuracy was achieved by the VggNet architecture with 91.67%, while the lowest classification accuracy was achieved by the GoogleNet architecture with 75%. Table 2 shows the classification performance of the different Deep Learning architectures according to the 1D-CNN model.

Table 2. 1D classification performance of deep learning methods

	TPR	SPC	P	FNR	F1	ACC
AlexNet	90.00 %	78.57 %	75.00 %	10.00 %	81.82 %	83.33 %
Google Net	80.00 %	71.43 %	66.67 %	20.00 %	72.73 %	75.00 %
Vgg16	91.67 %	91.67 %	91.67 %	8.33 %	91.67 %	91.67 %
Vgg19	100.00 %	85.71 %	83.33 %	0.00 %	90.91 %	91.67 %
ResNet 50	78.57 %	90.00 %	91.67 %	21.43 %	84.62 %	83.33 %

Figure 7 and Figure 8 show the graphs of training and testing accuracy and loss rate of AlexNet architecture according to 1D CNN classification. The CNN model completed the training process in three periods with no overcompatibility problems for one-dimensional EEG signals.

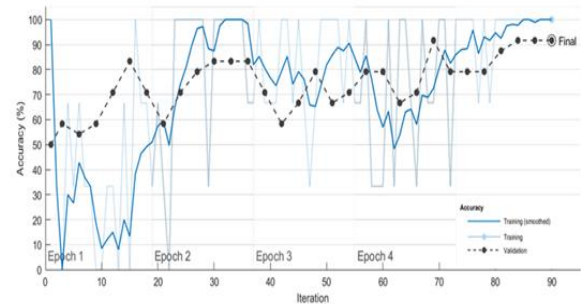


Figure 7. Training accuracy change of 1D CNN Model

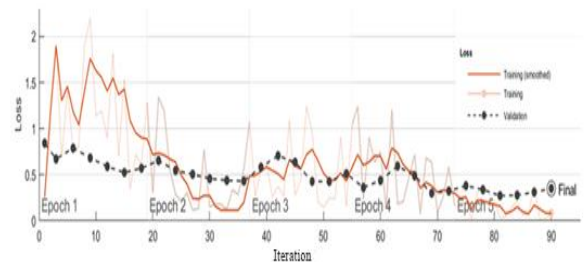


Figure 8. Training loss change of 1D CNN Model

After training, the best classification accuracy of the 2D CNN model from pre-trained deep learning architectures was achieved by the AlexNet and ResNet architectures with 95.83%, while the lowest performance was achieved by the GoogleNet architecture with 83.33%. Table 3

shows the classification performance of different deep learning architectures according to 2D CNN model.

Table 3. 2D classification performance of deep learning methods

	TPR	SPC	P	FNR	F1	ACC
AlexNet	100.0	92.31	91.67	0.00	95.65	95.83
	0%	%	%	%	%	%
GoogleNet	78.57	90.00	91.67	21.43	84.62	83.33
	%	%	%	%	%	%
Vgg16	100.0	85.71	83.33	0.00	90.91	91.67
	0%	%	%	%	%	%
Vgg19	85.71	100.0	100.0	14.29	92.31	91.67
	%	0%	0%	%	%	%
ResNet50	92.31	100.0	100.0	7.69	96.00	95.83
	%	0%	0%	%	%	%

Figure 9 and Figure 10 show the graphs of training and testing accuracy and loss rate of the AlexNet architecture according to the 2D-CNN classification. The training process was completed in five periods

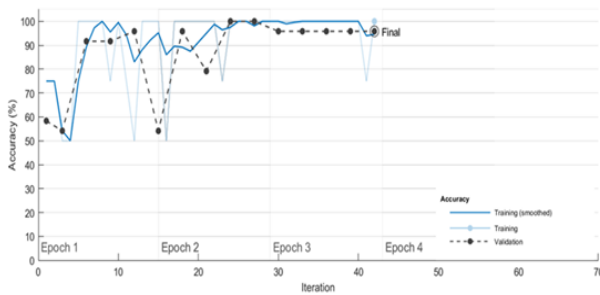


Figure 9. Training accuracy change of 2D CNN Model

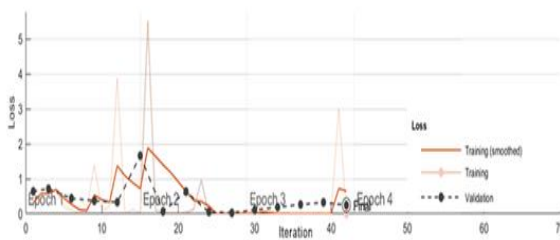


Figure 10. Training loss change of 2D CNN Model

In this study, using CNN, one of the Deep Learning methods, a single channel classification (on the C4-P4 channel) was performed from the EEG signals of neonatal with and without seizures. By converting 1-dimensional signal images into 2-dimensional signal images, signal analysis was performed in both 1D and 2D, and then their

performance was compared. The study compared the performance of the models in classification using pre-trained deep learning architectures such as AlexNet, GoogleNet, Vgg16, Vgg19, ResNet50.

Since feature extraction is a process that directly affects classification performance, attempts are made to obtain better results by applying many CNN models to EEG signals. For the 1D CNN model, the highest classification accuracy of the pre-trained deep learning architectures was achieved by the Vgg16 and Vgg19 architectures with 91.67%, while the lowest classification accuracy was achieved by the GoogleNet architecture with 75%. (Table2). For the 2D CNN model, the highest classification accuracy of the pre-trained deep learning architectures was achieved by the ResNet50 architecture with AlexNet with 95.83%, while the lowest classification accuracy was achieved by the GoogleNet architecture with 83.33% (Table 3). The Vgg16 and Vgg19 architectures provided similar classification performance in both models. The GoogleNet architecture was found to be more unsuccessful in both models compared to other Deep Learning architectures.

All results showed that 2D signal analysis provides better performance than 1D signal analysis. The study showed that instead of using the features of all EEG channels, each channel was more successful in classification according to its individual features. The performance of all channels was evaluated and it was concluded that the best differentiation was obtained with the C4-P4 channel. This shows that the C4-P4 channel can represent the problem well. So the classification was done with less number of channels instead of all channels. The result obtained makes the study valuable in terms of reducing the cost and reducing the amount of data (Table 2).

Alexnet is a shallower model compared to ResNet and Densenet. When examining the results, one concludes that increasing the model depth does not always lead to a better result. In this case, we can assume that the Vgg19 model has a better feature vector than ResNet for the data used. (The loss function is the function that measures the error rate of the designed model as well as its performance. The last layer of deep networks is the layer where the loss function is defined). In Table 4, different studies using the same dataset were examined and compared.

Table 4. Studies on the same data set

Reference	Year	Method	Result
[8]	2019	In this study, a support vector machine-based seizure detection algorithm was used to detect periods of seizures and unresponsiveness.	SVM=%95,5
[9]	2020	In this study, a feature selection-based decision support system was developed to detect neonatal seizures based on EEG signals. The performance of all EEG channels and feature selection algorithms were tested.	KNN=%98,8
[16]	2020	In this study, four different machine learning-based seizure detection algorithms are compared, with the cosine K nearest neighbour algorithm showing the greatest potential for suitable clinical application for neonatal seizure detection.	ROC = %91

The advantages of the method are as follows:

-CNN models have been used to detect seizures in neonatal. The method is simple and useful.

-The C4-P4 channel, one of the EEG signals, has been used to detect seizures in neonatal.

-Classification results obtained by obtaining spectrograms of the EEG signals have higher accuracy than classification performed with raw EEG signals (1D).

-Developers and researchers can easily apply the proposed method to various problems.

4. Conclusions

In this study, a deep transfer learning-based approach was proposed using normal and spectrogram images from the C4-P4 channel in the EEG signals of neonatal with and without seizures. Signal analysis was performed in both 1D and 2D and then compared. In both approaches, the most popular pre-trained deep learning architectures

Alexnet, GoogleNet, Resnet and VggNet were used. In the study, the highest classification accuracy was 91.67% in the 1D CNN model, while it increased to 95.83% in the 2D CNN model. Classification was performed using the data series used in the literature, but for the first time in this study, high performance was achieved by using Deep Learning methods.

Contributions of the authors

All authors contributed equally to the study.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The study is complied with research and publication ethics

References

- [1] A. Temko, E. Thomas, W. Marnane, G. Lightbody and G. Boylan "EEG-based neonatal seizure detection with support vector machines," *Clinical Neurophysiology*, vol. 122, no. 3, pp: 464-473, 2011.
- [2] E.P. Yıldız B. Tatlı, N. Aydınli, M. Çalışkan and M. Özmen "Yeni doğan konvülziyonları," *Çocuk Dergisi*, vol. 13, no. 3, pp: 89-94, 2013.
- [3] P. Boonyakitanont, A. Lek-uthai, K. Chomtho and J. Songsiri, "A review of feature extraction and performance evaluation in epileptic seizure detection using EEG," *Biomedical Signal Processing and Control*, vol. 57, pp: 101702, 2020.
- [4] R. Mouleeshwarappabu and N. Kasthuri, "Nonlinear vector decomposed neural network-based EEG signal feature extraction and detection of seizure," *Microprocessors and Microsystems*, vol. 76, pp: 103075, 2020.
- [5] B.P. Prathaban and R. Balasubramania, "Dynamic learning framework for epileptic seizure prediction using sparsity-based EEG reconstruction with optimized CNN classifier," *Expert Systems with Applications*, vol. 170, pp: 114533, 2021.

- [6] M. Albayrak and E. Köklükaya, “Eeg sinyallerindeki epileptiform aktivitenin veri madenciliği süreci ile tespiti,” *Technological Applied Sciences*, vol. 4, no. 1, pp: 1-12, 2009.
- [7] Ö. Yıldırım, M. Talo, B. Ay, U.B. Baloğlu, G. Aydın and U.R. Acharya, “Automated detection of diabetic subject using pre-trained 2D-CNN models with frequency spectrum images extracted from heart rate signals,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 113, pp: 103387, 2019.
- [8] N.J. Stevenson, K. Tapani, L. Lauronen and Vanhatalo. S, “A dataset of neonatal EEG recordings with seizure annotations,” *Scientific Data*, vol. 6, pp: 190039, 2019.
- [9] M. Açıkoğlu and S.A. Tuncer, “Incorporating feature selection methods into a machine learning-based neonatal seizure diagnosis,” *Medical Hypotheses*, vol. 135, pp: 0306-9877, 2020.
- [10] I. Ullah, M. Hussain and E. Qazi, “Aboalsamh H. An automated system for epilepsy detection using EEG brain signals based on deep learning approach,” *Expert Systems with Applications*, vol. 107, pp: 61-71, 2018.
- [11] Ö. Yıldırım, U.B. Baloglu and U.R. Acharya, “A deep convolutional neural network model for automated identification of abnormal EEG signals,” *Neural Comput & Applic*, vol. 32, pp: 15857–15868, 2020.
- [12] H. Qin, B. Deng, J. Wang, G. Yi, R. Wang and Z. Zhang, “Deep multi-scale feature fusion convolutional neural network for automatic epilepsy detection using EEG signals,” *39th Chinese Control Conference (CCC), Shenyang, China*, pp: 7061-7066, 2020.
- [13] U. R. Acharya, L. O. Shu, Y. Hagiwara, H. T. Jen and H. Adeli, “Deep convolutional neural network for the automated detection and diagnosis of seizure using EEG signals,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 100, pp: 270-278, 2018.
- [14] R. Rosas-Romero, E. Guevara, K. Peng, D.K. Nguyen, F. Lesage, P. Poulio and W-E, “Prediction of epileptic seizures with convolutional neural networks and functional near-infrared spectroscopy signals,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 111, pp: 103355, 2019.
- [15] A. O’Shea, G. Lightbody, G. Boyla and A. Temko, “Neonatal seizure detection from raw multi-channel EEG using a fully convolutional architecture,” *Neural Networks*, vol. 123, pp: 12-25, 2020.
- [16] S. Ryu, S. Back, S. Lee, H. Seo, C. Park, K. Lee and DS. Kim, “Pilot study of a single-channel EEG seizure detection algorithm using machine learning,” *Childs Nerv Syst*. vol. 37, no. 7, pp: 2239-2244, 2021.
- [17] A. Krizhevsky, I. Sutskever and G.E. Hinton, “Imagenet classification with deep convolutional neural networks,” *In Advances in neural information processing systems*, vol. 25, no. 2, pp: 1097-1105, 2012.
- [18] B. Buyukarikan and E. Ülker, “Aydınlatma özneteliği kullanılarak Evrişimsel Sinir Ağı modelleri ile meyve sınıflandırma,” *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*. vol. 25, pp: 81-100, 2020.
- [19] C. Szegedy et al, “Going deeper with convolutions,” *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Boston, MA, USA*,1-9, 2015.
- [20] K. Simonyan and A. Zisserman, “Very deep convolutional networks for large-scale image recognition” arXiv preprint arXiv:1409-1556, 2014
- [21] S. Zagoruyko and K. Nikos, “Wide residual networks,” arXiv preprint 27. arXiv:1605-07146, 2016
- [22] S. Toraman, S.A. Tuncer and F. Balgetir, “Is it possible to detect cerebral dominance via EEG signals by using deep learning?,” *Medical Hypotheses*, vol. 131, pp: 109315, 2019.

Evrişimli Sinir Ağı ile Çeltik Bitkisi Hastalığının Tespiti

İrfan ÖKTEN^{1*}, Uğur YÜZGEÇ²

¹Bitlis Eren Üniversitesi, Tatvan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Bitlis

²Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bilecik
(ORCID: [0000-0001-9898-7859](https://orcid.org/0000-0001-9898-7859)) (ORCID: [0000-0002-5364-6265](https://orcid.org/0000-0002-5364-6265))



Anahtar kelimeler: Derin öğrenme, Evrişimli sinir ağı, Hassas tarım, Yapay zekâ, Çeltik bitkisi.

Öz

Dünya çapında pirinç tüketimi göz önüne alındığında pirincin önemli bir yere sahip olduğu görülür. Çeltik bitkisi, buğdaygiller ailesinden mısır ve buğdaydan sonra en fazla ekimi yapılan bitkidir. Tarım alanındaki son araştırma konularından biriside, bir bitkinin yaprak görüntülerinden hastalıkların tanınması veya sınıflandırılmasıdır. Yaprak görüntülerinden çeltik hastalığının otomatik bir şekilde teşhis edilmesi, geliştirme aşamasında olan bir araştırma konusudur. Bu gelişime katkı sağlamak amacıyla farklı öğrenme yöntemleri kullanılarak hastalığın erken teşhisi için önemli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada temel olarak hastalıkları tespit etmek için bir makine öğrenme yöntemi olan derin öğrenme modelleri kullanılmıştır. Bu çalışmada derin Evrişimli Sinir Ağı (ESA) kullanılarak çeltik bitkisinin hastalıklı olup olmadığı tespit edilmiştir. Çalışmada kullanılan 5000 adet çeltik bitkisi yaprağına ait veri seti Kaggle sitesinden alınmıştır. Hastalığın tespiti için çeltik bitkisine ait üç hastalık (BrowSpot, LeafBlast ve Hispa) ve sağlıklı olmak üzere toplam iki sınıflı sınıflandırma yapılmıştır. Çeltik bitkisinin hastalığının tespiti için kullanılan ESA'nın hiper-parametrelerinde değişiklik yapılarak %91,54'lük bir başarı oranı elde edilmiştir. Veri artırma yöntemiyle veri setindeki 5000 görüntüden 8000 çeltik bitki yaprağı görüntüsü elde edilmiş ve ESA için bu görüntüler üzerinden yapılan eğitimden sonra %94,87'lik bir başarı oranı elde edilmiştir. Kullanılan veri setindeki görüntüler üzerinden ön işlem yapıldıktan sonra ESA ile eğitim işleminden sonra %97,57'lik bir başarı oranı elde edilmiştir.

Detection of Disease of Rice Plant with Convolutional Neural Network

Keywords: Deep learning, Convolutional Neural network, Precision agriculture, Artificial intelligence, Rice plant.

Abstract

Considering the worldwide rice consumption, it is seen that rice has an important place. The rice plant is the most cultivated plant after corn and wheat from the grass family. One of the latest research topics in agriculture is the recognition or classification of diseases from images of a plant's leaves. Automatic diagnosis of rice disease from leaf images is a research subject under development. In order to contribute to this development, important studies are carried out for the early diagnosis of the disease by using different learning methods. In this study, deep learning models, which is a machine learning method, were used to detect diseases. In this study, it was determined whether the rice plant was diseased or not by using the deep Convolutional Neural Network (CNN). The data set of 5000 rice plant leaves used in the study was taken from the Kaggle website. In order to detect the disease, a total of two classifications were made as three diseases of the rice plant (BrowSpot, LeafBlast and Hispa) and healthy. An accuracy rate of 91.54% was obtained by modifying the hyper-parameters of ESA, which is used to detect the disease of rice plant. With the data augmentation method, 8000 rice plant leaf images were obtained from 5000 images in the data set and an accuracy rate of 94.87% was

*Sorumlu yazar: iokten@beu.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.10.2021, Kabul Tarihi: 11.02.2022

obtained after training on these images for ESA. After preprocessing on the images in the used dataset, an accuracy rate of 97.57% was obtained after training with ESA.

1. Giriş

Dünya nüfusunun artmasıyla tarım ürünlerindeki toplam mahsul önem kazanmıştır. Bu nedenle toplam mahsulü etkileyen bitki hastalıklarının tespiti de önemli araştırma konuları arasına girmiştir. Bitki hastalıkları, tarım ürünlerindeki verimi ve kaliteyi düşüren nedenlerden biridir [1]. Hem verim hem de kalitenin düşmesine neden olan bu hastalıkların önüne geçilmediği takdirde elde edilen toplam mahsul doğrudan etkileneyecektir. Temel sorun bitkilerin düzenli aralıklarla izlenememesidir. Bitkide çıkabilecek hastalıkların, hava şartlarına göre senelik değişkenlik arz ettiği için sürekli izlenmesi önemlidir. Özellikle bu çalışma konusu olan çeltik bitkisi gibi sulak alanlarda yetişen bitkilerin izlenmesi diğer bitki türlerine göre biraz daha zordur. Bu çalışma, dünyada hemen hemen her ülkede tüketilen çeltik bitkisinin hastalıklarını yapay zekâ yöntemlerinden biri olan derin öğrenme yöntemleriyle tespit etmek üzerinedir. Genellikle bitkilerde görünen hastalıklar çeşitli mantar, bakteri veya virüsler neden olmaktadır. Çeltik bitkilerinde bulunan en yaygın hastalıklar ise Bakteriyel Yaprak Yanığı (Bacterial Leaf Blight), Kahverengi Leke (Brown Spot), Yaprak İsi (Leaf Smut), Yaprak Patlaması (Leaf Blast) ve Kovan Yanığı (Sheath) hastalıklarıdır [2]. Bu hastalıklar yetiştirilen bölgeye göre farklılıklar göstermektedir. Bu hastalıkların bazıları belirli bölgelerde hiç görülmemektedir. Bu yüzden tüm hastalıkların sınıflandırılması için gerekli olan verilerin elde edilmesi zorlaşmaktadır. Bu çalışmada temel olarak elde edilen veri setine göre iki sınıflandırma yapılacaktır. Brown Spot, Hispa ve Leaf Blast hastalıklarına ait görüntüler hastalıklı ilk sınıf, sağlıklı çeltik bitkilerine ait görüntülerde sağlıklı ikinci sınıf olacak şekilde toplam iki sınıflandırma işlemi yapılacaktır. Çeltik bitkisi hastalıkları renk, boyut ve şekil olarak birbirlerinden ayrılmaktadır.

Derin öğrenme teknikleri, günümüzde tarım alanlarındaki hastalıkların tespitinde büyük umut vaat etmektedir. Son yıllarda bu teknikler çay [3], elma [4], domates [5], asma, seftali ve armut [6], buğday [7] hastalıklarını analiz etmek için kullanılmaktadır.

Bhagawati, Bhagawati, Singh, Nongthombam, Sarmah ve Bhagawati (2015) [8], çeltik patlaması hastalığını tahmin etmek için sıcaklık, bağıl nem, yağış ve rüzgâr hızı gibi hava parametreleriyle bir sinir ağını eğitmiştir. Mohanty, Hughes ve Salathé (2016) [9] 26 hastalığı temsil eden 14 mahsul türünün 54.306 görüntüsünü kullanarak yapraklardan hastalığı tespit etmek için derin ESA kullanırken, Sladojevic, Arsenovic, Anderla, Culibrk ve Stefanovic (2016) [6] 13 farklı bitki hastalık türünü tanımak için CaffeNet modelini kullanmıştır. 2011 yılından itibaren literatürde son teknoloji makine ve derin öğrenme tabanlı tanıma algoritmaları etkisini göstermeye başlamıştır. Özellikle AlexNet [10] ve daha sonrasında bu yönde benzer yaklaşımlarla geliştirilen VGGNet [11], GoogleNet- Inception [12], ResNet [13], vb. derin öğrenme bazı algoritmaların sistem performansı bağlamında birçok farklı kullanım alanında diğer kullanılan klasik algoritmalara nazaran çok daha iyi sonuçlar verdiği gösterilmiştir. Literatürdeki derin öğrenme modelleri üzerine bazı çalışmalar aşağıda özetlenmektedir.

Kerkech ve ark. (2018) [14] çalışmasında üzüm bitkisi yaprakları üzerinde oluşan hastalıkların tespitinde ESA bazlı yöntemleri bazı bitki endekslerini kullanarak test etmişler. Benzer bir çalışma Ma ve ark. (2018) [15] tarafından salatalık bitkisi yaprakları üzerinde oluşan hastalıkların tespitinde yapılmıştır. Lu ve ark. (2017) [16] yayınladıkları çalışmada ise 10 çeşit çeltik bitkisi hastalığı üzerinde çalışmışlardır. Elde ettikleri sonuç geleneksel yöntemlere göre daha iyi olmakla beraber kullandıkları veri setinin büyüklüğünün ESA tabanlı modeller eğitimi için yeterli olmayabilir. Bu bağlamda, Lua ve ark. çalışmasının üzerine yapılabilecek araştırmaların ucunun açık olduğu söylenebilir. Harshadkumar ve arkadaşları (2017) [17], çeltik bitkisine ait üç farklı hastalığı tespit etmek için görüntü işleme yöntemi ve Destek Vektör Makinesi (SVM) kullanarak %73,33 doğruluk oranı elde etti. Chowdhury ve arkadaşları (2020) [18] ESA ile çeltik bitkisinin hastalığını %93,3 doğruluk oranında tespit etti. DeChant, Wiesner-Hanks, Chen, Stewart, Yosinski, and Gore (2017) [19], görüntüleri daha küçük bir boyuta yeniden boyutlandırmak ve bir modeli uçtan uca eğitmek yerine, üç aşamalı bir mimari (birden fazla ESA'den oluşan) kullandı ve tek bir görüntüyü çok sayıda küçük görüntüye bölerek tam ölçekli görüntüler üzerinde birinci aşama modelini eğitti.

Liu, Zhang, He ve Li (2018) [20], dört elma hastalığını tespit etmek için AlexNet ve GoogLeNet ağlarını birleştiren bir ESA oluşturdu. Lu ark. (2017) [16], LeNet-5 ve AlexNet gibi eski derin öğrenme çerçevelerinden esinlenerek, 500 görüntü kullanarak, küçük bir el yapımı ESA mimarisi kullanarak 10 farklı çeltik bitkisi hastalığının tespit edilmesi üzerine bir çalışma yürüttü. Atole ve Park (2018) [21], AlexNet'i (büyük mimari) kullanarak 227 görüntü kullanarak normal çeltik bitkisi, hastalıklı çeltik bitkisi ve salyangoz istilasına uğramış çeltik bitkisi olmak üzere üç sınıf arasında bir ayrım yaptı.

Sonuç olarak literatürden de görüleceği gibi çalışmada ele alınan konu birçok araştırmacı tarafından üzerinde çalışılan popüler ve aktif bir çalışma alanıdır. Bu çalışma için, ilk olarak çeltik bitkisine ait hastalıklı ve sağlıklı yaprakların bulunduğu 5000 adet görüntü verisi elde edilmiştir. Başarılı sonuçlar elde edebilmek için görüntü artırma yöntemi ile daha fazla hastalıklı ve sağlıklı görüntü verileri üretilmiştir. Derin öğrenme yöntemlerinden birisi olan ESA yapısına göre bir model oluşturuldu. ESA'daki hiper-parametrelerde değişiklikler yapılarak hastalığın tespiti için modelin eğitimi yapılmıştır. Eğitilen modelde hiç kullanılmayan görüntüler test için modele verildiğinde %91,54 oranında bir doğruluk elde edilmiştir. Kullanılan veri setindeki tüm görüntüler üzerinde ön işlemler yapıldıktan

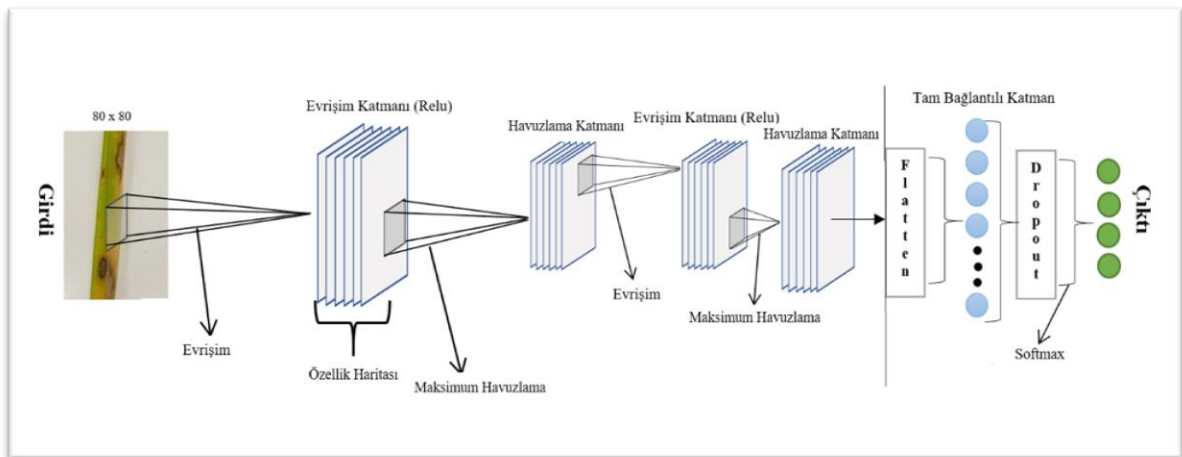
sonra ESA ile eğitim işlemi tekrar yapılmıştır. Eğitilen bu son modelde eğitim sırasında kullanılmayan 1600 görüntü modele test için uygulandığında %97,57 oranında bir doğruluk oranı bulunmuştur.

2. Materyal ve Metot

2.1. Evrişimli Sinir Ağları

Derin öğrenme, sıralı katmanlara sahip bir makine öğrenme algoritmasıdır. Her katman, önceki katmanın çıktısını girdi olarak kullanır. Öğrenme süreci denetimsiz, denetimli veya yarı denetimli olabilir. LeCun ve arkadaşları derin öğrenmeyi bir temsil öğrenme yöntemi olarak tanımlar [22]. Temsil öğrenme algoritmaları, verileri temsil etmenin en uygun yolunu bulmak için optimizasyon yaparlar [23]. Önceki yöntemlerde görüntü işleme yöntemi ile görüntülerden öznitelik çıkarma işlemi yapılırdı. Derin öğrenme ile öznitelik çıkarma işlemi için ayrı bir görüntü işleme yöntemi uygulamaya gerek kalmamıştır. Derin öğrenme bu işlemi ağız eğitiminde kullanılan katmanlarda yapmaktadır.

ESA çok katmanlı yapısı ile görüntüleri tek yapıyı yapay sinir ağlarına göre daha hızlı ve daha başarılı sonuçlar ile sınıflandırabilmektedir. ESA modeli evrişimli katman, havuz katmanı, aktivasyon işlevi katmanı ve tam bağlantılı katman olarak dört ana katmandan oluşmaktadır. Şekil 1'de genel bir ESA mimarisi gösterilmektedir.



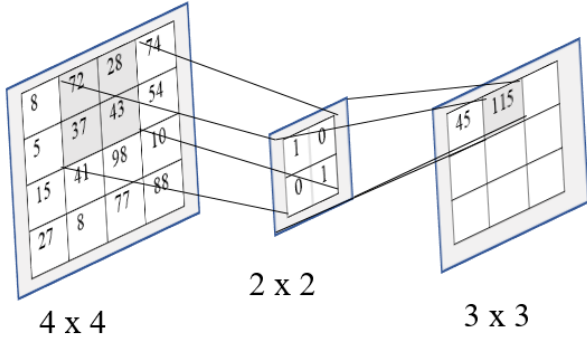
Şekil 1. ESA mimarisi.

a-) Evrişim Katmanı (Convolution Layer)

ESA modeli adını evrişim katmanından alır. Bu katmanda, giriş görüntüsünün özellik haritasını

çıkarmak için bir takım matematiksel işlemler gerçekleştirilir. Giriş resmi, filtre kullanılarak daha küçük bir boyuta küçültülüp ya da aynı boyutta bırakılabilir. Filtre, görüntünün sol üst köşesinden başlayarak adım adım kaydırılır. Her adımda,

görüntüdeki değerler filtrenin katsayıları ile çarpılır ve sonuç toplanır. Giriş görüntüsünden daha küçük boyutlu yeni bir matris oluşturulur. Şekil 2'de 4x4 boyuta sahip bir giriş görüntüsü ve 2x2 örnek bir filtre için evrişim katmanındaki evrişim işlemin gösterilmektedir.

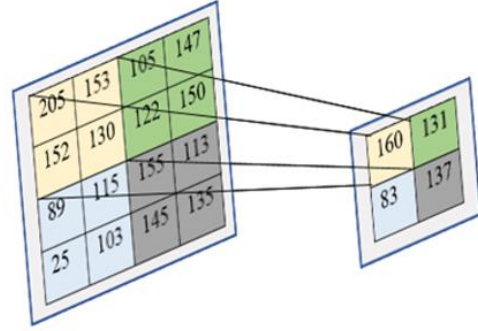


Şekil 2. 4x4 giriş görüntüsüne 2x2 filtre ile evrişim işlemi.

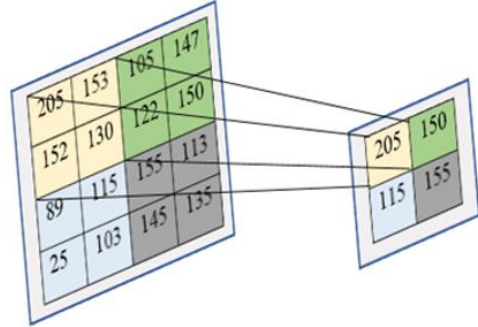
b-) Havuzlama Katmanı (Pooling Layer)

Bu katman, ESA modelinde görüntülerdeki piksel sayısını azaltmak için ardışık evrişim katmanları arasına sıklıkla eklenen bir katmandır. Bu katmanın görevi gösterimin kayma boyutunu, ağı içindeki parametreleri ve hesaplama sayısını azaltmak içindir. Bu işlem yardımıyla ağıdaki uyumsuzluk kontrol edilmiş olur. Havuzlama katmanlarında maksimum havuzlama (max pooling), ortalama havuzlama (average pooling) ve L2-norm havuzlama (L2-norm pooling) yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden maksimum havuzlama daha sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada evrişim katmanları arasında maksimum havuzlama kullanılmıştır. Şekil 3'te örnek bir havuzlama işlemi gösterilmiştir.

Ortalama Havuzlama (Average Pooling)



Maksimum Havuzlama (Max Pooling)



Şekil 3. 2x2lik görüntüye maksimum havuzlama ve ortalama havuzlama işlemi (adım=2).

c-) Aktivasyon Katmanı (Activation Layer)

ESA modelinde genellikle tüm katmanlardan sonra doğrusal olmayan bir katman gelir. Bu katmana aktivasyon katmanı adı verilir. Bu çalışmada aktivasyon katmanında ReLU (Rectifier Linear Unit) fonksiyonu kullanılmıştır. Önceki çalışmalarda genellikle doğrusal olmayan sigmoid, hiperbolik ve tanjant fonksiyonları kullanılmıştır. Ancak derin öğrenme sinir ağı modellerinin eğitiminde, hızlı cevap süresinden dolayı en iyi sonucu ReLU fonksiyonu verdiği için bu fonksiyon kullanılmaya başlanmıştır.

d-) Tam Bağlantılı Katman (Fully-Connected Layer)

Evrişim, havuzlama ve aktivasyon işlemi bitikten sonra düzleştirme işlemi ile veriler düzeltilir. Düzleştirme işleminden sonra tam bağlantılı katman gelir. Bu katman ESA modelinin son ve en önemli katmanıdır. Bu katmanda sinir ağı ile sınıflandırma ve tanıma işlemi yapılmaktadır. Çeltik bitkisi hastalığının tespiti için bu çalışmadaki tam bağlantılı katmanın sonucunda iki sınıf oluşmaktadır.

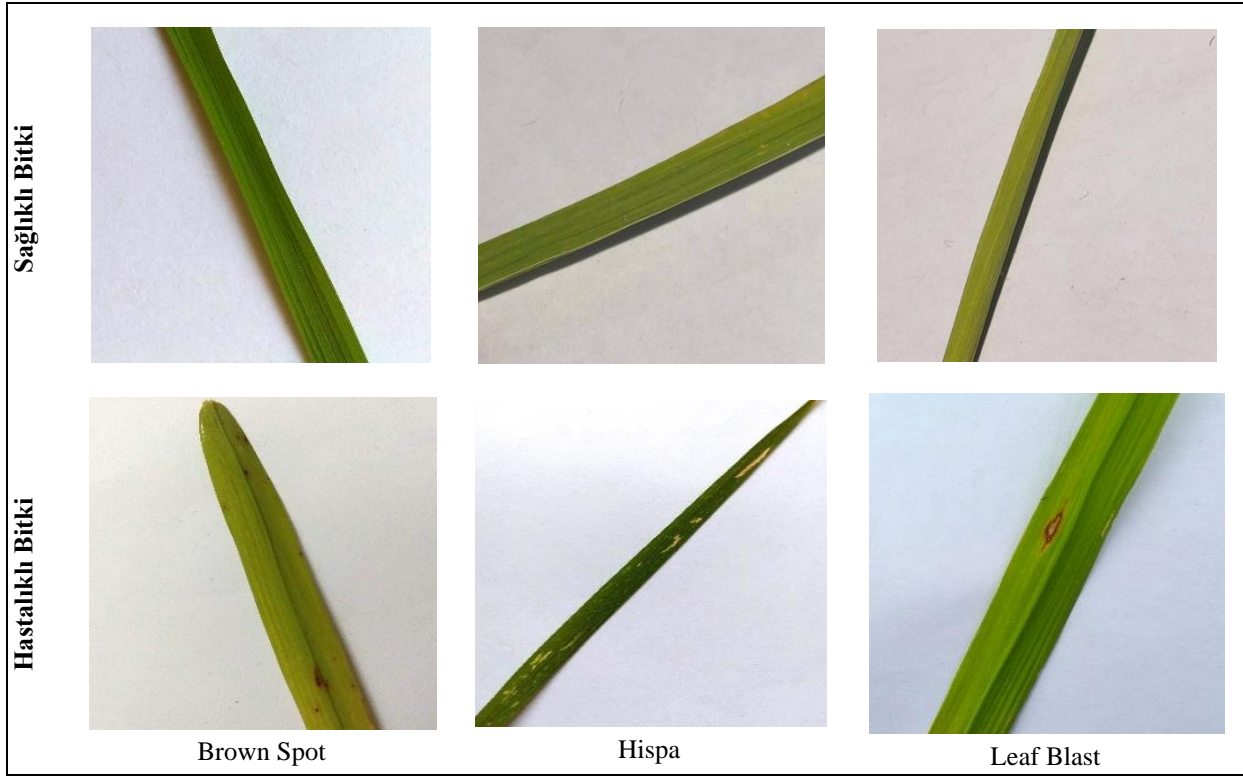
2.2. Veri seti (Data Set)

Çeltik bitkisinin farklı bölgelerinde hastalıklar görülür. Bu hastalıkların oluşumu sıcaklık, nem, yağış, çeltik bitkilerinin çeşitliliği, mevsim, beslenme gibi birçok faktöre bağlıdır. Çeltik bitkisinde çok yaygın bir şekilde görülebilen Brown Spot, Leaf Blast ve Hispa hastalıklarına ait veri seti Kaggle internet sayfasından alınmıştır. Bu

hastalıkların bitkinin neresinde olduğu, şekilsel belirtilerin ne olduğu ve gösterdikleri lezyon renkleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Bu veri setinde bulunan sınıflara örnek görüntüler Şekil 4’te gösterilmektedir. Çeltik bitkisine ait 5000 adet resimden 4000 tanesi eğitim aşaması için ve geri kalan 1000 tanesi ise test aşaması için kullanılmıştır.

Tablo 1. Farklı çeltik bitki hastalıkları türleri ve temel hastalık belirtileri

Hastalık	Etkilenen kısımları	Belirtilerin şekli	Lezyon rengi
Leaf Blast	Yaprakları	Yapraklarda patlamalar oluşur	Koyu kahverengi, siyah
Brown Spot	Yaprakları	Oval şekillerde noktalar oluşur	Kırmızımsı kahverengi, koyu kahverengi
Hispa	Yaprakları	Yaprağın üst yüzeyini sıyrarak orta şeride paralel beyaz çizgiler oluşur	Yarı saydam beyaz noktalar



Şekil 4. Çeltik bitkisinin hastalıklı ve sağlıklı yaprak görüntüleri.

2.3. Veri Artırımı (Data Augmentation)

Boyutu küçük olan veri setlerinde özellikle makine öğrenmesi modellerinin başarımını artırmak için verilerin çeşitli bozulma etkilerine maruz bırakılarak veri sayısı artırılabilir. Bu şekilde

modelin farklı koşulları da öğrenmesi sağlanmaktadır.

- Görüntünün eksenlere göre simetriklerinin alınması,
- Rastgele görüntünün bir kısmının kesilip alınması,

- Eksenlerinin değiştirilmesi,
- Renk oranlarının değiştirilmesi,

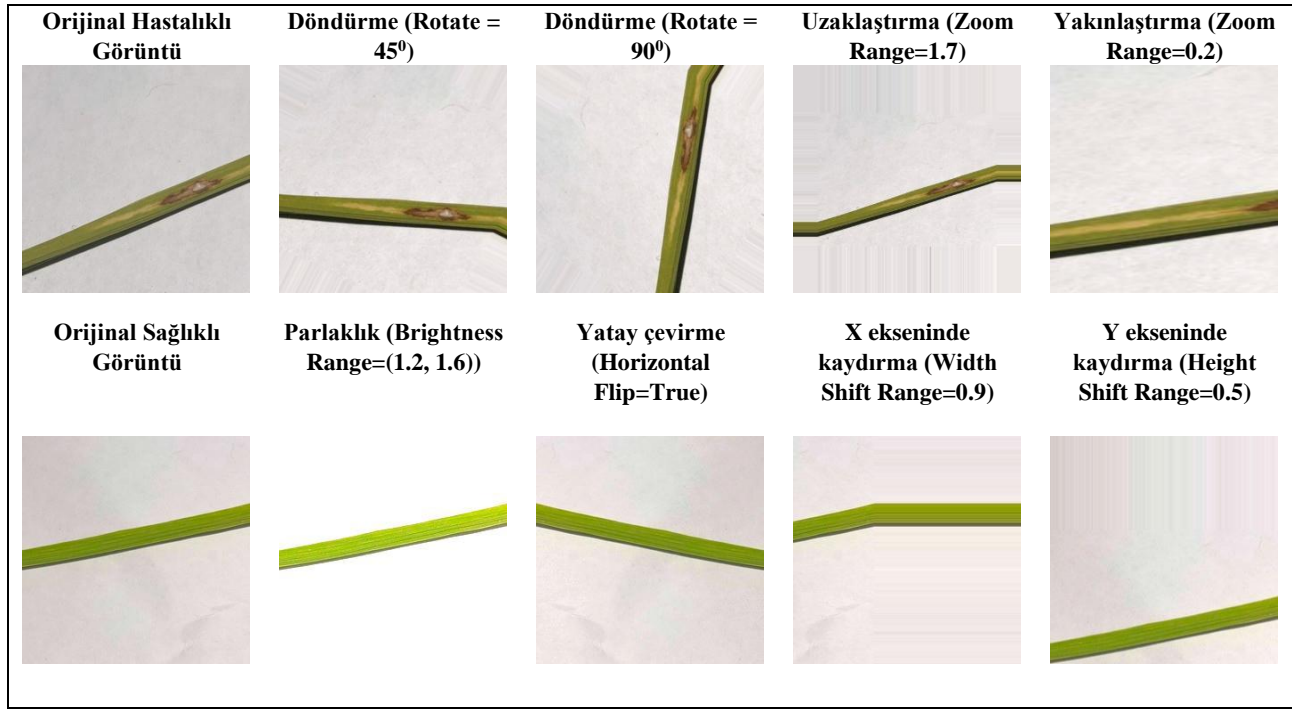
gibi birçok farklı şekilde veriden elde edilen yeni veri parçaları oluşturularak veri artırma yapılabilir. Böylece model ezberleme (overfit) eğiliminden

uzaklaşmaktadır. Bu çalışmada veri artırma yöntemi kullanılarak 5000 görüntüden 8000 görüntü oluşturulmuştur. Her sınıf için kullanılacak çeltik bitkisi yaprak görüntü sayısı, sınıflandırma adı ve veri artırımından sonraki görüntü sayısı Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çeltik bitkisinin sınıf adları, veri sayısı ve veri artırımından sonraki veri sayısı

Sınıf Adı	Veri Sayısı	Veri artırımından sonraki veri sayısı
Hastalıklı	2500 (eğitim [2000], test[500])	4000 (eğitim [3200], test[800])
Sağlıklı	2500 (eğitim [2000], test[500])	4000 (eğitim [3200], test[800])
Toplam	5000 (eğitim [4000], test[1000])	8000 (eğitim [6400], test[1600])

Veri artırımından sonra elde edilen görüntüler ile ağı eğitimi ve test işlemi yapılmıştır. Şekil 5'te veri artırma teknikleri ile elde edilen sağlıklı ve hastalıklı pirinç bitkisi yaprak görüntüleri gösterilmiştir.



Şekil 5. Çeltik bitkisinin hastalıklı ve sağlıklı yaprak görüntüleri.

Veri setimizde bulunan çeltik bitkisinin yaprak görüntülerine döndürme, yakınlaştırma, uzaklaştırma, x ve y ekseninden kaydırma, yatay veya dikey çevirme ve parlaklık seviyesini değiştirme işlemleri uygulanmıştır. Bu artırım işlemi gerçekleştirme için *TensorFlow*'un apilerinden biri olan *Keras* kütüphanesinden *ImageDataGenerator* fonksiyondan yararlanılmıştır [24].

2.4. Donanım ve Yazılım Ortamı

Bu çalışmada çeltik bitkisine ait hastalıkları ve sağlıklı olduğunu tespit etmek için *Python* programlama dili kullanılmıştır. Evrimsel Sinir Ağı modeli kullanılarak özelliklerin çıkarılmasında *Tensorflow* ve *Theano* gibi derin öğrenme kütüphanelerini kullanan üst düzey bir API olan *Keras* kütüphanesi, veri artırımı için *Keras* kütüphanesine ait *ImageDataGenerator* fonksiyonu, matematiksel işlemler için gerekli olan

yapılar için *numpy*, verileri görselleştirmek için python kütüphanesi olan *matplotlib* kütüphanesi kullanılmıştır.

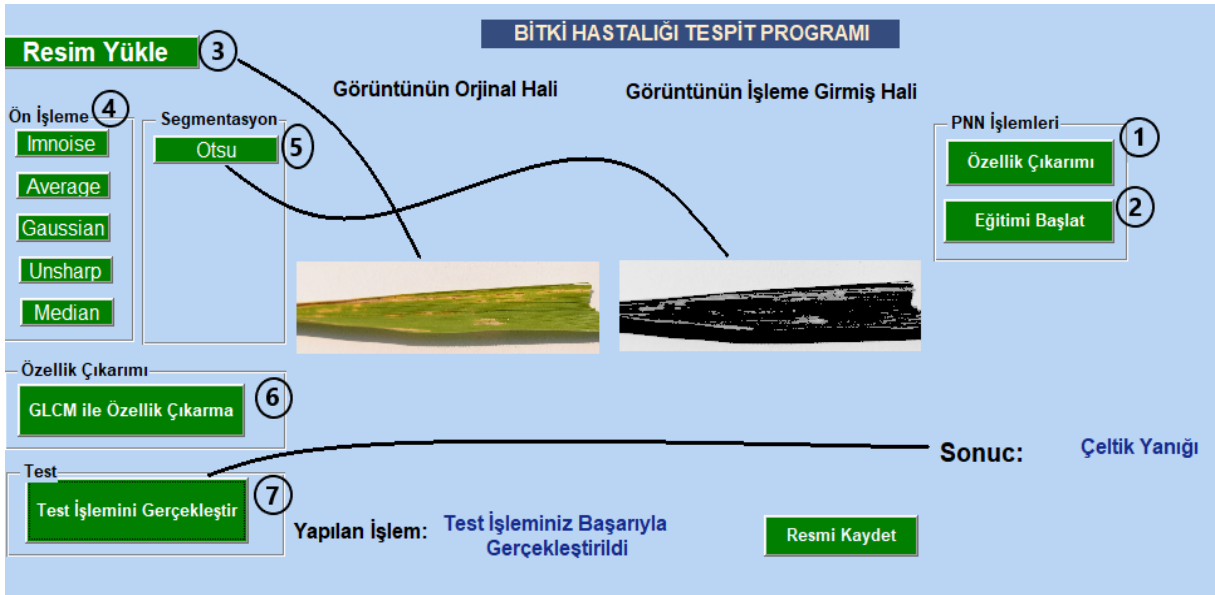
Bu çalışmada önerilen derin öğrenme uygulaması için ekran kartı NVIDIA GeForce MX150 4GB, İşlemci Intel(R) Core(TM) i7-8550U ve yüklü bellek (RAM) 20GB özelliklere sahip bir kişisel bilgisayar kullanılmıştır. Derin öğrenme yöntemi ile ağı eğitmek için TensorFlow kütüphanesinin CPU veya GPU birimlerinden birinin seçilmesi gerekmektedir. Ağın eğitiminde CPU'nun yanında GPU'da kullanılırsa işlem daha hızlı olacaktır. GPU'nun kullanılması için bilgisayarda NVIDIA ekran kartına sahip olunması ve ekran kartının grafik işlem birimini kullanarak hesaplama performansında büyük ölçüde artışlara olanak veren paralel hesaplama mimarisi CUDA desteğine sahip olması gerekir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışma kapsamında çeltik bitkisine ait hastalıkların tespiti ESA modeli ve geleneksel görüntü işleme yöntemleri ile yapay sinir ağı modeli kullanılarak yapılmıştır. Bu iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar iki başlık altında toplanmıştır. Birinci yöntem görüntü işleme yöntemleri ile yapay sinir ağı kullanılarak çeltik bitkisi hastalığının tespit edilmesidir. İkinci yöntem ise ESA ile çeltik bitkisi hastalığının tespit edilmesi işlemidir.

3.1. Görüntü işleme ve yapay sinir ağı ile çeltik bitkisi hastalığının tespiti

Hastalık tespiti yazılımını öncelikle RGB görüntü veri setleri üzerinde uygulanması planlanmıştır. Bu amaç için Matlab GUI ortamında hastalık tespitini sağlayacak bir arayüz tasarımı yapılmıştır. Şekil 6'da hastalık tespitini yapan programın arayüzü gösterilmiştir.



Şekil 6. Matlab GUI ile hazırlanan Bitki Hastalığı Tespit Programı arayüzü.

Çeltik bitkisinin hastalıklarını tespit edecek olan arayüzde öncelikle görüntü ön işleme metodlarından median filtresi çeltik bitkisi yaprak görüntülerine uygulandı. Daha sonra bölütleme (segmentasyon) işlemi için OTSU yöntemi kullanıldı. Görüntülerin özelliklerini çıkarmak için GLCM (Gray Level Co-occurrence Matrix) algoritması kullanıldı. Son olarak sınıflandırma aşamasında PNN (Probabilistic Neural Network)

kullanılarak hastalığın tespiti sağlandı. Bitki hastalığını tespit eden programa yeni bir çeltik bitkisinin yaprak görüntüsü verildiğinde görüntü ön işlemede kullanılacak imnoise, average, gaussian, unsharp ve median filtrelerinden herhangi biri kullanılabilir. Eğitilmiş ağı test işlemi uygulandığında %77'lik bir doğruluk oranı elde edilmiştir.

Yapay Sinir Ağı modelinde kullanılan test veri setindeki sonuçları kullanılarak elde edilen karmaşıklık matrisi Tablo 3 de gösterilmiştir. Karmaşıklık matrisin elde edilmesi için toplamda 100 çeltik bitkisi yaprak görüntüsü (50 hastalıklı

görüntü, 50 sağlıklı görüntü) kullanılmıştır. Karmaşıklık matrisinde Özgüllük (Specificity), Hatırlama (Recall), Doğruluk (Accuracy), Hassaslık (precision) ve Negatif tahmin gibi ölçütlerde verilmiştir.

Tablo 3. Bitki hastalığının tespitinde kullanılan YSA ile çıkan sonuçların karmaşıklık matrisi

		Tahmin		
		Hastalıklı	Sağlıklı	
Gerçek	Hastalıklı	41	9	Özgüllük (Specificity) :0,82
	Sağlıklı	14	36	Hatırlama (Recall) :0,72
		Negatif Tahmin: 0,74	Hassaslık(Precision) :0,80	Doğruluk (Accuracy) :0,77

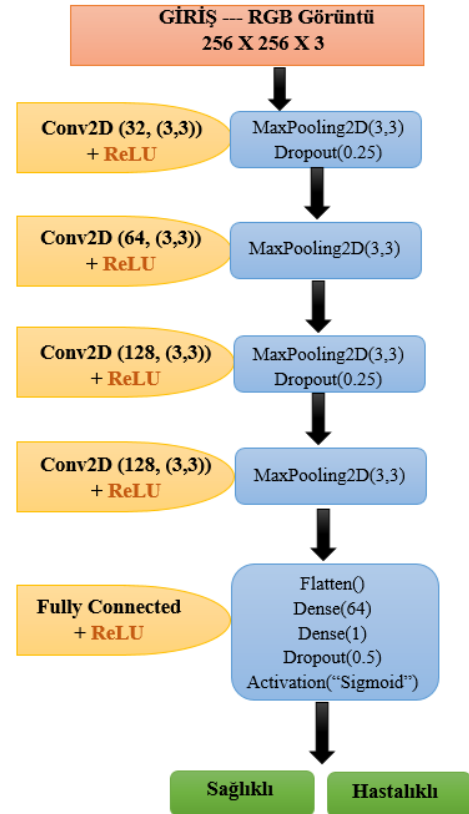
Karmaşıklık matrisi Doğru Pozitif (TP – True Positive), Yanlış Pozitif (FP – False Positive), Doğru Negatif (TN - True Negative) ve Yanlış Negatif (FN – False Negative) değerlerinden oluşmaktadır. Yapılan test işleminde TN, FN, FP ve TP değerleri sırayla 41, 14, 9, 36 olarak bulunmuştur.

3.2. Evrişimsel sinir ağı ile çeltik bitkisi hastalık tespiti

Çeltik bitkisi hastalıklarının tespit için görüntü işleme ile yapay sinir ağı kullanılarak elde edilen başarımların oranı düşük çıkmıştır. Bu başarımların oranının çeltik bitkisi hastalığının tespitinde kullanılması durumunda sağlıklı bitkilerde hastalıklı olarak etiketlenebildiği Tablo 3 te karmaşıklık matrisinde gösterilmiştir. Bu yüzden başarımların oranını arttırmak için bu çalışmada derin öğrenme yöntemlerinden Evrişimli Sinir Ağı tercih edilmiştir. ESA ile bitki hastalığını tespit etmek için Şekil 7’de gösterilen bir model oluşturulmuştur. Önerilen bu ESA modeli 5 evrişim katmanından oluşmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu için ReLU fonksiyonu kullanılmıştır.

Önerilen model hastalıklı ve sağlıklı olmak üzere iki sınıflı sınıflandırma yapmaktadır. Çeltik bitkisi görüntülerinin boyutu OpenCV Kütüphanesi kullanılarak 256x256 boyutuna dönüştürüldükten sonra ESA modeline giriş olarak verilmektedir. Çeltik bitkisi hastalığının tespiti için yapay sinir ağı ile evrişimli sinir ağı kullanılarak başarımların oranları elde edilmiştir. Tablo 4’de bu iki

yöntemde kullanılan ön işleme, segmentasyon, özellik çıkarma ve test başarımların oranı sonuçları gösterilmiştir. ESA modeli ile sınıflandırma yapıldığında daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.



Şekil 7. Önerilen ESA derin öğrenme modeli.

ESA modelinde özellik çıkarma ve bölütleme işlemleri evrişimli katmanlarda yapıldığı için ayrı bir işlem olarak bunların uygulanmasına gerek duyulmamaktadır. Buna rağmen ESA modeli ile yapılan sınıflandırmalarda daha başarılı sonuçlar elde edilmiştir. ESA ile sınıflandırma yapılırken çeltik bitkisi yaprağına ait görüntülerin arka plandaki görüntüleri kaldırılmıştır. Veri setindeki çeltik bitkisi yaprak görüntülerin arka plandaki gürültüleri kaldırmak

için OpenCV kütüphanesinden yararlanılmıştır. Bu işlemi yapmak için veri setindeki tüm görüntülerin tüm pikselleri kontrol edildi ve daha sonra belirlediğimiz eşik (170) üstünde olan piksel değerleri beyaz renk (255) pikseli ile değiştirildi. Yapılan işlem sonucunu görmek için Şekil 8 de çeltik bitkisi yaprak görüntüsünün orijinal ve arka plan kaldırıldıktan sonraki görüntüleri verilmiştir.



Şekil 8. Çeltik bitkisine ait orijinal ve arka planı temizlenmiş görüntüler.

Arka plan görüntüsü temizlendikten sonra model tekrar eğitilip test işlemi yapıldığında %97,57 başarı oranı elde edilmiştir.

Tablo 4. YSA ve ESA modellerinin çeltik bitkisi hastalığı sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma	Ön İşleme	Bölütleme	Özellik Çıkarmı	Test Sonucu
PNN	Median filtre	OTSU	GLCM	%77
ESA	Filtresiz	-	-	%91,54
ESA	Arka planı temizleme	-	-	%97,57

Çeltik bitkisine ait hastalıkların bulunduğu görüntüler ile bitkinin sağlıklı olduğu görüntüler olmak üzere iki sınıflı sınıflandırma yapılmıştır. Görüntü ön işleme kısmında görüntülerin boyutu küçültülüp ve daha sonra görüntülerdeki arka plan kaldırılmıştır. Daha sonra her bir sınıf için 3200

görüntü kullanılarak eğitim işlemi yapılmıştır. Eğitim verisi ile ESA ağı eğitilmiş ve ağınlıkları kaydedilmiştir. Kaydedilmiş bu ağırlık ve model ile her sınıf için 800 görüntü kullanılarak test işlemi yapılmıştır. Yapılan test işlemleri

sonucunda sınıf bazında çıkan başarımlar oranları Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Sağlıklı ve Hastalıklı çeltik bitkisi sınıfları için sınıflandırma doğruluk sonuçları

Sınıflandırma adı	Test edilen veri sayısı	Doğruluk oranı
Hastalıklı	800	98,45
Sağlıklı	800	96,68
Toplam	1600	97,57

Tablodan da görüldüğü gibi test işleminden sonra %98,45'lik başarımlar oranı Hastalıklı sınıf ve 96,68'lik başarımlar oranı Sağlıklı sınıf için elde edilmiştir. Derin öğrenmede kullanılan bazı hiper-parametreler vardır. Hiper-parametreler, derin öğrenme ağını tasarlayan kişiler tarafından belirlenir. Ağı oluşturan kişi tarafından belirlenen hiper-parametreler, probleme veya veri setine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bu çalışma kapsamında hiper-parametrelerde değişiklik yapılarak ağın başarımlar oranı tespit edilmiştir. Veri seti boyutu modelin öğrenmesi için önem taşıyan bir faktördür. Yapılan test sonuçlarında her sınıf için 1000 görüntünün altında

veri kullanıldığında test sonucunda doğruluk oranının çok yüksek çıkmadığı görülmüştür. Bu yüzden modelin öğrenmesi için en az 1000 ve üzeri görüntü kullanılması uygun görülmüştür. Ama veri setinin boyutunun artması, eğitimin başarısının doğru orantılı bir şekilde artacağı anlamına gelmez. Veri setinin boyutunu artırırken çeşitliliği göz önünde bulundurmak gerekir. Bu çalışmada veri artırma yöntemi ile veri seti boyutu artırılmıştır. 5000'lik görüntü veri seti ile yapılan sınıflandırma işlemi ile 8000'lik görüntü veri seti ile yapılan sınıflandırma işleminin sonucu Tablo 6 da verilmiştir.

Tablo 6. Veri seti büyüklüğünün ESA modeli başarımlar oranı üzerindeki etkisi

Sınıflandırma	Ön işleme	Veri seti boyutu	Başarımlar oranı
ESA	-	5000	%91,54
ESA	-	8000	%94,87

Derin öğrenmede doğrusal olmayan problemlerin çözümünde en uygun değeri bulmak için optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde günümüzde yaygın bir şekilde kullanılan optimizasyon yöntemleri Stochastic Gradient Descent (SGD), Adadelta, Adam ve RMSprop yöntemleridir. Bu çalışmada bu dört yöntem için eğitim işlemi uygulanmıştır. Eğitim sonucunda elde edilen ağırlıklar ile ESA modelinin test işlemlerinde en yüksek başarımlar oranı Adam optimizasyon yöntemi ile elde edilmiştir. Bu yüzden çalışmada Adam optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada hiper-parametrelerden olan küme boyutu (batch size) ve öğrenme oranı (learning rate) değerlerini seçmek için birkaç test işlemi yapıldı. Küme boyutu değeri 32 olarak seçildi. Kullanılan verilerin çok olması ve modelin eğitildiği bilgisayarda çalışabilmesi için bu değer seçilmiştir. Genelde bu tarz çalışmalarda öğrenme oranı $10e-3$

ile $10e-4$ kullanılmaktadır. Oluşturulan model için Öğrenme oranı $10e-4$ seçildiğinde daha başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

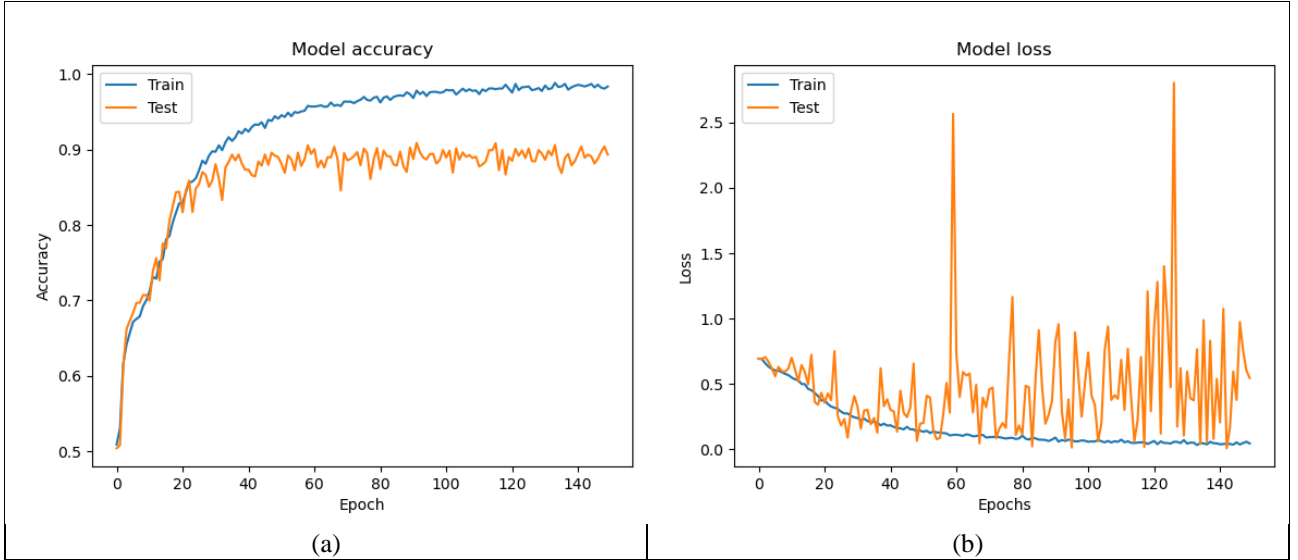
Derin öğrenme modeli eğitilirken verilerin hepsi aynı anda eğitime verilmez. Modeli tasarlayanların belirttiği oranda parçalara bölünür ve bu parçalar halinde eğitime verilir. Eğitime verilen ilk parça eğitilir ve modelin başarımlar oranı elde edilir. Bu başarımlar oranına göre ağırlık değerleri güncellenir. Belirtilen bu işlem her bir eğitim adımında uygulanır ve en uygun ağırlık değerleri bulunur. Ağırlık değerlerinin bulunması için yapılan eğitimin her adımına eğitim tur (Epoch) sayısı denilmektedir. Bu çalışmada modelin en iyi başarımlar oranı tur sayısı 250 seçilerek bulunmuştur. Bu çalışmada kullanılan hiper-parametrelerin değerlerinin bulunması için çeşitli test işlemleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu testler sonucunda her bir hiper-parametre değeri ve

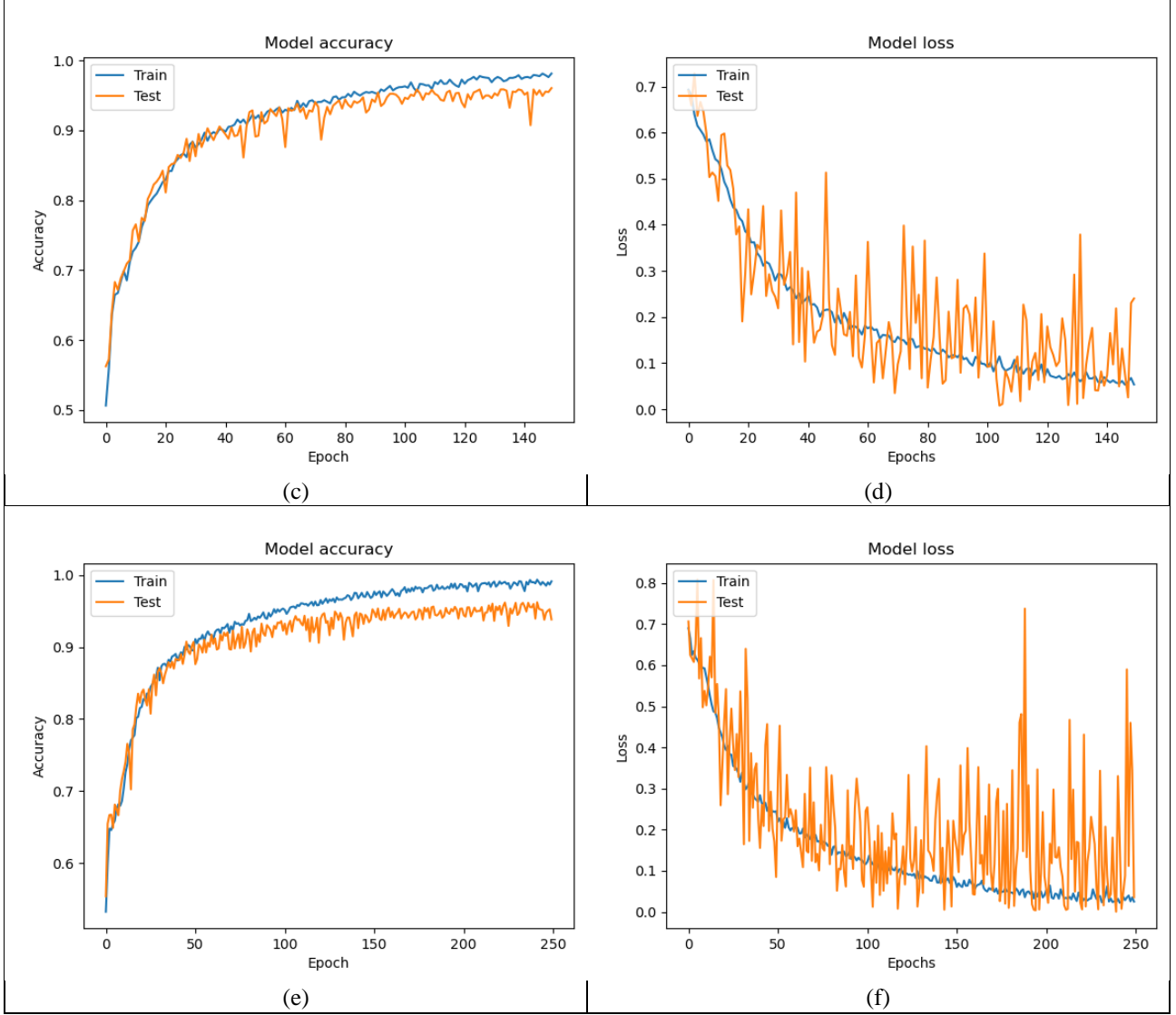
bu değere karşılık gelen doğruluk oranları Tablo 7 de özetlenmiştir.

Tablo 7. Hiper-parametrelerinin değişimine göre ESA modelinin test başarımları oranları

Sınıflandırma	Tur	Küme Boyutu	Öğrenme Oranı	Veri Seti Boyutu	Eniyileştiriciler (Optimizers)	Test Doğruluk Oranı
ESA	150	16	10e-3	5000	Adam	%91,54
ESA	150	16	10e-3	5000	Adadelata	%81,88
ESA	150	16	10e-3	5000	SGD	%85,85
ESA	150	16	10e-3	5000	RMSprop	%86,86
ESA	150	16	10e-3	8000	Adam	%94,87
ESA	150	16	10e-3	8000	Adadelata	%83,74
ESA	150	16	10e-3	8000	SGD	%90,46
ESA	150	16	10e-3	8000	RMSprop	%91,44
ESA	250	32	10e-4	8000	Adam	%97,57
ESA	250	32	10e-4	8000	Adadelata	%88,74
ESA	250	32	10e-4	8000	SGD	%91,74
ESA	250	32	10e-4	8000	RMSprop	%93,42

Bu tabloda gösterilen en iyi modelin doğruluk (accuracy) ve kayıp (loss) oranlarının grafiksel gösterimleri Şekil 9'da gösterilmiştir.





Şekil 9. Farklı tur sayıları (Epochs) için ESA ile eğitim ve test sonuçları, (a) 5000 görüntü ve 150 tur sayısına ait doğruluk oranı, (b) 5000 görüntü ve 150 tur sayısına kayıp oranı (loss), (c) 8000 görüntü ve 150 tur sayısına ait doğruluk oranı, (d) 8000 görüntü ve 150 tur sayısına ait kayıp oranı, (e) 8000 görüntü ve 250 tur sayısına ait doğruluk oranı, (f) 8000 görüntü ve 250 tur sayısına ait kayıp oranı

Önerilen ESA modeline ait karmaşıklık matrisini bulmak için test veri setindeki görüntülerden 400 çeltik bitkisi yaprak görüntüsü (200 hastalıklı görüntü, 200 sağlıklı görüntü) kullanılarak test işlemi yapılmıştır. Yapılan test işleminden sonra elde edilen sonuçlara göre Tablo 8’de oluşturulan karmaşıklık matrisi gösterilmiştir. Test işleminden sonra elde edilen TN, FN, FP ve TP değerleri sırayla 197, 7, 3, 193 olarak bulunmuştur.

Tablo 8. Bitki hastalığının tespitinde kullanılan ESA ile çıkan sonuçların karmaşıklık matrisi

		Tahmin	
		Hastalıklı	Sağlıklı
Gerçek	Hastalıklı	197	3
	Sağlıklı	7	193

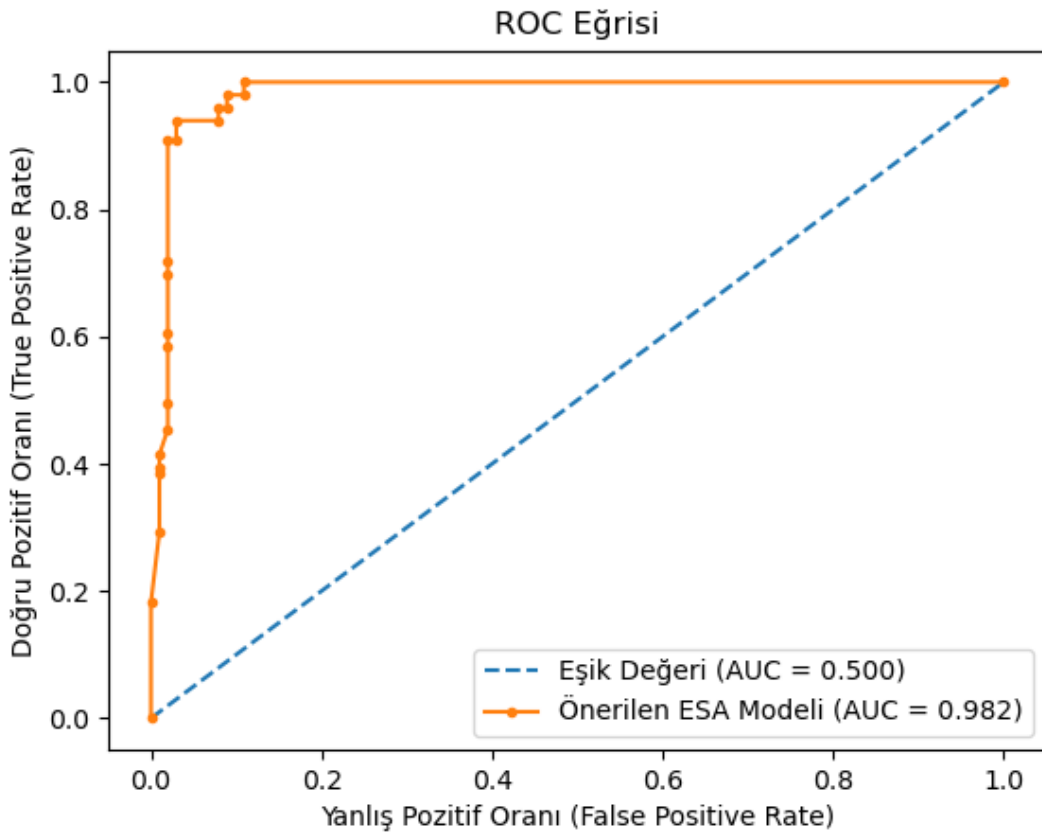
ESA ile YSA modellerin karmaşıklık matrisindeki sonuçlara göre başarı oranı, özgüllük (specificity), hatırlama (recall), hassas (precision) ve f1-score Tablo 9 da gösterilmiştir.

Tablo 9. ESA ve YSA model sonuçları

Sınıflandırma	Veri Seti Boyutu	Özgüllük	Başarım Oranı	Hatırlama	Hassas	F1-score
ESA	400	0,98	0,97	0,96	0,98	0,97
YSA	100	0,82	0,77	0,72	0,80	0,76

Hastalık tespiti yapan modellerin sonuçlarının daha net anlaşılabilmesi için performans ölçme metrikleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada bu metriklerden karmaşıklık matrisi ve ROC (Receiver Operating Characteristic) eğrisi ile model performansları gösterilmiştir. Hastalıklı ve sağlıklı gibi sınıflandırma problemlerinin olasılık

değerlerinin sınıflandırılması için eşik (threshold) değeri kullanılır. ROC eğrisini elde etmek için eşik değeri 0.5 olarak seçilmiştir. Bitki hastalığını tespit etmek için önerilen ESA modeline ait ROC eğrisi ve AUC (Area under the ROC Curve) değeri Şekil 10 da gösterilmiştir.

**Şekil 10.** Önerilen ESA modeline ait ROC eğrisi ve AUC-ROC değeri.

ROC eğrisindeki y eksenini Doğru Pozitif Oranını, x eksenini Yanlış Pozitif Oranını temsil etmektedir. ROC eğrisinin hesaplanmasında bu eksenlerdeki (Doğru Pozitif Oranı, Yanlış Pozitif Oranı) değerlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu değerleri bulmak için 200 çeltik bitkisi yaprak görüntüsü (100 hastalıklı, 100 sağlıklı) kullanılmıştır.

4. Sonuç ve Öneriler

Derin öğrenme denilince akla ilk gelen yapı olan ESA modeli yaygın bir şekilde tarım ürünlerindeki hastalıkların tespitinde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında ESA modelindeki en iyi hiperparametreler bulunarak hastalık tespitindeki başarımlarını arttırmaya çalışıldı. Daha sonra çeltik bitkisi görüntüleri üzerinden görüntü ön işleme yapılarak bu başarımlarını daha da ileriye

taşındı. Önerilen ESA tabanlı modelde çeltik bitkisinin hastalıklı/sağlıklı olup olmadığı tespit edildi. İlk olarak standart yapay sinir ağı ile yapılan eğitim işleminden sonra doğruluk oranı %77 olarak elde edildi. Derin öğrenme metodlarından biri olan ESA modeli ile yapılan test sonucunda ise %91,54 doğruluk oranına ulaşıldı. Hastalığın tespiti için görüntüdeki arka plan kaldırıldıktan sonra test işlemi uygulandığında sınıflandırma doğruluk oranı %97.57 olarak hesaplandı.

Evrişimli sinir ağı mimarisi ve sınıflandırma işleminde kullanılan hiper-parametrelerde değişiklik yapılarak daha iyi sonuçlara ulaşılabilir. Transfer öğrenme modellerinde kullanılan veri setlerine tarımdaki bitki hastalıklarının eklenmesi durumunda bu modellerin daha başarılı sonuçlara ulaşması beklenmektedir. Çeltik bitkisinin üretildiği bölgenin sulak olmasından dolayı geleneksel yöntemler ile veri setinin hazırlanması oldukça zordur. Bu görüntüleri elde etmek için çeltik ekili alanlarda İHA kullanılması gerekmektedir. Görüntülerin bu şekilde elde edilmesi ve İHA ile görüntü alınırken hastalığın tespit edilmesi ayrı bir araştırma konusu olarak ele alınacaktır.

Bu konu üzerinde gelecekte yapılabilecek çalışmalarda, hastalık sınıflandırmada daha iyi sonuçlar vermesi için diğer derin öğrenme mimarileri ve görüntünün sınıflandırmasını kolaylaştırma adına uygun görüntü ön işleme yöntemleri kullanılması planlanmaktadır.

References

- [1] S. Weizheng, W. Yachun, C. Zhanliang, and W. Hongda, "Grading method of leaf spot disease based on image processing," in 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering, 2008.
- [2] "Rice Production (Peace Corps): Chapter 14 – Diseases of rice,". [Online]. Available: <http://www.nzdl.org>. [Accessed: 19-Oct-2021].
- [3] B. ChandraKarmokar, M. Samawat Ullah, M. Kibria Siddiquee, and K. Md. Rokibul Alam, "Tea leaf diseases recognition using neural network ensemble," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 114, no. 17, pp. 27–30, 2015.
- [4] G. Wang, Y. Sun, and J. Wang, "Automatic image-based plant disease severity estimation using deep learning," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2017, pp. 1–8, 2017.
- [5] A. Fuentes, S. Yoon, S. Kim, and D. Park, "A robust deep-learning-based detector for real-time tomato plant diseases and pests recognition," *Sensors (Basel)*, vol. 17, no. 9, p. 2022, 2017.
- [6] S. Sladojevic, M. Arsenovic, A. Anderla, D. Culibrk, and D. Stefanovic, "Deep neural networks based recognition of plant diseases by leaf image classification," *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2016, p. 3289801, 2016.
- [7] J. Lu, J. Hu, G. Zhao, F. Mei, and C. Zhang, "An in-field automatic wheat disease diagnosis system," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 142, pp. 369–379, 2017.
- [8] R. Bhagawati, K. Bhagawati, A. Singh, R. Nongthombam, R. Sarmah, G. Bhagawati, "Artificial Neural Network Assisted Weather Based Plant Disease Forecasting System", *IJRITCC*, vol. 3, no. 6, pp. 4168–4173, Jun. 2015.

Bitkilerdeki hastalıkların erken teşhisi için RGB görüntü alan kameralar yerine multispektral kameralar kullanılması düşünülmektedir. Bu sayede bitkilerdeki hastalığın insan gözü ile tespiti anlaşılmayacak seviyede olduğunda erken tespiti yapılabilecektir. İHA ile konum bazlı multispektral görüntülerin elde edilmesi ve bu görüntüler üzerinde derin öğrenme mimarileri ile otomatik hastalık tespiti yapılması planlanmaktadır.

Yazarların Katkısı

Bu çalışma, Prof. Dr. Uğur YÜZGEÇ danışmanlığında İrfan ÖKTEN tarafından hazırlanan doktora tez çalışması kapsamında yapılmış olup, İrfan ÖKTEN bu çalışmada verilerin hazırlanması, çoğaltılması, modelin algoritma ve yazılımının hazırlanması, makalenin yazımı, Uğur YÜZGEÇ ise makalenin düzenlenmesi ve danışmanlık işlemlerinde katkıda bulunmuşlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

- [9] S. P. Mohanty, D. P. Hughes, and M. Salathé, “Using deep learning for image-based plant disease detection,” *Front. Plant Sci.*, vol. 7, pp: 1419, 2016.
- [10] A. Krizhevsky, I. Sutskever, and G. E. Hinton, “ImageNet classification with deep convolutional neural networks,” *Commun. ACM*, vol. 60, no. 6, pp. 84–90, 2017.
- [11] K. Simonyan and A. Zisserman, “Very deep convolutional networks for large-scale image recognition,” arXiv [cs.CV], 2014.
- [12] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. Wojna, “Rethinking the inception architecture for computer vision,” in *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016.
- [13] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, “Deep residual learning for image recognition,” in *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016.
- [14] M. Kerkech, A. Hafiane, and R. Canals, “Deep learning approach with colorimetric spaces and vegetation indices for vine diseases detection in UAV images,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 155, pp. 237–243, 2018.
- [15] J. Ma, K. Du, F. Zheng, L. Zhang, Z. Gong, and Z. Sun, “A recognition method for cucumber diseases using leaf symptom images based on deep convolutional neural network,” *Comput. Electron. Agric.*, vol. 154, pp. 18–24, 2018.
- [16] Y. Lu, S. Yi, N. Zeng, Y. Liu, and Y. Zhang, “Identification of rice diseases using deep convolutional neural networks,” *Neurocomputing*, vol. 267, pp. 378–384, 2017.
- [17] H. B. Prajapati, J. P. Shah, and V. K. Dabhi, “Detection and classification of rice plant diseases,” *Intell. Decis. Technol.*, vol. 11, no. 3, pp. 357–373, 2017.
- [18] C. R. Rahman et al., “Identification and recognition of rice diseases and pests using convolutional neural networks,” *Biosyst. Eng.*, vol. 194, pp. 112–120, 2020.
- [19] C. DeChant et al., “Automated identification of northern leaf blight-infected maize plants from field imagery using deep learning,” *Phytopathology*, vol. 107, no. 11, pp. 1426–1432, 2017.
- [20] B. Liu, Y. Zhang, D. He, and Y. Li, “Identification of apple leaf diseases based on deep convolutional neural networks,” *Symmetry (Basel)*, vol. 10, no. 1, pp: 11, 2017.
- [21] R. R. and D. Park, “A multiclass deep convolutional neural network classifier for detection of common rice plant anomalies,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 9, no. 1, 2018.
- [22] Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015.
- [23] H. Durmus, E. O. Gunes, and M. Kirci, “Disease detection on the leaves of the tomato plants by using deep learning,” in *2017 6th International Conference on Agro-Geoinformatics*, 2017.
- [24] “Tf.Keras.Preprocessing.Image.ImageDataGenerator,” TensorFlow. [Online]. Available: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/preprocessing/image/ImageDataGenerator. [Accessed: 08-Jan-2022].

Elazığ'da Yetişen Farklı *Crataegus* Türlerinin Biyoaktif Bileşen, Antioksidan ve Mutajenik Özelliklerinin Karşılaştırılması

Zehra Tuğba MURATHAN^{1*}, Nurcan ERBİL², Mehmet ARSLAN³



¹Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Battalgazi Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Battalgazi/Malatya

²Ardahan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Yüksekokulu, Hemşirelik Bölümü, Ardahan

³Ardahan Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Yüksekokulu, Sağlık Yönetimi Bölümü, Ardahan

(ORCID: [0000-0002-1468-7240](https://orcid.org/0000-0002-1468-7240)) (ORCID: [0000-0001-9553-2306](https://orcid.org/0000-0001-9553-2306)) (ORCID: [0000-0002-9015-1798](https://orcid.org/0000-0002-9015-1798))

Keywords: *Crataegus*, Alıç, Fenolik, Antioksidan, Antibakteriyel, Mutajen

Öz

Crataegus cinsine ait Rosaceae ailesinin geleneksel tıpta kullanılan ve en önemli yenilebilir bitkilerindendir. Bu bitkiler içerdikleri farklı biyoaktif doğal bileşenler sayesinde çeşitli fizyolojik ve farmakolojik aktivitelere sahiptirler. Bu çalışmada Elazığ ilinde yetişen dört *Crataegus* türünün (*C. monogyna* JACQ., *C. tanacetifolia* (LAM.) PERS., *C. orientalis* PALLAS EX BIEB., *C. sinaica* BOISS.) toplam fenolik madde, toplam flavanoid madde, ve toplam askorbik asit içerikleri ile antioksidan, antibakteriyel ve mutajenik aktivitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. *C. sinaica* türünün biyoaktif bileşen içeriği ve antioksidan aktivitesi genel anlamda diğer türlerden yüksek bulunmuştur. Örneklerdeki toplam fenolik madde içeriğinin 670.43 ile 773.32 mg/100g, toplam flavanoid madde içeriğinin 345.52 ile 452.46 mg/100g, toplam askorbik asit içeriğinin ise 17.7 ile 60.3 mg/100g arasında olduğu belirlenmiştir. ABTS radikali süpürücü aktivitesi en düşük *C. tanacetifolia* (% 51.62), en yüksek *C. sinaica* (% 68.61); DPPH radikali süpürücü aktivite *C. monogyna* türünde en düşük (% 67.76), *C. sinaica* türünde en yüksek (% 74.40); FRAP değeri ise en düşük *C. orientalis* (557.8 µgFeII/g), en yüksek *C. sinaica* (651.4 µgFeII/g) türlerinde belirlenmiştir. Tüm örnek ekstraktlarına karşı en duyarlı bakterilerin *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ve *Escherichia coli* ATCC 8739 olduğu gözlenirken, en düşük antibakteriyel aktivite ise *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048 ve *Klebsiella pneumoniae* ATCC 33495'ye karşı tespit edilmiştir. Ekstraktların denenen hiçbir dozunda *Salmonella typhimurium* TA 98 ve TA 100 suşlarına karşı herhangi bir mutajen aktiviteye rastlanmamıştır.

Comparison of Bioactive Compounds, Antioxidant, Antibacterial and Mutagenic Features of Different *Crataegus* Species Grown in Elazığ

Keywords: *Crataegus*, Hawthorn, Phenolic, Antioxidant, Antibacterial, Mutagen

Abstract

Crataegus species are them of the most important edible plants of the Rosaceae family and is also used in traditional medicine. This plants have various physiological and pharmacological activities due to the presence of different bioactive natural compounds. In current study, we aimed to determined total phenolic content, total flavonoid content and total ascorbic content, antioxidant activity, antibacterial activity and mutagenic activity of four *Crataegus* species *C. monogyna* JACQ., *C. tanacetifolia* (LAM.) PERS., *C. orientalis* PALLAS EX BIEB., *C. sinaica* BOISS.) grown in Elazığ. Bioactive component content and antioxidant activity of *C. sinaica* were generally higher than other species. It was determined that the total phenolic content in the samples was between 670.43 and 773.32 mg/100g, the total flavonoid content was between 345.52 and 452.46 mg/100g, and the total ascorbic acid content was between 17.7 and 60.3 mg/100g. ABTS radical scavenging activity was lowest in *C. tanacetifolia* (51.62%), highest in *C. sinaica* (68.61%); DPPH radical

*Sorumlu yazar: zehra.murathan@ozal.edu.tr

Geliş Tarihi: 26.10.2021, Kabul Tarihi: 07.12.2021

scavenging activity was lowest in *C. monogyna* (67.76%), highest in *C. sinaica* (74.40%). The lowest FRAP value was determined in *C. orientalis* (557.8 µgFeII/g) and the highest in *C. sinaica* (651.4 µgFeII/g) species. *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 and *Escherichia coli* ATCC 8739 were observed to be the most sensitive bacteria to all sample extracts, while the lowest antibacterial activity was detected against *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048 and *Klebsiella pneumoniae* ATCC 33495. No mutagenic activity was found against *Salmonella typhimurium* TA 98 and TA 100 strains at any tested dose of the extracts.

1. Giriş

Crataegus spp. (Alıç) Rosaceae familyasına ait, dünya genelinde 200'e yakın türle temsil edilen bir cinistir. Ülkemizde cinse ait 16 tür, 3 alttür, 6 varyete ve 6 melez tür olmak üzere 27 takson yetişmekte olup bunlardan 2 tanesi kültüre alınmıştır [1]. Bitki ülkemizin birçok bölgesinde çalılık ve kayalıklarda doğal olarak yetişebilmektedir. Genellikle alıç olarak bilinen bitki farklı bölgelerde halıç, yemişen, aluç, yaban gülü, akdiken, geyik dikenini gibi isimlerle de tanınmaktadır [2]. Meyveleri turuncu, sarı, kırmızı, mor veya siyah renkte olabilmektedir. Ülkemizde en fazla yetişen türler *Crataegus monogyna*, *Crataegus orientalis*, *Crataegus oxyacantha* ve *Crataegus aronia*'dır [3].

Alıç bitkisinin yaprağı, çiçeği ve meyvesi tıbbi amaçla kullanılmaktadır. Özellikle meyvesi sağlığa faydalı aromatik aminler, uçucu bileşenler, fenolik asitler, hyperin, quersetin, spirein, rutin ve apigenin gibi flavanoidler, proantosiyanidinler gibi çok sayıda biyoaktif bileşen içermektedir [4]. Ayrıca meyvelerin yüksek miktarda Ca, P, K, Mg ve Fe mineralleri ile C vitamini içerdikleri bildirilmiştir [5]. Meyveler içerdikleri önemli biyoaktif bileşiklerle paralel olarak güçlü antioksidan aktiviteye de sahiptirler. Araştırma sonuçlarına göre özellikle kalp damar sistemi fonksiyonlarını düzenleyici etkisinin bulunduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte kolesterolün ve yüksek tansiyonun düşürülmesinde, sinir sisteminin yatıştırılması amacıyla, uykusuzluk problemlerinde, idrar söktürücü olarak ve barsak hareketlerinin düzenlenmesinde faydalı sonuçlar verdiği belirlenmiştir [6].

Ülkemizde mevcut alıç genotiplerinin belirlenmesi, seleksiyonlarının yapılması ve ümitvar genotiplerin belirlenmesi amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır [7], [8], [9], [10]. Ancak meyvelerin bileşimi mikrobiyolojik ve mutajenik özelliklerini belirlemeye yönelik çalışma çok daha azdır [11]. Bu çalışmada Elazığ ilinde yetişen 4 farklı *Crataegus* türünün (*C. monogyna* JACQ., *C. tanacetifolia* (LAM.)

PERS, *C. orientalis* PALLAS EX BIEB., *C. sinaica* BOISS.) biyoaktif bileşenleri, antioksidan, antibakteriyel ve mutajenik özelliklerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Bitki Materyali

Çalışmada kullandığımız *Crataegus* türlerinin (*C. monogyna* JACQ., *C. tanacetifolia* (LAM.) PERS, *C. orientalis* PALLAS EX BIEB., *C. sinaica* BOISS.) meyveleri Elazığ il merkezine bağlı Kalkantepe (Tilek) köyünden 2019 yılı Ekim ayında toplanmıştır (Tablo 1). Toplanan örnekler polietilen torbalara konularak, soğutucu çanta ile laboratuvara getirilmiş, ekstrakt hazırlanmaya kadar + 4 °C'de bekletilmiştir.

Tablo 1. Örneklerin meyve rengi, alındığı koordinat ve rakımlar

	Meyve rengi	Koordinat	Rakım (m)
<i>C. monogyna</i>	Kırmızı	38 41 47 N 38 57 25 E	1347
<i>C. tanacetifolia</i>	Sarı	38 41 47 N 38 57 24 E	1349
<i>C. orientalis</i>	Turuncu	38 41 51 N 38 57 24 E	1361
<i>C. sinaica</i>	Kırmızı	38 41 27 N 38 57 07 E	1341

2.2. Ekstrakt Hazırlanması

5'er g çekirdeğinden ayrılmış meyve örneği 50 ml metanolla (%80) ile homojenize edildikten sonra 24 saat çalkalamalı inkübatörde (150 rpm) 4 °C'de bekletilmiş ve sonrasında 10 dk süreyle 10000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Elde edilen süpernatant toplam flavanoid madde, toplam fenolik madde ve antioksidan kapasite ölçümlerinde kullanılmıştır. Toplam askorbik asit analizi için aynı ekstraksiyon metodu kullanılmış, ancak homojenat hazırlanırken metanol yerine okzalik asit (% 0.4) kullanılmıştır.

Antimikrobiyal ve mutajenik aktivite analizlerinde kullanılmak üzere; 40 gr meyve örneğinin üzerine 200 ml saf su ilave edilmiş ve

homojenize edilmiştir. Elde edilen karışım 190 rpm'de, oda sıcaklığında, 72 saat süre ile ekstrakte edilmiş ve 72 saat sonunda 5000 rpm'de 10 dk santrifüj edilmiştir. Bu işlem sonucunda süpernatant toplanmış ve rotary evaporatör yardımıyla konsantre edilmiştir [12].

2.3. Toplam Fenolik Madde, Toplam Flavanoid Madde ve Toplam Askorbik Asit Tayini

Toplam fenolik madde tayini Folin-Ciocalteu metodu kullanılarak belirlenmiş, karışımın absorbansı spektrofotometrede 750 nm'de ölçülmüştür [13]. Alıç ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarları galik asit standardı ile mg/100g olarak hesaplanmıştır. Toplam flavanoid madde miktarı Quettier ve ark. [14]'nın metoduna göre 415 nm dalga boyunda spektrofotometre ile belirlenmiştir. Quersetin ile hazırlanmış olan kalibrasyon eğrisinden yararlanılarak mg/100g olarak hesaplanmıştır. Toplam askorbik asit tayini AOAC [15]'a göre 520 nm'de spektrofotometrik yöntemle belirlenmiştir. Örneklerin toplam askorbik asit miktarı kalibrasyon grafiği kullanılarak mg/100 g cinsinden hesaplanmıştır.

2.4. Antioksidan Kapasite Analizleri

2.4.1. DPPH Metodu

DPPH serbest radikallerinin indirgenme kapasitesi Bakhshi ve Arakawa [16]'ya göre belirlenmiştir. Hazırlanan karışımların absorbansı 515 nm dalga boyunda spektrofotometrede belirlenmiştir. %DPPH inhibisyonu formülüyle belirlenmiştir.

2.4.2. ABTS Metodu

ABTS yöntemi Re ve ark. [17]'na göre yapılmıştır. Örneklerin absorbansı 734 nm'de ölçülmüştür. % ABTS inhibisyonu formülüyle belirlenmiştir.

2.4.3. FRAP Metodu

Örneklerin antioksidan gücü FRAP yöntemi Benzie ve Strain [18]'in metoduna göre yapılmıştır. Absorbans 593 nm'de belirlenmiştir. FeSO₄ solüsyonu kullanılarak

hazırlanan standart eğriden yararlanılmış (100-1000 µl) ve sonuçlar µmol Fe II/g olarak hesaplanmıştır.

2.5. Antibakteriyel Aktivite Analizleri

2.5.1. Minimum İnhibisyon Konsantrasyonu (MİK)

Alıç meyvelerinin antibakteriyel aktivitesi broth mikrodilüsyon metoduna göre belirlenmiştir [19], [20]. Test bakterisi olarak 16 saat inkübe edilmiş ve McFarland 0.5'e göre ayarlanmış olan *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 33495, *Bacillus licheniformis* ATCC 14580, *Escherichia coli* ATCC 8739 ve *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048; Test esnasında kapaklı, steril, 96 kuyucuklu plaka kullanılmış olup, kuyucuklar içerisine 100 µl besiyeri olarak ise Muller Hinton Broth eklenmiştir kullanılmıştır. Daha sonra, ilk kuyucuğa 100 µl meyve ekstraktı eklenmiş ve Analizler esnasında *C. tanacetifolia* için 11.14-0.0435 mg/ml, *C. orientalis* için 11.09-0.0433 mg/ml, *C. monogyna* için 17.82-0.0696 mg/ml ve *C. sinaica* için 17.4-0.0679 mg/ml aralığında dilüsyon yapılmıştır. 16 saat inkübe edilmiş ve McFarland 0.5'e göre ayarlanmış olan bakteri kültürlerinden ise 100 µl ilave edilmiştir. Mikroplakalar 37 °C'de 18 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında, her bir kuyucuğa 20 µl % 0.5 2,3,5-triphenyltetrazolium chloride (TTC) solüsyonu eklenmiş ve yeniden 30 dk inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında renk değişimi gözlenmeyen kuyucuklar MİK olarak belirlenmiştir.

2.5.2. Maksimum Tolere Edilebilir Konsantrasyon (MTC)

Bakteri gelişimi üzerine etki göstermeyen en yüksek ekstrakt konsantrasyonu maksimum tolere edilebilir konsantrasyon (MTC) olarak belirlenmiştir [21].

2.6. Mutajenik Aktivite Tayini

Örneklerin sulu ekstraktların mutajenik aktivitesinin tespitine yönelik analizler, Maron ve Ames [22] tarafından geliştirilen plak inkorporasyon yöntemine göre yapılmıştır. Mutajen aktivite analizleri *Salmonella typhimurium* TA 98 ve *Salmonella typhimurium* TA 100 suşları üzerinde çalışılmıştır. Plaklar 37°C'de 48-72 saat inkübe edilmiş, daha sonra his+ revertant bakteri kolonileri sayılmıştır. Analizler S9 mix yokluğunda,

pozitif kontrol eşliğinde ve üç tekrarlı olarak yapılmıştır.

2.7. İstatistiksel Analizler

Tüm analizler 3 tekrarlı olarak yapılmış ve verilerin değerlendirilmesinde SPSS 20.0 paket programından yararlanılmıştır. Gruplar arasındaki farklılıklar Duncan testi ile $P < 0.05$ önem düzeyinde belirlenmiştir. Mutajenite testlerinde dört farklı alıç meyve örneğinden elde edilen ekstraktların etkisiyle geri dönen koloni sayıları saptanmıştır. Kontrol plakları ile meyve örneklerinin farklı konsantrasyonlarının denendiği plaklar arasında istatistiksel analiz SPSS 23 paket yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Verilerin normalitesi Kolmogorov-Smirnov testi ile kontrol edilmiştir. Normal dağılan verilere sahip parametrelerde gruplar arasındaki ayırım One-Way ANOVA, normal dağılmayan verilere sahip parametrelerde gruplar arasındaki ayırım Kruskal-Wallis testi ile analiz edilmiştir. Tüm sonuçlar aritmetik ortalama \pm aritmetik ortalamadan sapma şeklinde sunulmuştur (N=3).

3. Bulgular ve Tartışma

Farklı alıç türlerinin meyvelerindeki toplam fenolik madde, toplam flavanoid madde, toplam askorbik asit ve antioksidan kapasite sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Bilindiği gibi kırmızı meyveler içerdikleri renk pigmentlerinin yapısı nedeniyle yüksek antioksidan kapasiteye sahip meyvelerdir. Bu çalışmada kırmızı renkli meyvelere sahip olan *C. sinaica* türünün biyoaktif bileşen ve antioksidan aktivite değerlerinin diğer türlerden yüksek bulunması bu bilgiyi doğrular niteliktedir. Örneklerdeki toplam fenolik madde içeriğinin 670.43 ile 773.32 mg/100g aralığında olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre *C. monogyna* türünün meyvesi en düşük fenolik madde içeriğine sahiptir. Çoklar ve Akbulut [23] *C. orientalis* meyvelerinin metanol ekstraktında toplam fenolik madde içeriğini 1018.8 mg/100 g kuru ağırlık olarak bildirmişlerdir. Bu değer farklı alıç türlerinde Ercişli ve ark. [24] çalışmasında 660 ile 3460 mg/100g yaş ağırlık, Çalışkan ve ark. [25] çalışmasında 26.6 ile 57.1 mg/g kuru ağırlık, Mraih ve ark. [26] çalışmasında 60.89 ile 122.26 mg/100g kuru ağırlık olarak belirlenmiştir. Keser ve ark. [27] kurutulmuş *C. monogyna* meyvelerinin sulu ekstraktında fenolik madde içeriğinin 70.58 mg/g, etanolik

ekstraktında ise 71.69 mg/g olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Ercişli ve ark. [24] sonuçlarıyla paralellik gösterirken, diğer çalışmalardan daha düşük bulunmuştur. Bunun en önemli nedeninin diğer çalışmalarda kuru meyve kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte türün özellikleri, iklimsel faktörler, toprak yapısı, hasat zamanı, ekstraksiyon metodu ve çözücüsü gibi faktörler de sonuçların farklılığına neden olabilmektedir. Bahrı-Sahloul ve ark. [28] kırmızı alıç ekstraktlarının toplam fenolik madde miktarlarının (779.4-810.7mg/100 g) sarı alıç ekstraktlarınınkine oranla (498.5-530.3 mg/100 g FW) daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmamızda da kırmızı alıç (*C. sinaica*) örneklerinin fenolik içerik değeri diğer alıç örneklerinden daha yüksek bulunmuştur.

Toplam flavanoid madde içeriğinin 345.52 ile 452.46 mg/100g arasında olduğu belirlenmiştir. En yüksek değer *C. sinaica* ve *C. monogyna*, en düşük değer ise *C. tanacetifolia* türlerinde belirlenmiştir. Güzel [29] Çorum ilinden topladıkları alıç örneklerinin taze ekstraktlarında toplam flavanoid madde içeriğini 78.2 ile 272.6 mg/100 g aralığında belirlemişlerdir. Ebrahizadeh ve Bahramian [30] alıç örneklerinin toplam flavanoid madde miktarını 10.56- 23.98 mg/g olarak bildirmiştir. Edwards ve ark. [31] alıç örneklerinin toplam flavanoid madde içeriklerinin 4.46 ile 147.3 mg/g arasında olduğunu rapor etmiştir.

Toplam askorbik asit içeriği en düşük *C. orientalis* (17.7 mg/100g), en yüksek ise *C. sinaica* meyve ekstraktında (60.3 mg/100g) belirlenmiştir. Liu ve ark. [32] alıç meyvelerinde askorbik asit miktarının çok düşük düzeyde olduğunu bildirmişlerdir. García-Mateos ve ark. [33] alıç meyvelerinde toplam askorbik asit içeriğinin 27.51 ile 84.15 mg/100g değerleri aralığında olduğunu belirlemişlerdir. Nieto-Ángel [34] 16 alıç genotipinde toplam askorbik asit değerlerinin 38.6 ile 49.7 mg/100g aralığında olduğunu tespit etmiştir. Barros ve ark. [35] *C. monogyna* meyvelerinin toplam askorbik asit içeriğini 220.24 mg/100g kuru ağırlık olarak bildirmiştir.

Örneklerin antioksidan kapasite içerikleri 3 farklı metotla belirlenmiştir. ABTS radikali süpürücü aktivitesi en düşük *C. tanacetifolia* (% 51.62), en yüksek *C. sinaica* (% 68.61) türlerinde belirlenmiştir. DPPH radikali süpürücü aktivite *C. monogyna* türünde en düşük (% 67.76), *C. sinaica* türünde en yüksek (% 74.4) tespit edilmiştir. FRAP değeri en düşük *C. orientalis* (557.8 $\mu\text{gFeII/g}$), en yüksek *C. sinaica* (651.4 $\mu\text{gFeII/g}$) türlerinde

belirlenmiştir. Keser ve ark. [36] ABTS radikali süpürücü aktivitenin kurutulmuş *C. monogyna* meyvelerinin sulu ekstraktında % 50.76, etanolik ekstraktında % 52.50 olduğunu, DPPH radikali süpürücü aktivitenin ise sulu ekstraktta %27.63, etanolik ekstraktta % 33.24 olduğunu belirlemişlerdir. Okatan ve ark. [37] Uşak ilinde yetişen alıç örneklerinin DPPH radikali süpürme aktivitelerinin % 19.24 ile 59.24 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Çalışkan ve ark. [25] Doğu Akdeniz Bölgesinde yetişen alıç genotiplerindeki DPPH radikali süpürme oranının % 21.4 ile 33.2 aralığında olduğunu tespit etmişlerdir. Samec ve Piljac-Zegarac [38] alıçların FRAP değerini 6.33 mmol Fe²⁺/100g

olarak bildirmiştir. Keser [39] *C. monogyna* meyve etanol ekstresinde DPPH radikali süpürücü aktivitenin % 88.22, su ekstresinde % 87.22 olduğunu; ABTS radikali süpürücü aktivitenin ise etanol ekstresinde % 52.50, su ekstresinde % 50.76 olduğunu tespit etmiştir. Kiselova ve ark. [40] *C. monogyna* meyvelerinin su ekstresinin ABTS radikali süpürücü kapasitelerinin % 50.76 olduğunu gözlemişlerdir. Bu çalışmada tespit edilen antioksidan aktivite sonuçları literatürde verilen bazı sonuçlardan düşük, bazılarında ise daha yüksek bulunmuştur. Bu durum metotsal farklılıklardan kaynaklanabileceği gibi çözücü farklılıkları, iklimsel ve coğrafik farklılıklardan da kaynaklanabilir.

Tablo 2. Alıç örneklerinin bazı biyoaktif bileşen ve antioksidan kapasite sonuçları

	Toplam Fenolik Madde (mg/100g)	Toplam Flavanoid Madde (mg/100g)	Toplam Askorbik Asit (mg/100g)	ABTS (%)	DPPH (%)	FRAP (µgFeII/g)
<i>C. monogyna</i>	670.43±22.3d	441.96±0.4a	28.9±2.1c	60.52±2.9b	67.76±0.5c	628.7±0.5b
<i>C. tanacetifolia</i>	742.19±15.1b	345.52±1.5c	32.4±1.2b	51.62±0.6c	70.9±0.4b	572.6±0.9c
<i>C. orientalis</i>	705.06±37c	365.78±0.4b	17.7±1.9d	59.39±1.9b	70.75±0.6b	557.8±1.1d
<i>C. sinaica</i>	773.32±19.4a	452.46±0.1a	60.3±2.8a	68.61±2.4a	74.40±0.2a	651.4±2.9a

Aynı sütunda gösterilen farklı harfler (a-d) istatistiksel olarak farklılıkları göstermektedir (p<0.05)

Örneklerin antibakteriyel aktivite sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Tüm alıç ekstraktlarına karşı en duyarlı bakterilerin *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 ve *Escherichia coli* ATCC 8739 olduğu gözlenirken, en düşük antibakteriyel aktivite ise *Enterobacter aerogenes* ATCC 13048 ve *Klebsiella pneumoniae* ATCC 33495'ye karşı tespit edilmiştir. Ghendov-Moşanu ve ark. [41] kurutulmuş alıç meyve pudrasından elde ettikleri etanolik ekstraktın MİC değerlerinin *Staphylococcus aureus* ATCC 25923'e karşı 41.66 mg/mL, *Escherichia coli* ATCC 25922'ye karşı 62.5 mg/mL iken MTC değerlerinin *Staphylococcus aureus* ATCC 25923'e karşı 83.33 mg/mL, *Escherichia coli* ATCC 25922'ye karşı 125 mg/mL olduğunu tespit etmişlerdir. Ekstraktların *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13883'e karşı etkili olmadığı belirlenmiştir. Zhang ve ark. [42] alıç meyvelerinin metanolik ekstraktlarının *S. aureus* ve *S. typhimurium*'a karşı MIC ve MBC değerlerinin 1.25 µg/mL olduğunu belirlemişlerdir. Duffy ve Power [43] *C. cuneata* etanol ekstraktının MIC değerinin *E. coli*'ye karşı 9.50 mg/mL olduğunu; Orhan ve ark. [44] ise *C. monogyna*, *C. pseudoheterophylla*, ve *C. azarolus*'un etanolik ekstraktının MIC değerinin *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus* ve çalışmada kullanılan

diğer bakterilere karşı 8 ve 128 µg/mL arasında olduğunu bildirmişlerdir.

Yine Güven ve ark. [45], *C. tanacetifolia* ve *Crataegus x bornmüellerii* meyve ekstraktlarının antimikrobiyal etkisini incelemiş, *C. tanacetifolia* türünün ekstraktının 25 bakteri (*Salmonella Typhimurium*, *Pseudomonas fluorescens* ve *P. gingeri* hariç) ve *Penicillium notatum* üzerinde antimikrobiyal etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. *Crataegus x bornmüellerii* ekstraktının ise bazı test bakterileri ve maya türleri üzerinde antimikrobiyal etki gösterdiği, ancak *Yersinia enterocolitica* ve *P. fluorescens* üzerinde etkili olmadığı bildirilmiştir. Tadić ve ark. [46] etanolik alıç ekstraktlarının *Micrococcus flavus*, *Bacillus subtilis* ve *Lysteria monocytogenes* gibi gram pozitif bakterilere karşı antibakteriyel etki gösterdiğini, fakat *Candida albicans*'a karşı antifungal aktivite göstermediğini bildirmişlerdir.

Genel olarak bakıldığında farklı *Crataegus* türlerinin farklı düzeylerde antimikrobiyal aktivite sergilediği gözlenmektedir. Ancak; yapılan çalışmalardan elde edilen verilerde bazı farklılıklar söz konusu olabilmektedir. Bu farklılıklar ise genel olarak bitkilerin yetiştiği coğrafik ve ekolojik koşullar, kullanılan ekstraksiyon yöntemi ve ekstrakttaki madde konsantrasyonu, tercih edilen

mikroorganizma türü ve/veya suşu, kullanılan analiz yöntemi gibi birçok nedenden kaynaklanabilmektedir.

Tablo 3. Alıç örneklerinin antibakteriyel aktivite sonuçları

		<i>C. monogyna</i>		<i>C. tanacetifolia</i>		<i>C. orientalis</i>		<i>C. sinaica</i>	
		MIC (mg/ml)	MTC (mg/ml)	MIC (mg/ml)	MTC (mg/ml)	MIC (mg/ml)	MTC (mg/ml)	MIC (mg/ml)	MTC (mg/ml)
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 6538		2.2275	1.1137	1.3925	0.6962	1.3862	0.6931	2.175	1.0875
<i>Enterobacter aerogenes</i> ATCC 13048		17.82	8.91	11.14	5.57	5.545	2.7725	17.4	8.7
<i>Klebsiella pneumoniae</i> ATCC 33495		17.82	8.91	11.14	5.57	11.09	5.545	17.4	8.7
<i>Escherichia coli</i> ATCC 8739		1.1137	0.5568	1.3925	0.6962	0.6931	0.3465	2.175	1.0875
<i>Bacillus licheniformis</i> ATCC 14580		8.91	4.455	2.785	1.3925	2.7725	1.3862	8.7	4.35

Bitkilerin içerdikleri bazı bileşenler yüksek dozda alındığında toksik etki göstermekte ve mutajen olarak görev yapmaktadırlar [47]. Bu nedenle bitkilerin mutajenik aktivitelerinin araştırılması önem taşımaktadır. Bu çalışmada alıç ekstraktlarının ön denemelerle belirlenen 4 farklı dozunun (10, 20, 40, 80 µl/plak) mutajenik aktiviteleri *S. typhimurium* TA 98 ve TA 100 suşları üzerinde araştırılmıştır (Tablo 4, 5). Alıç ekstraktlarının denenen hiçbir dozunda *S. typhimurium* TA 98 ve TA 100 suşları üzerinde mutajenik aktiviteye rastlanmamıştır. Benzer

şekilde Sun ve ark. [48]'da *C. sanguinea* ekstraktlarının hiçbir dozunun (50-150 mg/plaka) TA 98 ve TA 100 soylarına karşı önemli düzeyde bir mutajenik etki göstermediğini belirlemişlerdir. Çalışmamızdan farklı olarak Quadros ve ark. [49] *C. oxyacantha* ekstraktlarının çalışmalarında kullandıkları tüm dozlarının (2.5-500 µg/ml) *S. typhimurium*'un TA 98 soyuna karşı S9 varlığında mutajenik etki gösterdiğini bildirmişlerdir. TA 100 soyunda S9 varlığında ve yokluğunda mutajenik etki gözlenmemiştir.

Tablo 4. Alıç örneklerinin *Salmonella typhimurium* TA 98 üzerine mutajenik aktivitesi

Örnek Miktarı (µl plak ⁻¹)	<i>C. monogyna</i>	<i>C. tanacetifolia</i>	<i>C. orientalis</i>	<i>C. sinaica</i>
Pozitif kontrol (SA)*	6328.67±769.31**			
Kontrol	19.00±4.58			
10	11.00±1.73	31.33±18.58	14.67±3.06	12.67±2.31
20	20.00±13.00	21.67±2.08	15.00±3.61	20.67±0.58
40	28.33±6.51	17.67±6.11	13.67±2.08	16.00±4.36
80	23.67±10.50	14.33±5.86	15.33±2.08	21.00±6.08

*SA: Sodyum Azid; **Pozitif kontrol; kontrol dahil tüm gruplardan istatistiksel olarak farklıdır ($P<0.05$).

Tablo 5. Alıç örneklerinin *Salmonella typhimurium* TA 100 üzerine mutajenik aktivitesi

Örnek Miktarı (µl plak ⁻¹)	<i>C. monogyna</i>	<i>C. tanacetifolia</i>	<i>C. orientalis</i>	<i>C. sinaica</i>
Pozitif Kontrol (4-NPD)*	1876.00±432.93**			
Kontrol	110.00±27.40			
10	93.33±19.01	94.67±12.42	129.33±14.57	99.33±14.74
20	122.33±42.16	108.33±38.70	121.67±22.48	113.00±19.98
40	93.00±16.09	101.00±37.24	102.33±32.13	142.00±25.87
80	113.00±26.85	113.33±12.06	129.00±43.09	133.33±30.44

*4-NPD: 4-nitro-o-phenylenediamine; **Pozitif kontrol; kontrol dahil tüm gruplardan istatistiksel olarak farklıdır ($P<0.05$).

4. Sonuç ve Öneriler

Ülkemiz çok çeşitli yabancı meyve türlerine ev sahipliği yapmaktadır. Bunların arasında sağlığı destekleyici bileşenlerinin fazlalığına rağmen en az değeri bilinen türlerden bir tanesi alıç meyvesidir. Alıç meyveleri çiğ olarak tüketilebilmektedir, bununla birlikte fermantasyonu sonucunda elde edilen sirkesi de günümüzde oldukça değerli bir üründür. Bu çalışmada Elazığ ilinde yetişen 4 alıç türünün bazı biyolojik özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Türler arasında kırmızı, iri meyveleriyle dikkat çeken *C. sinaica* meyvesinin biyoaktif bileşen miktarı ve antioksidan kapasitesi diğer türlere oranla yüksek bulunmuştur. Meyvelerin dikkat çekici düzeyde biyoaktif bileşen ve antioksidan kapasiteye sahip oldukları belirlenmiştir. Aynı zamanda meyveler antibakteriyel özelliğe de sahipken, mutajenik özelliklerine rastlanmamıştır. Bütün bu değerler alıç meyvelerinin sağlığı destekleyici olarak kullanılabilmesini göstermektedir. Ülkemizde sadece Hatay bölgesinde kültür bitkisi olarak üretilen alıç bitkisinin üretiminin diğer illerde de desteklenmesi ve halk arasında tüketiminin artırılmasına yönelik çalışmaların yapılması tarafımızca önerilmektedir.

Kaynaklar

- [1] N. G. Özkan, S. Aslan and M. Fırat, L. Phlomis, U. Akkemik, "Türkiye'nin doğal-egzotik ağac ve çalıları II." *Orman Genel Müdürlüğü Yayınları*, Ankara, Türkiye, 2014, pp. 58-65.
- [2] T. Karadeniz, "Şifalı meyveler," K.T.Ü. Ordu Ziraat Fakültesi, *Bahçe Bitkileri Bölümü*, Ordu, Türkiye, 2004, pp.34-36.
- [3] F. Balta, O. Karakaya and G. Kaptan Ekici, "Çorum'da yetişen alıçların (*Crataegus* spp.) fiziksel özellikleri," *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 5, no. 2, pp. 35-41, 2015.
- [4] J. Bruneton, "*Pharmacognosy, Phytochemistry, Medicinal Plants*" 2nd ed. Lavoisier Publishing, Paris, France, 1999.
- [5] M. Özcan, H. Haciseferogullari, T. Marakoglu and D. Arslan, "Hawthorn (*Crataegus* spp.) fruit: some physical and chemical properties," *J. Food Eng.*, vol. 69, no. 4, pp. 409-413, 2005.
- [6] H. Çelik, "Erzincan yöresinin ağaç ve çalı formundaki tıbbi aromatik bitkileri", in *Erzincan Tıbbi ve Aromatik Bitkiler Arama Çalıştayı*, Erzincan, Türkiye, 16 Feb. 2017, pp.129.
- [7] R. İ. Gazioğlu, "Van yöresinde yetişen alıçlar," Yüksek Lisans Tezi, Yüzyüncü Yıl Üniv., Van, Türkiye, 2000.
- [8] B. Asma and O. Birhanlı, "Malatya ve çevresinde doğal olarak yetişen alıçlarda seleksiyon çalışmaları," *Türkiye IV. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi*. Akdeniz Üni., Ziraat Fak., Bahçe Bitkileri Böl., Antalya, Türkiye, 2003, pp. 61-62.
- [9] M. F. Balta, F. Çelik, N. Türkoğlu, K. Özenk and F. Özgökçe, "Some fruit traits of hawthorn (*Crataegus* sp.) genetic resources from Malatya, Turkey," *Res. J. Agric. Biol. Sci.*, vol. 2, no. 6, pp. 531-536, 2006.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan alıç örneklerinin toplanması esnasında yardımlarını esirgemeyen Rabia MURATHAN ve Murat MURATHAN'a teşekkürlerimizi sunarız.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

- [10] M. Yanar, S. Ercişli, K. U. Yılmaz, H. Şahiner, T. Taşkın, Y. Zengin, I. Akgül and F. Çelik, "Morphological and chemical diversity among hawthorn (*Crataegus spp.*) genotypes from Turkey," *Sci. Res. Essays*, vol. 6, no. 1, pp. 35-38, 2011.
- [11] M. Gündoğdu, K. Özrenk, S. Ercişli, T. Kan, O. Kodad and A. Hegedus, "Organic acids, sugars, vitamin C content and some pomological characteristics of eleven hawthorn species (*Crataegus spp.*) from Turkey," *Biol. Res.*, vol. 47, pp. 21, 2014.
- [12] Z. T. Murathan, M. Arslan and N. Erbil, "Analyzing biological properties of some plum genotypes grown in Turkey," *Int. J. Fruit Sci.*, vol. 20, no. 3, pp. 1729-1740, 2020.
- [13] G. A. Spanos and R. E. Wrolstad, "Phenolic of apple, pear and white grape juices and their changes with processing and storage," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 40, no. 9, pp. 1478-1487, 1992
- [14] C. Quettier-Deleu, B. Gressier, J. Vasseur, T. Dine, C. Brunet, M. Luyckx, M. Cazin, J. C. Cazin, F. Bailleul and F. Trotin, "Phenolic compounds and antioxidant activities of buckwheat (*fagopyrum esculentum* moench) hulls and flour," *J. Ethnopharmacol.*, vol. 72, no. 1-2, pp. 35-40, 2000.
- [15] AOAC, "*Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*," 15th ed. Arlington VA., 1990, pp.1058-1059.
- [16] D. Bakhshi and O. Arakawa, "Effects of UV-b irradiation on phenolic compound accumulation and antioxidant activity in 'Jonathan' Apple influenced by bagging, temperature and maturation," *J. Food, Agric. Environ.*, vol. 4, no. 1, pp. 75-79, 2006.
- [17] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans, "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay," *Free Radic. Biol. Med.*, vol. 26, no. 9/10, pp.1231-1237, 1999.
- [18] I. F. F. Benzie and J. J. Strain, "The ferric reducing ability of plasma (FRAB) as a measure of antioxidant power: The FRAB assay," *Anal. Biochem.*, vol. 239, pp. 70-76, 1996.
- [19] U. Abbasoğlu, F. Tosun and A. Aydınoğlu, "Antimicrobial activity of *Gonocytisus angulatus* (L.) spach," *FABAD J. Pharmaceutical Sci.*, vol. 20, pp. 125-127, 1995.
- [20] N. E. Uysal, "Determination of antibacterial activities of *Taraxacum farinosum* hausskn. et bornm. and *Taraxacum mirabile* wagenitz extracts," Master Thesis, Selçuk Univ., Institute of Sciences, Konya, Turkey, 2011.
- [21] O. Erkmén, "*Laboratory Techniques in Microbiology*," Nobel Academic Publishing Education Consultancy, Ankara, Turkey, 2016.
- [22] D. Maron and B. Ames, "Revised methods for the *Salmonella* mutagenicity test," *Mutation Res.*, vol. 113, pp.173-215, 1983.
- [23] H. Çoklar and M. Akbulut, "Alıç (*Crataegus orientalis*) meyvesinin antioksidan aktivitesi ve fenolik bileşiklerinin ekstraksiyonu üzerine farklı çözümlerin etkisi," *Derim*, vol. 33, no. 2, pp. 237-248, 2016.
- [24] S. Ercişli, M. Yanar, M. Sengül, H. Yıldız, E. F. Topdas, T. Taskin, Y. Zengin, and K. U. Yılmaz, "Physico-chemical and biological activity of hawthorn (*Crataegus spp.* L.) fruits in Turkey," *Acta Sci. Pol. Hortorum Cultus*, vol. 14, no. 1, pp. 83-93, 2015.
- [25] O. Caliskan, K. Gündüz, S. Serçe, C. Toplu, Ö. Kamiloğlu, M. Sengül and S.Ercişli, "Phytochemical characterization of several hawthorn (*Crataegus spp.*) species sampled from the Eastern Mediterranean region of Turkey," *Pharmacogn. Mag.*, vol. 8, no. 29, pp. 1-16, 2012.
- [26] F. Mraïhi, M. Journi, J. K. Chérif, M. Sokmen, A. Sokmen and M. Trabelsi-Ayadi, "Phenolic contents and antioxidant potential of *Crataegus* fruits grown in tunisia as determined by DPPH, FRAP, and β -carotene/linoleic acid assay," *J. Chem.*, vol. 2013, pp. 6, 2013.
- [27] S. Keser, S. Celik, S. Turkoglu, Ö. Yılmaz and I. Turkoglu, "The investigation of some bioactive compounds and antioxidant properties of hawthorn (*Crataegus monogyna* subsp. *monogyna* Jacq)," *J. Intercult. Ethnopharmacol.*, vol. 3, no. 2, pp. 51, 2014.
- [28] R. Bahri-Sahloul, S. Ammar, S. Grec and F. HarzallahSkhiri, "Chemical characterisation of *Crataegus azarolus* L. fruit from 14 genotypes found in Tunisia," *J. Hort. Sci. Biotechnol.*, vol. 84, no. 1, pp. 23-28, 2009.
- [29] N. Güzel, "Alıç: Biyoaktif bileşenlerin termosonikasyon ile ekstraksiyonu ve fizikokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesi," *Gıda*, vol. 46, no. 4, pp. 939-948, 2021
- [30] M. A. Ebrahimzadeh and F. Bahramian, "Antioxidant activity of *Crataegus pentaegyna* subsp. *elburensis* fruits extracts," *Pak. J. Biol. Sci.*, vol. 12, no. 5, pp. 413-419, 2009.

- [31] J. E. Edwards, P. N. Brown, N. Talent, T. A. Dickinson and P. R. Shipley, "A review of the chemistry of the genus *Crataegus*," *Phytochem.*, vol. 79, pp. 5-26, 2012
- [32] P. Liu, H. Kallio, D. Lu, C. Zhou, S. Ou and B. Yang, "Acids, sugars, and sugar alcohols in Chinese hawthorn (*Crataegus* spp.) fruits," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 58, no. 2, pp. 1012-1019, 2010
- [33] R. García-Mateos, E. Ibarra-Estrada and R. Nieto-Angel, "Antioxidant compounds in hawthorn fruits (*Crataegus* spp.) of Mexico," *Rev. Mex. Biodivers.*, vol. 84, no. 4, pp. 1298-1304, 2013.
- [34] R. Nieto-Ángel, "Colección, conservación y caracterización del tejocote (*Crataegus* spp.) in frutales nativos, un recurso fitogenético de México," R. Nieto-Ángel (ed.). Universidad Autónoma Chapingo-Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (Snics-Sagarpa), Chapingo, México, 2007, pp. 25-107.
- [35] L. Barros, A. M. Carvalho and I. C. Ferreira, "Comparing the composition and bioactivity of *Crataegus monogyna* flowers and fruits used in folk medicine," *Phytochem. Anal.*, vol. 22, no. 2, pp. 181-188, 2011.
- [36] V. Okatan, M. Gündoğdu and A. M. Çolak, "Uşak'ta yetişen farklı alıç (*Crataegus* spp.) genotipi meyvelerinin bazı kimyasal ve pomolojik karakterlerinin belirlenmesi," *Journal of the Institute of Science and Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 39-44, 2017.
- [37] D. Šamec and J. Piljac-Žegarac, "Postharvest stability of antioxidant compounds in hawthorn and cornelian cherries at room and refrigerator temperatures-Comparison with blackberries, white and red grapes," *Sci. Hort.*, vol.131, pp. 15-21, 2011.
- [38] S. Keser, "Determination of total antioxidant activities of yarrow (*Achillea millefolium*), hawthorn (*Crataegus monogyna*) and blackberry (*Rubus discolor*) and investigation of their effects on some biochemical parameters in oxidative stress generated rats," Ph. D. Thesis, Firat Univ., Sciences Institute, Elazığ, Turkey, 2012.
- [39] Y. Kiselova, D. Ivanova, T. Chervenkov, D. Gerova, Galunska B. and T. Yankova, "Correlation between the in vitro antioxidant activity and polyphenol content of aqueous extracts from Bulgarian herbs," *Phytotherapy Res.*, vol. 20, no. 11, pp. 961-965, 2006.
- [40] A. Ghendov-Mošanu, D. Cojocari, G. Balan, and R. Sturza, "Antimicrobial activity of rose hip and hawthorn powders on pathogenic bacteria," *J. Eng. Sci.*, vol. 25, no. 4, pp. 100-107, 2018.
- [41] L. L. Zhang, L. F. Zhang and J. G. Xu, "Chemical composition, antibacterial activity and action mechanism of different extracts from hawthorn (*Crataegus pinnatifida* Bge.)," *Sci. Rep.*, vol. 10, no. 1, pp. 1-13, 2020.
- [42] C. F. Duffy and R. F. Power, "Antioxidant and antimicrobial properties of some Chinese plant extracts," *Int. J. Antimicrob. Agents*, vol. 17, no. 6, pp. 527-529, 2001.
- [43] I. Orhan, B. Ozcelik, M. Kartal, B. Ozdeveci and H. Duman, "HPLC quantification of vitexine-2-O-rhamnoside and hyperoside in three *Crataegus* species and their antimicrobial and antiviral activities," *Chromatography*, vol. 66, no. 1, pp. 153-157, 2007.
- [44] K. Guven, E. Yucel and F. Cetintas, "Antimicrobial activities of fruits of *crataegus* and *pyrus* species," *Pharmaceutical Biol.*, vol. 44, pp. 79-83, 2006.
- [45] V. M. Tadic, S. Dobric, G. M. Markovic, S. M. Dordevic, I. A. Arsicc, N. R. Menkovic and T. Stevic, "Anti-inflammatory, gastroprotective, free-radical-scavenging, and antimicrobial activities of hawthorn berries ethanol extract," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 56, no. 17, pp. 7700-7709, 2008.
- [46] W. I. Wan-Ibrahim, K. Sidik and U. R. Kuppusamy, "A high antioxidant level in edible plants is associated with genotoxic properties," *Food Chem.*, vol. 122, no. 4, pp. 1139-1144, 2010.
- [47] J. Sun, G. Gao, Y. Gao, X. Li, J. Guo and Y. Zhang, "Experimental research on the in vitro antitumor effects of *Crataegus sanguinea*," *Cell Biochem. Biophys.*, vol. 67, no. 1, pp. 207-213, 2013.
- [48] A. P. O. de Quadros, D. E. C. Mazzeo, M. A. Marin-Morales, F. F. Perazzo, P. C. P. Rosa, E. L. Maistro, "Fruit extract of the medicinal plant *Crataegus oxyacantha* exerts genotoxic and mutagenic effects in cultured cells," *J. Toxicol. Environ. Health, Part A*, vol. 80, no. 3, pp. 161-170, 2017.

Factors Associated with Match Result and Number of Goals Scored and Conceded in the English Premier League

Günal BİLEK^{1*}, Betül AYGÜN²

¹Department of Business Administration, Izmir Democracy University, Izmir, Turkey

²Management Information Systems, Izmir Democracy University, Izmir, Turkey

(ORCID: [0000-0001-6417-7129](https://orcid.org/0000-0001-6417-7129)) (ORCID: [0000-0001-9610-9235](https://orcid.org/0000-0001-9610-9235))



Keywords: Support vector machine, Multinomial logistic regression, Poisson regression, Machine learning, Performance analysis, Football.

Abstract

The aim of this research is to identify the factors associated with the match result and the number of goals scored and conceded in the English Premier League. The data consist of 17 performance indicators and situational variables of the football matches in the English Premier League for the season of 2017-18. Poisson regression model was implemented to identify the significant factors in the number of goals scored and conceded, while multinomial logistic regression and support vector machine methods were used to determine the influential factors on the match result. It was found that scoring first, shots on target and goals conceded have significant influence on the number of goals scored, whereas scoring first, match location, quality of opponent, goals conceded, shots and clearances are influential on the number of goals conceded. On the other hand, scoring first, match location, shots, shot on target, clearances and quality of opponent significantly affect the probability of losing; while scoring first, match location, shots, shots on target and possession affect the probability of winning. In addition, among all the variables studied, scoring first is the only variable appearing important in all the analyses, making it the most significant factor for success in football.

1. Introduction

Football is the most popular sport in the world and its economy is worth billions of dollars. Also, rapid advances in technology make it easier to collect football data. As a result of these two, there has been a significant increase in the number of studies aiming to model the outcomes of the matches [1]. Modeling match results and effective parameter selections are not only popular in football, but also in other sport sciences. For instance, [2] combined three factors by adopting contribution parameters to simulate outcomes of the future games in Major League Baseball, [3] investigated the parameters that affect the National Basketball Association team values and [4] presented a new hybrid model, based on the definition of the Poisson distribution, to predict ice hockey match results. However, the sport field where the prediction of the match result is most frequently studied is football.

There are two different empirical literatures on modeling the results of matches in football. The first approach targets to model the match results (win, draw, and lose) directly, while the latter aims to model the number of scored and conceded goals [5]. This study intends to contribute to both of them. Therefore, this study is divided into two parts. The first part aims to investigate the performance indicators and situational variables affecting the number of scored and conceded goals with Poisson regression model. Although this paper is not the first one aiming to model scored and conceded goals, it is the only one (to our knowledge) aiming to investigate which variables affect the number of goals to what extent. The studies aiming to predict the number of goals [6]–[9] mainly focused on the statistical modelling rather than performance analysis. With this research, we aim to fill this gap by identifying the factors significantly associated with the number of goals conceded and scored and these variables' size of

*Corresponding author: gunalbilek@gmail.com

Received: 20.10.2021, Accepted: 10.02.2022

effect on goals. The second part of this study targets to detect the variables directly affecting the match results with multinomial logistic regression and support vector machine methods. The aim of using two different approaches for the same reason is to compare the performances of the models and investigate if the same variables have significant effect on the match result in the two models.

Variable selection is the first and the most important step of predicting the match result and the number of goals scored and conceded because there are many variables measured in a match and it is not possible or plausible to include all of them in the analyses. Therefore, it is wise to choose the ones that have the potential to be significant and this is done based on the previous studies. After reviewing the current literature, we ended up with the variables of scoring first [10]–[12], match location [10]–[18], quality of opponent [11], [12], [19], clearances [12], [20]–[22] corners, passes [21], [23], previous match result [24], goals scored per game [25], goals conceded per game [26], ball possession [27]–[31], shots, shots on target [14], [31]–[33], tackles [20], [22] and touches[34].

2. Material and Method

2.1. Data

In this study, the data consist of 17 variables, some of which performance indicators and some situational variables, of football teams in the English Premier League (EPL) in the season of 2017-18. Data of each team are analysed individually. Therefore, each match corresponds to two different observations, one for home team and one for away. Since there are 20 teams in the EPL, 380 games are played every season, leading to 760 observations. As some variables require information from the previous week and this is not possible for the first week, its observations are removed from the data set, which leaves a total of 740 observations to analyse. The variables used in this research and their definitions are as follows:

- Result ©: Result of the match – *win*, *draw* or *lose*.
- Goals scored (*GS*): Number of goals the team scored in the match.
- Goals conceded (*GC*): Number of goals the opposing team scored.
- Match location (*ML*): Where the team played the game – *home* or *away*
- Scoring first (*SF*): A dummy variable indicating whether or not the team scored first – *yes* (1) or *no* (0)
- Quality of opponent (*QO*): A metric showing the quality of the opposing team calculated by the difference between the rankings of the teams, that is, $R_1 - R_2$, where R_1 and R_2 are the rankings of the first-named team and its opponent in the EPL in the current week, respectively. The larger the *QO*, the stronger the opponent is.
- Goals for per game (*GFPG*): Average number of goals scored by the team per game.
- Goals against per game (*GAPG*): Average number of goals scored against the team per game.
- Shots (*S*): Total number of shots of the team in the match.
- Shots on target (*ST*): Total number of shots on target of the team in the match.
- Clearances ©: Total number of clearances of the team in the match.
- Corners (*Co*): Total number of corners of the team in the match.
- Passes (*P*): Total number of passes completed by the team in the match.
- Possession percentage (*PP*): Percentage of time in which the team possesses the ball in the match.
- Previous result (*PR*): Result of the team's previous match; *win*, *draw*, or *lose*.
- Tackles (*T*): Total number of tackles of the team in the match.
- Touches (*To*): Total number of touches of the team in the match.

The data were obtained from the official website of www.premierleague.com which retrieves data from OPTA whose data reliability range from 0.92 to 0.94 [35].

2.2. Statistical Analysis

Poisson regression (PR), multinomial logistic regression (MLR) and support vector machine (SVM) methods are applied for the feature extraction and predictive analysis. During this study, firstly the factors which significantly affect the match outcome and scored and conceded goal numbers are extracted and prediction models are applied to predict whether the match outcome is win, draw or lose. In this section, used methods for the analysis are detailed and, finally, the predictive classification performance metrics are described. For this analysis, Python *statsmodel* 0.12.0 library is used.

2.2.1. Poisson Regression (PR)

PR is a member of the generalised linear model family which can provide precise results for data sets with count, binary, ordinal and time-to-success dependent variables [36]. As this paper aims to model the number of scored and conceded goals, which are count variables, PR is used. The results are reported with coefficients, odds ratios and corresponding p values. This model is also used to predict the match results as draw, win or lose by considering the differences between the predicted number of goals scored and conceded by the teams. The prediction performance of the match results is statistically summarized and visualized with the heat map.

2.2.2 Support Vector Machine (SVM)

SVM is a type of a supervised machine learning algorithms for classification and feature extraction. Since SVM has advantages in dealing with high dimensional problems and solving small sample datasets as in this study, it is expected to yield better and meaningful results [37], [38]. There are three main parameters that must be optimized for the SVM algorithm: kernel function, regularization, and gamma values. Kernel function is used to transform input data into the required form. The study [39] claimed that, polynomial SVM kernel and tangential kernel performs poorer than radial and linear kernels for the groups coming from Poisson distribution [39]. Therefore, linear kernel is

selected as kernel parameter. Besides, for the C and gamma parameters tuning, grid search view is applied; while for the implementation of SVC, Python Scikit Learn 0.23.2 library is used [40].

2.2.3. Multinomial Logistic Regression (MLR)

Since the number of the possible outcomes of the matches (win, lose and draw) is greater than two: the multinomial logistic regression approach is used to model the match results. The accuracy of the match results predicted is visualized with the heat map. Besides, regression coefficients, p values and odds ratios are evaluated to discuss the effects of the variables on the relationship with the dependent variable [41].

2.3. Predictive Performance Metrics of Classification

The match outcomes are predicted by using the defined methods. The dataset is divided into training and testing data sets with a ratio of 70:30. To evaluate the accuracy of the models, confusion matrix is used which summarizes the correctly and incorrectly classified outcomes. Accordingly, statistical metrics as precision, recall, and F1-score are evaluated to compare the prediction performances of the algorithms. High precision shows that more relevant results are returned than the irrelevant ones within predicted values by the algorithm and high recall means that of the relevant results are returned among actual results [42]. On the other hand, F1-score is evaluated to see the balance between the precision and recall. It provides more confidence result than accuracy for the dataset having unequal class distribution.

3. Results

First, which factors affect the number of goals scored and conceded and match result and how they affect them are discussed in the first two subsections. Second, the prediction performances of these algorithms are detailed.

3.1. Factors Associated with Goals Scored and Conceded

Table 1 presents Poisson regression results showing coefficients, odds ratios ($e^{\text{coefficient}}$) and p values for situational variables and performance indicators on the number of goals scored and conceded. Since the match result is determined by the number of goals conceded and

scored, it is not included in the model when analysing the number of goals scored and conceded. The regression coefficients indicate the change in the logarithm odds of the number of goals scored and conceded for a change in the explanatory variable. Additionally, if the sign of a coefficient is positive, this means that this variable positively affects the number of goals scored or conceded. Based on that, it is noted that GC, SF and ST have positive significant effects

on the number of goals scored. To illustrate, if a team concedes a goal, that team is expected to increase the number of goals scored by 8.84% $((1.0884 - 1) \times 100)$. Similarly, each shot on target rises the number of goals scored by 18.05%. Additionally, scoring-first teams are likely to score 110.52% goals more. The remaining variables have no significant effect on the number of goals scored.

Table 1. Poisson regression results showing regression coefficients, odds ratios (ORs) and p values for situational variables and performance indicators on goals scored and conceded.

Variable	Goals scored			Variable	Goals conceded		
	Coef	OR	p		Coef	OR	p
<i>Intercept</i>	-1.0294	0.3572	0.0035**	<i>Intercept</i>	2.1604	8.6750	<0.001***
<i>GC</i>	0.0847	1.0884	0.0154*	<i>GS</i>	0.0607	1.0626	0.024*
<i>SF (yes)</i>	0.7444	2.1052	<0.0001***	<i>SF (yes)</i>	-0.5154	0.5973	<0.001***
<i>ML (home)</i>	0.1290	1.1376	0.1060	<i>ML (home)</i>	-0.3156	0.7294	<0.001***
<i>QO</i>	-0.0105	0.9896	0.2990	<i>QO</i>	0.0162	1.0164	0.0069**
<i>S</i>	-0.0141	0.9860	0.4060	<i>S</i>	-0.0232	0.9770	0.0284*
<i>ST</i>	0.1659	1.1805	<0.0001***	<i>ST</i>	0.0029	1.0030	0.8874
<i>C</i>	0.0031	1.0031	0.3221	<i>C</i>	-0.0264	0.9740	<0.001***
<i>Co</i>	-0.0146	0.9855	0.5585	<i>Co</i>	0.0049	1.0049	0.7107
<i>T</i>	0.0062	1.0062	0.1051	<i>T</i>	0.0024	1.0024	0.7153
<i>To</i>	-0.0003	0.9996	0.4197	<i>To</i>	-0.0004	0.9996	0.6313
<i>P</i>	0.0006	1.0006	0.1572	<i>P</i>	-0.0004	0.9996	0.6892
<i>PP</i>	-0.0019	0.9981	0.5528	<i>PP</i>	-0.0041	0.9959	0.5505
<i>GAPG</i>	-0.0010	0.9901	0.9980	<i>GAPG</i>	-0.1032	0.9019	0.1806
<i>GFPG</i>	0.0219	1.0222	0.5229	<i>GFPG</i>	-0.0286	0.9718	0.6866
<i>PR (loss)</i>	-0.0068	0.9932	0.6764	<i>PR = loss</i>	0.0855	1.0893	0.2926
<i>PR (win)</i>	0.0405	1.0413	0.2507	<i>PR = win</i>	-0.0515	0.9498	0.5666

Coef: regression coefficient; OR: odds ratio; *: significant at the level 0.05; **: significant at the level 0.01; ***: significant at the level 0.001

Continuing with conceded goals, the variables which significantly adversely affect the number of goals conceded are SF, ML (home) and C. To clarify, if a team scores the first goal, that team is expected to concede 40.27% less goals. Furthermore, home teams are likely to concede 27.06% less goals compared to away teams and one unit increase in the number of clearances and shots leads to 2.6% and 2.3% less goals conceded, respectively. In contrast, GS and QO have positive effects on the number of conceded goals. Accordingly, each goal a team scores leads to 6.26% more goals conceded and one unit increase in QO leads to 1.64% more goals conceded. The other variables have no significant effect on the number of goals conceded.

3.2. Feature Extraction of Result, the Dependent Variable

Since the match result is nominal, MLR and SVM are applied to reveal the important features and to predict the match result. As the numbers of goals scored and conceded are direct indicators of winning and losing the match, these are excluded from the dataset while estimating the match result.

Figure 1. shows the contribution of each feature in the SVM classification model. The feature importance values are estimated by taking the square of the coefficient values of the SVM model [43]. According to Figure 1, SF, ML and ST are the most relevant features to the target value.

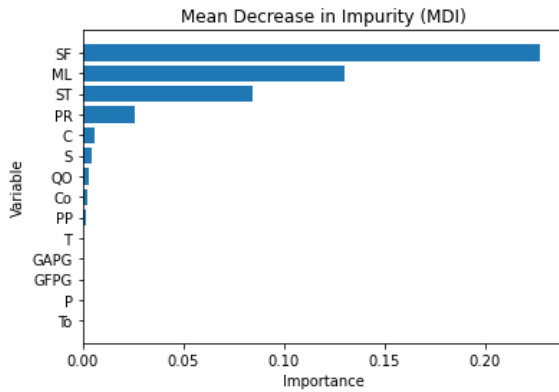


Figure 1: Feature importance of SVM algorithm

MLR results are given for match results win and lose (reference category = draw) in Table 2. Coefficient, odds ratio and *p* value for each feature of lose and win are detailed. First, *p* value is interpreted to measure the evidence whether or not that variable has a significant impact on the match outcome. It is seen that ML, S, ST, SF, QO and C are statistically significant on losing the match. Second, the coefficient value determines whether the event is more likely or less likely when there is a change in the variable. Further on, the sign of the coefficient shows the direction of the relationship between the predictor and the

match result. An increase in the values of the variable having positive coefficient increases the probability of occurrence of the event; on the contrary, increase in the negative ones decreases the probability of occurrence of the event. From this point of view, if the match location is home or the team scores the first goal, the probability of losing the match decreases. Correspondingly, increasing in the number of shots, shots on target, and clearances also decreases the probability of losing the match. On the other hand, if the quality of opponent is higher (i.e. a stronger opponent), probability of losing the match raises.

The features that affect the result of win are slightly different from the lose result. There are five factors that significantly affect the likelihood of winning. Scoring first (OR=8.002), significant at level < 0.001, intensely increases the probability of winning the match when it is compared with other significant features. Next, comes ML (home) with an odds ratio of 2.386, which shows that home teams are twice as likely as to win. Additionally, a rise in PP significantly decreases the probability of winning. Contrarily, the coefficients of S and ST are positive, indicating a favourable effect on winning the match.

Table 2. Multinomial regression results showing the regression coefficients, odds ratios and *p* values for situational variables and performance indicators on result lose and win.

Variable	Result=lose			Variable	Result=win		
	Coef	OR	p		Coef	OR	p
Intercept	4.34	76.707	<0.001***	Intercept	-4.26	0.013	<0.001***
ML (home)	-0.861	0.423	<0.001***	ML (home)	0.870	2.386	<0.001***
PP	-0.030	0.970	0.161	PP	-0.050	0.952	0.038*
ST	-0.123	0.883	0.046*	ST	0.335	1.398	<0.001***
S	-0.086	0.917	0.006**	S	0.065	1.067	0.047*
To	0.001	1.001	0.778	To	-0.001	0.999	0.968
P	0.001	1.001	0.723	P	0.007	1.007	0.074
T	0.017	1.017	0.422	T	0.008	1.008	0.736
C	-0.085	0.918	<0.001***	C	0.024	1.024	0.055
Co	0.041	1.042	0.472	Co	-0.028	0.972	0.531
SF (yes)	-0.645	0.524	0.008**	SF (yes)	2.080	8.002	<0.001***
GAPG	0.008	1.008	0.973	GAPG	0.256	1.292	0.322
GFPG	-0.013	0.987	0.954	GFPG	0.242	1.273	0.308
PR (lose)	0.418	1.518	0.106	PR (lose)	0.018	1.018	0.952
PR (win)	0.019	1.539	0.944	PR (win)	0.431	1.539	0.134
QO	0.036	0.967	0.047*	QO	-0.033	0.967	0.108

Coef: regression coefficient; OR: odds ratio; *: significant at the level 0.05; **: significant at the level 0.01; ***: significant at the level 0.001

3.3. Predicting match result

Heretofore, the variables which affect the match result and the number of scored and conceded goals have been discussed by using PR, MLR and

SVC. In this part of the study, the prediction performances of the algorithms are presented. The dataset is divided into two sets: training and testing datasets. The predictive models are trained on training data set and accuracy and

performance of the models are measured by using the testing data. The statistical measurements that presents the performance for each algorithm is represented in Table 3. It is noted that SVM outperforms MLR and PR.

Figure 2 parts (a), (b) and (c) represent the heat map graphics for the prediction results of MLR, SVM and PR, respectively. Furthermore,

(d), (e) and (f) show the confusio matrix of MLR, SVM and PR, respectively. MLR and SVM algorithms yield superior results for the win and lose categories compared o PR. However, for the draw results, the accuracy performances of the MLR and SVM are not satisfactory. In contrast, PR yields convincing prediction results for draw.

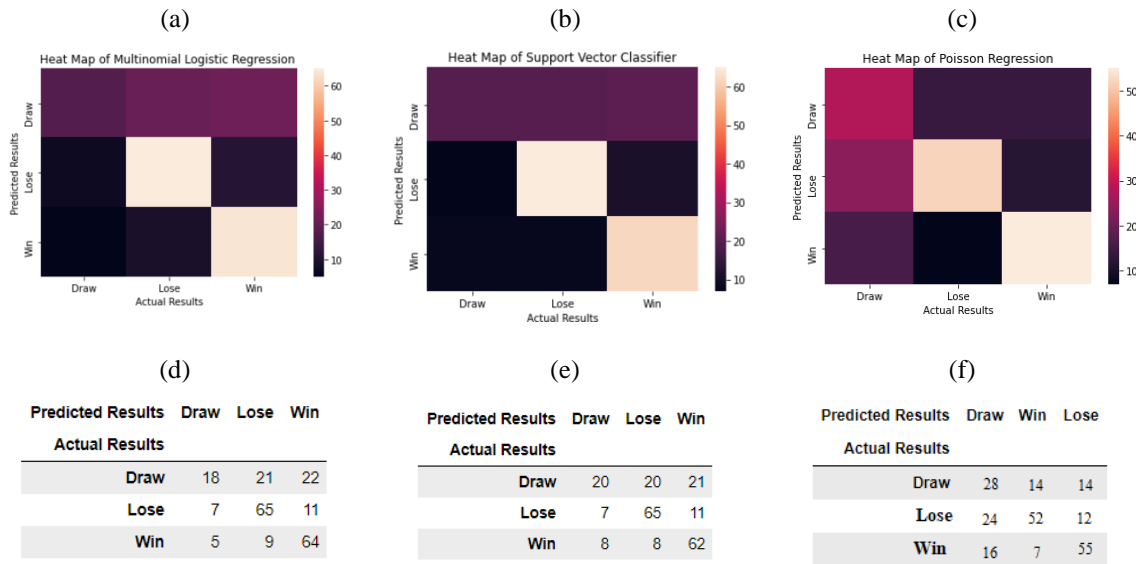


Figure 2. Heat maps of significantly related features based on match result.

The heat maps show the prediction results of the algorithms. The number of predictions in that intersection of actual and predicted category increases as the colour becomes lighter. The result of “win” was predicted more accurately in all three algorithms. Since, intersected area where actual and predicted value “win” are the most lighted part of the heat maps. In Figure 2 part (a) and (b), the colour of intersected area where actual and predicted value is “draw” close to darker which shows the prediction matches whose results is draw is not gratifying. On the contrary, even accuracy of the PR (0.61) method is lower than the accuracy of SVM (0.68) and higher than the accuracy of MLR (0.60), it predicts the matches whose result is draw more accurately than other two algorithms. In Figure 2(d), low precision of the draw category of the outcome shows that the number of incorrectly

classified as win or lose is considerably high. 43 matches among 61 matches resulted in draw are misclassified, causing low precision of 0.60. Besides, low recall means that the incorrectly classified win and lose category by draw category is high. 30 matches are categorized as draw, however, actual value of 12 of them are not draw. F1-score of win and lose matches are higher than draw matches proving that matches whose results are win and lose are categorized more competently.

When the heat map is investigated, the colour of the intersection of win and lose are lighter in both algorithms which indicates good performance. Although both algorithms provide consistent results with each other, accuracy value of SVM, (0.68) is larger than those of MLR (0.66) and PR (0.61). This shows that SVM yields better results than both regression algorithms.

Table 3. Prediction performance metrics including accuracy, precision, recall and F1 score

	Result value	Precision	Recall	F1 score
Multi Nominal	<i>draw</i>	0.60	0.30	0.40
Logistic	<i>lose</i>	0.68	0.78	0.73
Regression	<i>win</i>	0.66	0.82	0.73
	Accuracy			0.66
Support Vector	<i>draw</i>	0.56	0.34	0.42
Machine	<i>lose</i>	0.69	0.77	0.73
	<i>win</i>	0.72	0.84	0.77
	Accuracy			0.68
Poisson	<i>draw</i>	0,41	0,50	0,45
Regression	<i>lose</i>	0,71	0,59	0.64
	<i>win</i>	0,68	0,71	0.69
	Accuracy			0.61

4. Discussion and Conclusion

The aim of this research was to identify the performance indicators and situational variables which have significant effects on the number of goals scored and conceded and the match result. PR was implemented to model the number of goals scored and conceded, while SVM and MLR were applied to model the match results.

To start with the number of goals scored, our results showed that GC, SF and ST are the only significant variables influencing the number of goals scored and all of them have favourable effects on it. So, one thing a team can do to increase the number of goals scored is to score first. This finding is in line with a similar research [10] which reported that scoring-first teams scored 1.88 goals more than the opposing team. Additionally, increasing the number of shots on target leads to more goals scored. Furthermore, while similar studies [16], [23], [44] reported that home teams scored more goals; in our study, no significant association between match location and the number of scored goals was detected. Lastly, the remaining variables have no impact on the number of goals scored.

On the other hand; SF, ML, S and C have adverse impacts on the number of goals conceded. So, home teams or scoring-first teams concede less goals. Additionally, increasing the number of clearances or shots seem to work in decreasing the number of goals conceded. In contrast, QO has a positive impact on the number of goals scored, meaning stronger opponent score significantly more goals. Lastly, scored goals leads to more conceded goals and vice versa, indicating a significant positive association between the scored and conceded goals. The rest of the factors do not significantly affect the number of conceded goals.

It would have been very useful to compare all of these findings with those of similar studies. However, as mention in the introduction, in the current literature, there are few studies [10], [16], [23] investigating only few factors associated with the number of goals scored, but the number of goals conceded. Therefore, we are unable to make comparisons in terms of the number of scored and conceded goals.

To continue with the factors statistically significantly influencing the match result, MLR showed that SF is a significant indicator for the match outcome. It adversely influences the probability of losing and positively affects the chance of winning. These findings suggest that scoring first provides important advantage for teams to succeed. Other studies [10]–[12] also support this finding.

Likewise, S and ST have similar impacts on the match outcome. Having more shots and/or shots on target decreases the probability of losing, but increases the probability of winning, which implies that increasing the number of shots and/or shots on target increases the likelihood of success. These findings coincide with those obtained in similar studies [14], [32], [33].

ML (home) is another important influential factor on the match outcome and it has a negative influence on losing and positive on winning, indicating that playing at home has a great advantage in success. The advantage of playing at home in many leagues was pointed out by many studies [11]–[14], [17], [45].

Heretofore, the factors affecting both losing and winning have been discussed. However, there are also factors affecting either losing or winning. One of them is C which has a negative impact on losing, but no effect on winning. This indicates that increasing the number of clearances decrease the likelihood of losing but does not contribute to winning. This

finding was supported by a study [12] where the factors affecting the lose, draw and win were investigated separately. They found that C has a significant negative effect on lose only.

Another influential factor is QO. The findings pointed out that QO has a positive effect on losing the match but does not affect the winning probability. In other words, it is more likely to lose a match if the opponent is stronger. Other studies also indicated that, in football, favourite teams only win just over 50% of the matches, whereas in others sports such as basketball or handball, the favourite team wins more than 65% of the matches [11], [19].

The last influential factor is PP. Our results indicated that PP has an unfavourable impact on winning, meaning winning teams have less possession percentage. In support of this finding, other studies [27], [28] also found that winning teams have less possession percentage. Also, another research[29] stated that winning teams have lower possession percentage because they start to play with less risk, a well-structured defensive strategy, and place more players between the ball and its own goal. So that they can also prevent possible goal-scoring opportunities.

In conclusion, this research has identified the influential factors in the number of goals scored and conceded and the match result. In football, it is obvious that scoring goals increases the chance of winning, while conceding goals

increases the probability of losing. In our study, the significant factors in scoring goals (SF and ST) found by PR are also among the significant factors in winning the match according to MLR. Similarly, the factors that have significant effects on conceding goals (SF, ML, S, C and QO) are among the factors that cause losing. In addition, SVM showed that SF, ML and ST are the most important factors affecting the match result. All these findings indicate that the results are consistent with each other, and SF is the only influential variable in all the analyses, making it the most important factor for success. Finally, further studies can be conducted to confirm the significant influential factors on the number of scored and conceded goals as their number in current literature is very limited.

Contributions of the authors

All authors contributed equally to the study.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The study is complied with research and publication ethics

References

- [1] Y. Li, R. Ma, B. Gonçalves, B. Gong, Y. Cui, and Y. Shen, "Data-driven team ranking and match performance analysis in Chinese Football Super League," *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 141, p. 110330, 2020.
- [2] T. Y. Yang and T. Swartz, "A Two-Stage Bayesian Model for Predicting Winners in Major League Baseball," *J. Data Sci.*, vol. 2, no. 1, 2021.
- [3] E. Ulas, "Examination of National Basketball Association (NBA) team values based on dynamic linear mixed models," *PLoS One*, vol. 16, no. 6, 2021, 2021.
- [4] P. Marek, B. Šedivá, and T. Šoupal, "Modeling and prediction of ice hockey match results," *J. Quant. Anal. Sport.*, vol. 10, no. 3, 2014.
- [5] J. Goddard, "Regression models for forecasting goals and match results in association football," *Int. J. Forecast.*, vol. 21, no. 2, pp. 331–340, 2005.
- [6] M. J. Dixon and S. G. Coles, "Modelling association football scores and inefficiencies in the football betting market," *J. R. Stat. Soc. Ser. C (Applied Stat.)*, vol. 46, no. 2, pp. 265–280, 1997.
- [7] D. Karlis and I. Ntzoufras, "Analysis of sports data by using bivariate Poisson models," *J. R. Stat. Soc. Ser. D (The Stat.)*, vol. 52, no. 3, pp. 381–393, 2003.
- [8] A. J. Lee, "Modeling scores in the Premier League: Is Manchester United really the best?," *CHANCE*, vol. 10, no. 1, pp. 15–19, 1997.
- [9] M. J. Maher, "Modelling association football scores," *Stat. Neerl.*, vol. 36, no. 3, pp. 109–118, 1982.
- [10] C. Lago-Peñas, M. Gómez-Ruano, D. Megías-Navarro, and R. Pollard, "Home advantage in

- football: Examining the effect of scoring first on match outcome in the five major European leagues,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 16, no. 2, pp. 411–421, 2016.
- [11] J. García-Rubio, M. Á. Gómez, C. Lago-Peñas, and J. S. Ibáñez, “Effect of match venue, scoring first and quality of opposition on match outcome in the UEFA Champions League,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 15, no. 2, pp. 527–539, 2015.
- [12] G. Bilek and E. Ulas, “Predicting match outcome according to the quality of opponent in the English premier league using situational variables and team performance indicators,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 19, no. 6, pp. 930–941, 2019.
- [13] V. Armatas and R. Pollard, “Home advantage in Greek football,” *Eur. J. Sport Sci.*, vol. 14, no. 2, pp. 116–122, 2014.
- [14] C. Lago-Peñas, J. Lago-Ballesteros, A. Dellal, and M. Gómez, “Game-related statistics that discriminated winning, drawing and losing teams from the Spanish Soccer League,” *J. Sports Sci. Med.*, vol. 9, no. 2, pp. 288–93, 2010.
- [15] R. Pollard, “Worldwide regional variations in home advantage in association football,” *J. Sports Sci.*, vol. 24, no. 3, pp. 231–240, 2006.
- [16] D. R. Poulter, “Home advantage and player nationality in international club football,” *J. Sports Sci.*, vol. 27, no. 8, pp. 797–805, 2009.
- [17] M. Saavedra García, O. Gutiérrez Aguilar, J. J. Fernández Romero, and P. Sa Marques, “Measuring home advantage in spanish football (1928-2011),” *Rev. Int. Med. y Ciencias la Act. Fis. y del Deport.*, vol. 15, no. 57, 2015.
- [18] S. Thomas, C. Reeves, and S. Davies, “An analysis of home advantage in the English Football Premiership,” *Percept. Mot. Skills*, vol. 99, no. 3 Pt 2, pp. 1212–6, 2004.
- [19] C. Anderson and D. Sally, *The numbers game: why everything you know about Football is wrong*. New York: Penguin Books, 2014.
- [20] C. H. Almeida, A. P. Ferreira, and A. Volossovitch, “Effects of match location, match status and quality of opposition on regaining possession in UEFA champions league,” *J. Hum. Kinet.*, vol. 41, no. 1, 2014.
- [21] B. J. Taylor, D. S. Mellalieu, N. James, and P. Barter, “Situation variable effects and tactical performance in professional association football,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 10, no. 3, 2010.
- [22] H. Lepschy, A. Woll, and H. Wäsche, “Success Factors in the FIFA 2018 World Cup in Russia and FIFA 2014 World Cup in Brazil,” *Front. Psychol.*, vol. 12, p. 525, 2021.
- [23] C. Lago-Peñas and J. Lago-Ballesteros, “Game location and team quality effects on performance profiles in professional soccer,” *J. Sports Sci. Med.*, vol. 10, no. 3, pp. 465–71, 2011, Accessed: [11-Mar-2021]. [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24150619>.
- [24] L. M. Hvattum and H. Arntzen, “Using ELO ratings for match result prediction in association football,” *Int. J. Forecast.*, vol. 26, no. 3, 2010.
- [25] M. Crowder, M. Dixon, A. Ledford, and M. Robinson, “Dynamic modelling and prediction of English Football League matches for betting,” *J. R. Stat. Soc. Ser. D Stat.*, vol. 51, no. 2, 2002.
- [26] P. Lucey, A. Bialkowski, M. Monfort, P. Carr, and I. Matthews, “‘Quality vs quantity’: Improved shot prediction in soccer using strategic features from spatiotemporal data,” in *Proc. 8th Annu. MIT Sloan Sport. Anal. Conf.*, 2014.
- [27] P. D. Jones, N. James, and S. D. Mellalieu, “Possession as a performance indicator in soccer,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 4, no. 1, pp. 98–102, 2004.
- [28] C. Lago and R. Martín, “Determinants of possession of the ball in soccer,” *J. Sports Sci.*, vol. 25, no. 9, pp. 969–974, 2007.
- [29] C. Lago, “The influence of match location, quality of opposition, and match status on possession strategies in professional association football,” *J. Sports Sci.*, vol. 27, no. 13, pp. 1463–1469, 2009.
- [30] B. McGuckin, J. Bradley, M. Hughes, P. O’donoghue, and D. Martin, “Determinants of successful possession in elite Gaelic football Determinants of successful possession in elite Gaelic football,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, 2020.
- [31] H. Liu, M. Á. Gomez, C. Lago-Peñas, and J. Sampaio, “Match statistics related to winning in the group stage of 2014 Brazil FIFA World Cup,” *J. Sports Sci.*, vol. 33, no. 12, pp. 1205–1213, 2015.
- [32] J. Castellano, D. Casamichana, and C. Lago, “The use of match statistics that discriminate

- between successful and unsuccessful soccer teams,” *J. Hum. Kinet.*, vol. 31, no. 1, 2012.
- [33] F. A. Moura, L. E. B. Martins, and S. A. Cunha, “Analysis of football game-related statistics using multivariate techniques,” *J. Sports Sci.*, vol. 32, no. 20, pp. 1881–1887, 2014.
- [34] R. Ensum, R. Pollard, and S. Taylor, “Applications of logistic regression to shots at goal in association football,” in *Science and Football V*, Routledge, 2005, pp. 211–218.
- [35] H. Liu, W. Hopkins, M. A. Gómez, and J. S. Molinuevo, “Inter-operator reliability of live football match statistics from OPTA Sportsdata,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 13, no. 3, 2013.
- [36] S. Coxe, S. G. West, and L. S. Aiken, “The analysis of count data: A gentle introduction to Poisson regression and its alternatives,” *J. Pers. Assess.*, vol. 91, no. 2, pp. 121–136, 2009.
- [37] Y. Huo , L. Xin , C. Kang , M. W. Qin Ma and B. Yu, “SGL-SVM: a novel method for tumor classification via support vector machine with sparse group Lasso,” *J. Theor. Biol.*, 2019.
- [38] H. Pei, Q. Lin, L. Yang, and P. Zhong, “A novel semi-supervised support vector machine with asymmetric squared loss,” *Adv. Data Anal. Classif.*, vol. 15, no. 1, pp. 159–191, 2021.
- [39] D. A. Salazar, J. I. Vélez, and J. C. Salazar, “Comparison between SVM and logistic regression: Which one is better to discriminate?,” *Rev. Colomb. Estadística*, vol. 35, no. SPE2, 2012.
- [40] P. G. V. G. M. T. Fabian, “Scikit-learn: Machine learning in Python.,” *J. Mach. Learn. Res.*, 2011.
- [41] J. M. Bland and D. G. Altman, “Statistics notes. The odds ratio,” *BMJ*, vol. 320, no. 7247, p. 1468, 2000.
- [42] I. Soto-Valero, C., González-Castellanos, and M., Pérez-Morales, “A predictive model for analysing the starting pitchers’ performance using time series classification methods.,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 17, no. 4, pp. 492–509, 2017.
- [43] V. Guyon, I., Weston, J., Barnhill, and S., Vapnik, “Gene selection for cancer classification using support vector machines.,” *Mach. Learn.*, vol. 46, no. 1, pp. 389-422., 2002.
- [44] T. Liu, A. García-De-Alcaraz, L. Zhang, and Y. Zhang, “Exploring home advantage and quality of opposition interactions in the Chinese Football Super League,” *Int. J. Perform. Anal. Sport*, vol. 19, no. 3, pp. 289–301, 2019.
- [45] T. Peeters and J. C. van Ours, “Seasonal Home Advantage in English Professional Football; 1974–2018,” *Economist (Leiden)*, vol. 169, no. 1, pp. 107–126, 2021.

Türkiye’deki Bazı *Paratanytarsus dissimilis* (Diptera: Chironomidae) Popülasyonlarının Genetik Çeşitliliğinin ve Popülasyon Yapısının Değerlendirilmesi

Adile SARI^{1*}

¹Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Denizli, Türkiye
(ORCID: [0000-0002-8247-6103](https://orcid.org/0000-0002-8247-6103))



Anahtar Kelimeler: COI, Gen akışı, Genetik çeşitlilik, Haplotip, Popülasyon yapısı.

Öz

Bu çalışma, mitokondriyal sitokrom *c* oksidaz alt birim I (COI) geni kullanılarak Türkiye’nin bazı bölgelerinden toplanan *Paratanytarsus dissimilis*’in (Diptera: Chironomidae) genetik çeşitliliğini, popülasyon yapısını ve demografik geçişini incelemek için tasarlanmıştır. Bu amaçla, Türkiye’deki 7 popülasyonu temsil eden toplam 32 *P. dissimilis* larvası toplanmış, sekanslanmış ve analiz edilmiştir. Çalışma alanında toplam 15 haplotip tespit edilmiş ve bu haplotiplerin biri (H9) hariç hepsinin tek popülasyona özgü olduğu gözlenmiştir. Toplam popülasyon için nispeten yüksek haplotip çeşitliliği ($h=0,95161$) ve düşük nükleotid çeşitliliği ($\pi=0,04624$) bulunmuştur. Maksimum likelihood (ML) ve haplotip ağı incelemeleri bu 7 popülasyonun Doğu, Hatay ve Batı olmak üzere 3 gruba ayrılacağını göstermiştir. Moleküler varyans analizi (AMOVA) ve ikili F_{ST} karşılaştırmalarında, Türkiye’deki *P. dissimilis*’in farklı düzeylerde yüksek bir genetik yapılanma gösterdiği belirlenmiştir ($p<0,01$). Ayrıca, gerçekleştirilen nötralite testleri ve uyumsuzluk dağılımı analizleri sonucunda hem üç grubun hem de tüm popülasyonun demografik kararlılıkta olduğu tespit edilmiş ve bunlarda genişlemeye veya bir darboğaza yönelik nötraliteden herhangi bir sapma görülmemiştir. Bu çalışmada, Türkiye’deki bazı *P. dissimilis* popülasyonlarının genetik çeşitliliği, popülasyon yapısı ve demografik geçişi değerlendirilerek, türün yaşam tarihi ve sürdürülebilirliği ile ilgili güncel bilgilere katkı sunulmuştur. Ancak *P. dissimilis*’in popülasyon çeşitliliğinin ve demografik geçişinin daha detaylı bir şekilde anlaşılabilmesi için daha fazla örnek, örnekleme alanı ve moleküler belirteç kullanarak gerçekleştirilecek yeni çalışmalara ihtiyaç vardır.

Evaluation of Genetic Diversity and Population Structure of Some *Paratanytarsus dissimilis* (Diptera: Chironomidae) Populations in Turkey

Keywords: COI, Gene Flow, Genetic diversity, Haplotype, Population structure.

Abstract

This study was designed to evaluate the genetic diversity, population structure, and demographic history of *Paratanytarsus dissimilis* (Diptera: Chironomidae) sampled from some regions of Turkey using the mitochondrial cytochrome *c* oxidase subunit I (COI) gene. For this purpose, a total of 32 *P. dissimilis* larvae representing 7 populations in Turkey were collected, sequenced, and analysed. Fifteen haplotypes were identified in the study area, and it was observed that all of these haplotypes except one haplotype (H9) were unique to a population. Relatively high haplotype diversity ($h=0.95161$) and low nucleotide diversity ($\pi=0.04624$) were detected for the overall population. Maximum likelihood (ML) and haplotype network analyses suggested that these 7 populations could be divided into three groups as East, Hatay,

*Sorumlu yazar: aozdemir@pau.edu.tr

Geliş Tarihi: 28.10.2021, Kabul Tarihi: 17.01.2022

and West. It was determined in analyses of molecular variance (AMOVA) and pairwise F_{ST} comparisons that *P. dissimilis* in Turkey exhibited high genetic structuring at several levels ($p < 0.01$). Further, as a result of the performed neutrality tests and mismatch distribution analyses, it was detected that both the three groups and the overall population were demographically stable, and no deviations from neutrality were observed for expansion or a bottleneck. In this study, the genetic diversity, population structure, and demographic history of some *P. dissimilis* populations in Turkey were evaluated, and a contribution was made to the current knowledge on the life history and sustainability of the species. Nevertheless, further studies using more samples, sampling sites, and molecular markers are needed to better understand the population diversity and demographic history of *P. dissimilis*.

1. Giriş

Moleküler biyoloji ve biyoinformatikte özellikle son zamanlarda gerçekleşen gelişmeler taksonomi, filogeni, evrim ve popülasyon genetiği gibi farklı alanlara önemli bilgiler sağlamaktadır. Popülasyon genetiği çalışmaları ile tespit edilmeye çalışılan bir popülasyonun genetik yapısı esas olarak yaşam öyküsü, coğrafi engeller, gen akışı, seçilim ve darboğazlar dahil olmak üzere çeşitli faktörler tarafından şekillendirilen popülasyondaki toplam genetik çeşitliliği ifade etmektedir [1]. Genetik çeşitlilik ve popülasyon yapısı çalışmaları, bir türün yaşam öyküleri, demografisi, üremesi ve ekolojisi hakkında bilgi sağlamakla kalmaz, aynı zamanda uygun koruma ve yönetim stratejilerinin uygulanması ve bir popülasyonun sürdürülebilirliğinin sağlanması için oldukça kullanışlıdır [2].

Böcekler dünyadaki en çeşitli hayvan grubu olarak bilinir [3]. Suda yaşayan böcekler arasında, Chironomidae familyası (Diptera), tatlı su ekosistemlerinde en bol bulunan ve en fazla tür çeşitliliğine sahip böcek grubudur [4]. Halk arasında ısırılmayan tatarcıklar olarak adlandırılan chironomidler neredeyse her türlü tatlı su ortamında bulunur [4]. Birçok chironomid türü zorlu çevre koşullarına karşı geniş bir tolerans gösterirken, bu familyanın bazı türlerinin ise çevresel faktörlere karşı oldukça hassas olduğu bilinmektedir [5], [6]. Chironomid larvaları, balıklar ve diğer sucul organizmalar için başlıca besin kaynaklarından biri olması nedeniyle sucul besin zincirinde önemli bir konuma sahiptir [4]. Bu larvalar, sucul ortamlardaki varlıkları, bollukları, gelişim durumları ve bazı koşullarda ortamdaki yok olmaları ile sucul ortamın su kalitesi ve kirliliği hakkında bilgiler veren biyoindikatör organizmalar olarak oldukça önemlidir [5]. Birçok kirlenmeye karşı hassas olan chironomidlerin çok kısa bir yaşam döngüsü vardır ve laboratuvar ortamında yetiştirilmeleri oldukça kolaydır. Chironomidler bu ekolojik uygunlukları nedeniyle

kimyasalların toksisitelerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Ayrıca taksonomik olarak Orthocladinae ve Chironominae gibi çeşitli alt familyalara ait farklı cinsler içerisinde sınıflandırılmaları [8] biyoçeşitliliğin büyük bir parçası olan chironomidleri filogenetik ve biyocoğrafik çalışmalar için değerli kaynaklar haline getirmektedir.

Chironominae alt familyasındaki üç tribüsten biri olan Tanytarsini, *Paratanytarsus* cinsi de dahil olmak üzere tanımlanmış yaklaşık 30 cins ve 400'den fazla tür içerir [9]. *Paratanytarsus* cinsi Afrotropikal ve Antarktik haricinde bütün biyocoğrafik bölgelerde tespit edilmiştir [10] ve bazı *Paratanytarsus* türleri kentsel lentik ortamlarda oldukça yaygın olarak bulunur [11]. Bu cinsin türlerinden biri de *Paratanytarsus dissimilis*'tir ve ülkemizde Akdeniz, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgesi'nden kaydı bulunmaktadır [12]. Bu tür ile ilgili dünya genelinde yapılan çalışmalar genellikle türün biyolojik istekleri ve yaşam döngüsü ile taksonomik özelliklerinin belirlenmesi, DNA barkodlama ve filogeni temellidir [13]-[15]. Durum Türkiye için de aynıdır [12], [16].

Gerçekleştirilen detaylı literatür taraması, ekonomik ve çevresel açılarından önemli bir chironomid türü olan *P. dissimilis*'in popülasyon yapısının ne Türkiye ne de başka bir ülkede incelenmiş olduğunu göstermiştir. Nitekim Türkiye, üç kıta ve üç deniz arasındaki benzersiz konumu, sahip olduğu çeşitli jeolojik oluşumları ile farklı iklim, ekolojik koşul ve habitat tipleri içermesi sebebiyle biyolojik çeşitlilik açısından olağanüstü zengin bir ülkedir [17]. Bu çalışma, birçok omurgalı ve omurgasız türünün genetik çeşitliliği ve popülasyonların genetik yapısının belirlenmesinde etkili bir moleküler belirteç olması nedeniyle popülasyon genetiği çalışmalarında sıkça tercih edilen mitokondriyal sitokrom *c* oksidaz alt birim I (COI) [18]-[21]

kullanılarak Türkiye'deki bazı *P. dissimilis* popülasyonlarının genetik çeşitliliği ve popülasyon yapısının araştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçların bu alandaki bilimsel boşluğu dolduracağı ve gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Örneklerin Toplanması ve Teşhisi

Türkiye'nin farklı şehirlerindeki lentik tatlı su ekosistemlerinden 500 µm delik çapına sahip süzgeçler kullanılarak chironomid larvaları toplanmıştır. Toplanan her bir larva %96'lık etil alkol içeren eppendorf tüplere tek başına konularak laboratuvara getirilmiştir. Laboratuvarda tüm chironomid larvalarının morfolojik özellikleri Olympus SZ51 marka stereo mikroskopta incelenmiş, larvaların kafaları ayrılarak kalıcı preparat haline getirildikten sonra kafa kapsülleri Olympus CX31 marka mikroskop altında incelenerek toplanan larvaların tür seviyesine kadar teşhisleri yapılmıştır [16]. Larvaların vücutları ise kafa kapsülleri ile aynı kod verilerek etiketlenmiş ve %96'lık etil alkol içeren eppendorf tüplere alınarak total DNA izolasyonu için -20 °C'de saklanmıştır. Tür teşhisinden sonra Türkiye'nin 7 farklı şehirden (Şekil 1) 32 *P. dissimilis* larvası toplandığı görülmüş ve her bir şehir bir popülasyon olarak kabul edilmek suretiyle 7 popülasyonu temsil eden toplam 32 *P. dissimilis* örneği çalışmaya dahil edilmiştir.

2.2. DNA İzolasyonu, PCR ve Sekans Analizi

Toplanan örneklerden total DNA, Hillis ve Morritz'in [22] protokolünde küçük değişiklikler yapılarak izole edilmiştir. İzole edilen DNA'lardan COI gen bölgesinin 658 baz çifti uzunluğundaki fragmanları 911 (5'-TTTCTACAAATCATAAAGATATTGG-3') ve 912 (5'-TAAACTTCAGGGTGACCAAAAATCA-3') primer çifti kullanılarak çoğaltılmıştır [23]. Bu primerler, chironomidlerle yapılan bazı çalışmalarda [11, 16, 24] kullanılarak COI gen bölgesinin başarılı bir şekilde çoğaltılmasını sağlaması sebebiyle seçilmiştir. Her bir PCR tüpü, son hacim 25 µl olacak şekilde, 1× PCR tamponu, 1,5 mM MgCl₂, 300 µM dNTP, 0,4 µM her bir primer, 5 U *Taq* polimeraz ve 6 µL kalıp DNA içermiştir. PCR reaksiyonları, 95 °C'de 5 dakikalık bir başlangıç denatürasyon basamağı, 40

amplifikasyon döngüsü (her bir döngü için 94 °C'de 45 saniye, 53 °C'de 90 saniye ve 72 °C'de 2 dakika) ve 72 °C'de 6 dakikalık bir son uzama basamağının programlandığı bir PCR cihazında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen PCR ürünleri %1'lik agaroz jel elektroforezinde yürütülerek görüntülenmiş ve daha sonra PureLink Quick PCR Purification Kit kullanılarak temizlenmiştir. Temizlenen PCR ürünleri yine 911 ve 912 primer çifti kullanılarak Sanger sekanslama yöntemi ile ileri ve geri olmak üzere iki yönde sekanslanmıştır.

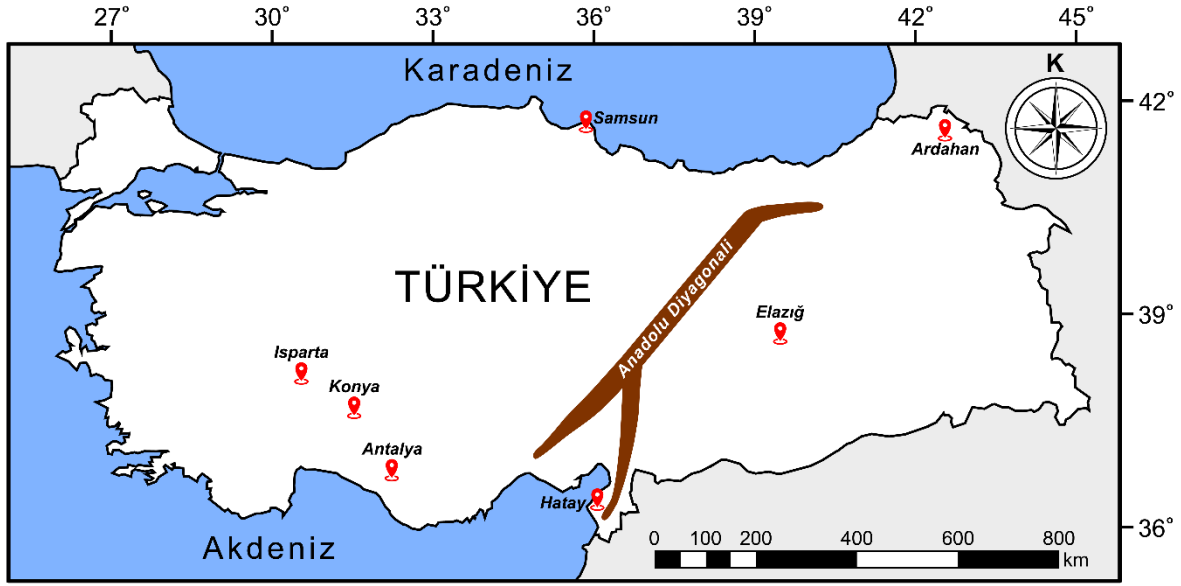
2.3. Verilerin Analizi

Sekanslama sonundaki ileri ve geri okumalardan ortak dizilerin elde edilmesi MEGA 6 [25], hizalaması ve düzenlemesi ise MEGA X [26] ile Clustal W kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler sonunda 7 popülasyonu temsil eden toplam 32 COI sekansı elde edilmiştir. Hizalanan sekansların nükleotid kompozisyonları ve transisyon/ transversiyon oranları ile popülasyon içi ve popülasyonlar arası ortalama genetik uzaklıklar Kimura 2-parameter (K2P) modeli kullanılarak yine MEGA X ile belirlenmiştir. Ayrıca nükleotid doygunluğu, DAMBE programı [27] ile genetik uzaklık değerlerine karşı mutlak transisyon ve transversiyon sayıları grafiği K80 modeli kullanılarak çizilmek suretiyle saptanmış ve bu sekanslardan elde edilen filogenetik bilginin kalitesi değerlendirilmiştir.

Elde edilen sekansların filogenetik analizi MEGA X ile neighbour-joining (NJ) metodu kullanılarak gerçekleştirilmiş ve dal güvenilirlikleri 10000 bootstrap ile hesaplanmıştır. NJ analizi için dış grubun, *Tanytarsini* tribüsü içerisinde yer alan ve *Paratanytarsus* cinsiyle oldukça yakın ilişkili olan *Tanytarsus* ve *Cladotanytarsus* cinslerinden seçilmesine karar verildikten sonra GenBank'tan alınan *Tanytarsus arduennensis*, *Cladotanytarsus* sp. ve *Cladotanytarsus atridorsum* COI sekansları (erişim numaraları sırasıyla LC329303, GU668057 ve JF870834), oluşturulan NJ ağacını köklendirmek amacıyla kullanılmıştır. Veri setinin içerdiği haplotipler, genetik çeşitlilik indeksleri [polimorfik bölgelerin sayısı (*S*), haplotip çeşitliliği (*h*), ortalama nükleotid farklılıkları sayısı (*k*) ve nükleotid çeşitliliği (*π*)], genetik farklılaşma seviyeleri (*γ_{ST}*) ve ikili etkili göç oranları (*N_m*) DnaSP 5.10 kullanılarak belirlenmiştir [28]. Ek olarak, tüm popülasyon çiftleri arasındaki genetik farklılaşma katsayısını tahmin etmek için, ikili *F_{ST}* değerleri Arlequin 3.5

[29] ile K2P ikili uzaklıklar kullanılarak hesaplanmış ve F_{ST} 'nin önem derecesi, her ikili

karşılaştırma için 1000 permütasyonla test edilmiştir.



Şekil 1. *P. dissimilis* örneklerinin toplandığı lokasyonlar ve ilgili popülasyonlar ile Anadolu Diyagonalı'nın şematik olarak konumu (kahverengi)

Tespit edilen haplotipler arasındaki genetik ilişkileri test etmek için raxmlGUI 1.0 ile [30] maksimum likelihood (ML) analizi GTR+GAMMA+I modeli kullanılarak yapılmış ve dal güvenilirlikleri ise 10000 bootstrap ile hesaplanmıştır. Bu analiz için GenBank'tan *Tanytarsus arduennensis*, *Cladotanytarsus* sp. ve *Cladotanytarsus atridorsum* COI sekansları alınmış (erişim numaraları sırasıyla LC329303, GU668057 ve JF870834) ve oluşturulan ML ağacını köklendirmek için dış grup haplotip olarak kullanılmıştır. Diğer yandan haplotiplerin her popülasyondaki dağılımını ve bunların birbiri ile ilişkilerini göstermek için, POPART 1.7 ile aralarındaki ikili farklılıklara ($\epsilon=0$) dayalı haplotiplerin median-joining (MJ) ağı oluşturulmuştur [31]. ML ağacı ve haplotip ağının önerdiği gruplar bazında hiyerarşik popülasyon yapısını (gruplar arasında, gruplar içindeki popülasyonlar arasında ve popülasyonlar içinde) analiz etmek için, Arlequin 3.5 ile moleküler varyans analizi (AMOVA) gerçekleştirilmiş ve elde edilen parametrelerin önem derecesi 1000 permütasyonlu mesafe matrisi kullanılarak hesaplanmıştır.

Türkiye'deki *P. dissimilis* popülasyonu demografik geçmişine ait çıkarımlar (örneğin popülasyon genişlemesi, darboğaz, popülasyon durağanlığı gibi durumlar) yapabilmek amacıyla her bir grup için ayrı ayrı ve tüm örneklerin birlikte oluşturduğu toplam popülasyon için nötralite

testleri (Tajima's D ve Fu's F_s istatistikleri) ve uyumsuzluk (mismatch) dağılımı analizleri [Harpending's raggedness istatistiği (r) ve varyasyon kareler toplamı (SSD)] Arlequin 3.5 ile gerçekleştirilmiştir. Demografik değişimler ayrıca DnaSP 5.10 kullanılarak sabit popülasyon büyüklüğü ve popülasyon artışı-azalışı modelleri altında gerçekleştirilen ikili uyumsuzluk dağılımı analizi sonucu çizilen uyumsuzluk dağılımı grafiklerinin incelenmesi ile değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Genetik Çeşitlilik

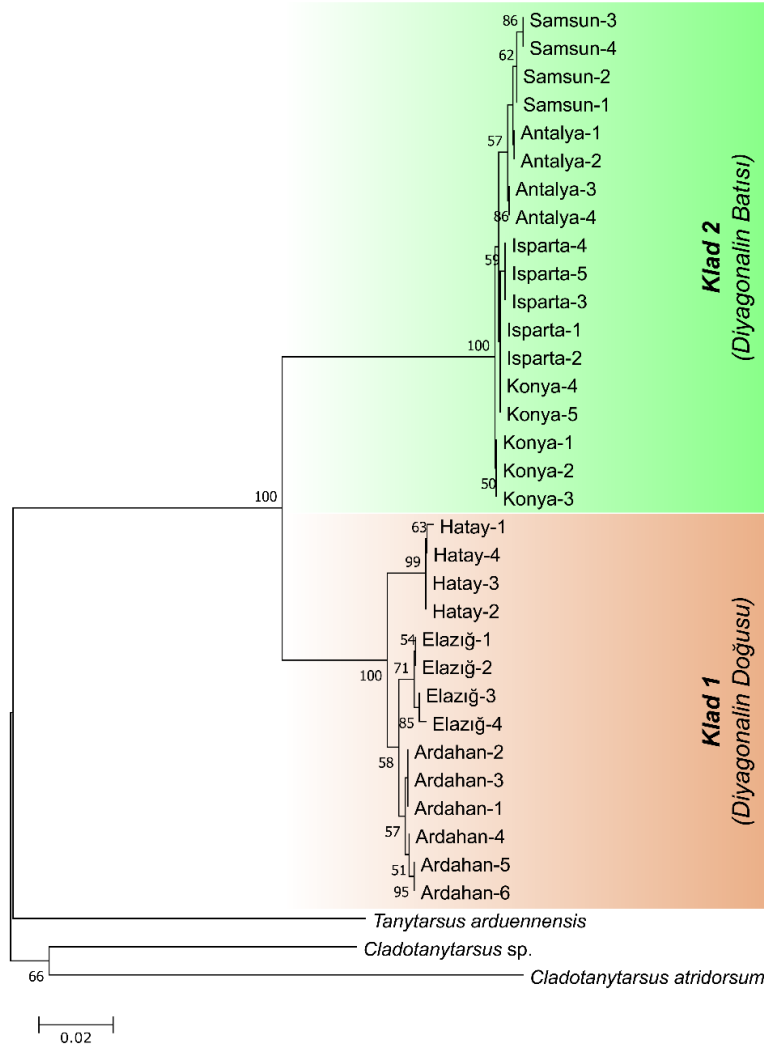
Toplam 32 bireye ait COI gen bölgesi sekansı elde edilmiştir. 658 baz çifti uzunluğundaki bu sekansların 64 tanesi parsimonik olarak bilgi verici olmak üzere 65 polimorfik bölge içerdiği tespit edilmiştir. Ortalama baz yüzdeleri şu şekilde bulunmuştur: %29,54 A, %40,09 T, %15,24 C ve %15,14 G. Bu durum güçlü bir AT sapmasını (%69,63) göstermektedir. Transisyon/transversiyon oranının pürinler için $k_1=14,115$, pirimidinler için ise $k_2=5,569$ olduğu belirlenirken, toplam transisyon/transversiyon oranı $R=4,918$ olarak hesaplanmıştır. DAMBE analiz sonuçları hem transisyonların hem de transversiyonların artan genetik uzaklıkla arttığını, analiz edilen COI sekanslarının önemli bir

satürasyona uğramadığını ve bu sebeple de sonraki analizlerde kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Sekansların NJ analizinde (Şekil 2) bireylerin oldukça yüksek bootstrap değerine sahip bir nod ile 2 farklı klada ayrıldıkları, birinci kladın Ardahan, Elazığ ve Hatay popülasyonlarından toplanan örneklerden oluştuğu (%100 bootstrap değeri), ikinci kladın ise Konya, Isparta, Antalya ve Samsun popülasyonu örneklerinden oluştuğu (%100 bootstrap değeri) görülmüştür. Şekil 1’den de görülebileceği gibi, birinci klad Anadolu Diyağonalı’nın doğusuna, ikinci klad ise batısına tekabül etmektedir. Diğer yandan birinci klad içerisinde Hatay popülasyonu örnekleri %99 bootstrap değeri ile Elazığ ve Ardahan popülasyonu örneklerinden ayrılarak bir arada kümelenmiştir. Daha sonra DnaSP ile 32 bireyin COI sekanslarından toplam 15 haplotip tespit edilmiş ve bu haplotiplerin biri (H9) hariç

hepsinin tek popülasyona özgü olduğu gözlenmiştir (Tablo 1).

Çalışılan 7 popülasyon için genetik çeşitlilik verileri Tablo 2’de sunulmaktadır. Tüm popülasyonlar birlikte değerlendirildiğinde haplotip çeşitliliğinin oldukça yüksek olduğu görülürken ($h=0,95161$), ortalama nükleotid farklılığı sayısı (k) ve ortalama nükleotid çeşitliliğinin (π) sırasıyla 30,42339 ve 0,04624 olduğu gözlenmiştir. Popülasyon bazında en yüksek haplotip çeşitliliği Elazığ popülasyonunda ($h=0,83333$), en düşük haplotip çeşitliliği ise Hatay popülasyonunda ($h=0,50000$) izlenmiştir. Benzer şekilde, en yüksek nükleotid farklılığı sayısı ve nükleotid çeşitliliği Elazığ popülasyonunda ($k=1,16667$; $\pi=0,00177$) bulunurken, en düşük nükleotid farklılığı sayısı ve nükleotid çeşitliliği Hatay popülasyonunda ($k=0,50000$; $\pi=0,00076$) gözlenmiştir.



Şekil 2. Türkiye'nin farklı illerinden toplanan *P. dissimilis* bireylerinin NJ ağacı. Birey etiketleri toplandığı ili ve örneğin numarasını gösterecek şekilde oluşturulmuştur. Analizde ağaçları köklendirmek için *Tanytarsus arduennensis*, *Cladotanytarsus sp.* ve *Cladotanytarsus atridorsum* dış grup olarak kullanılmıştır. Nodlardaki rakamlar bootstrap değerlerini belirtmektedir. %50'den küçük değerler gösterilmemiştir.

Tablo 1. Türkiye’deki *P. dissimilis* popülasyonlarının haplotip dağılımı

Haplotip	Popülasyon							Toplam
	Ardahan	Hatay	Elazığ	Isparta	Konya	Samsun	Antalya	
H1	3							3
H2	1							1
H3	2							2
H4		1						1
H5		3						3
H6			2					2
H7			1					1
H8			1					1
H9				2	2			4
H10				3				3
H11					3			3
H12						2		2
H13						2		2
H14							2	2
H15							2	2
Örnek Sayısı	6	4	4	5	5	4	4	32

Tablo 2. Örneklenen *P. dissimilis* popülasyonlarının COI gen bölgesi için genetik çeşitlilik indeksleri

Popülasyon	<i>N</i>	<i>S</i>	<i>H</i>	<i>h</i>	<i>k</i>	π
Ardahan	6	2	3	0,73333±0,155	0,93333	0,00142±0,00039
Hatay	4	1	2	0,50000±0,265	0,50000	0,00076±0,00040
Elazığ	4	2	3	0,83333±0,222	1,16667	0,00177±0,00055
Isparta	5	1	2	0,60000±0,175	0,60000	0,00091±0,00027
Konya	5	1	2	0,60000±0,175	0,60000	0,00091±0,00027
Samsun	4	1	2	0,66667±0,204	0,66667	0,00101±0,00031
Antalya	4	1	2	0,66667±0,204	0,66667	0,00101±0,00031
Toplam	32	65	15	0,95161±0,015	30,42339	0,04624±0,00288

N: örnek sayısı, *S*: polimorfik bölge sayısı, *H*: haplotip sayısı, *h*: haplotip çeşitliliği, *k*: ortalama nükleotid farklılığı sayısı, π : nükleotid çeşitliliği

Çalışılan 7 popülasyon için 0,50000±0,265 ile 0,83333±0,222 arasında değişen kısmen yüksek sayılabilecek haplotip çeşitlilikleri ve 0,00076±0,00040 ile 0,00177±0,00055 arasında değişen oldukça düşük nükleotid çeşitlilikleri tespit edilmiştir (Tablo 2). Toplam haplotip ve nükleotid çeşitlilik değerleri ise sırasıyla 0,95161±0,015 ve 0,04624±0,00288 olarak bulunmuştur. Tespit edilen bu haplotip ve nükleotid çeşitliliği değerleri *P. dissimilis* popülasyonları için rapor edilmiş verilerin bulunmaması sebebiyle başka çalışmaların değerleri ile kıyaslanamamaktadır. Ancak bu değerlere göre Türkiye’deki *P. dissimilis* için kısmen yüksek haplotip ve düşük nükleotid çeşitliliklerinin söz konusu olduğu ve bu durumun da genetik heterojenitenin yani yüksek bir tür içi genetik çeşitliliğin göstergesi olduğu söylenebilir. Nitekim çalışmada kullanılan örnek sayısının nispeten az olmasına rağmen 15 haplotip belirlenmiş olması da tür içi genetik çeşitliliğin yüksek olduğuna işaret etmektedir.

3.2. Popülasyon Yapısı

32 birey arasındaki genel ortalama genetik uzaklık 0,05240 olarak tespit edilmiştir. En yüksek popülasyon içi genetik uzaklık Elazığ popülasyonunda (0,00178), en düşük popülasyon içi genetik uzaklık Hatay popülasyonunda (0,00076) saptanmıştır (Tablo 3). Popülasyonlar arası genetik uzaklıklar değerlendirildiğinde Samsun ve Hatay popülasyonlarının en fazla farklılaşan popülasyonlar (0,10265), Konya ve Isparta popülasyonlarının ise en az farklılaşan popülasyonlar (0,00183) olduğu belirlenmiştir (Tablo 3). Toplamda 21 ikili popülasyon karşılaştırmasının 19’unda anlamlı F_{ST} değerleri bulunmuştur ($p < 0,05$) (Tablo 3). Genel F_{ST} değeri 0,98983 olarak hesaplanmıştır ($p < 0,0001$). Samsun ve Hatay popülasyonları en yüksek ikili farklılaşmayı gösterirken ($F_{ST}=0,99840$; $p < 0,05$), Konya ve Isparta popülasyonları en düşük farklılaşmayı sergilemiştir ($F_{ST}=0,50973$; $p > 0,05$). Tüm bu değerlerde farklılıkların gözlenmesi, söz konusu popülasyonlar arasında farklı coğrafi

mesafeler ve fiziksel bariyerlerin bulunmasından kaynaklanıyor olabilir.

Tespit edilen 15 *P. dissimilis* COI haplotipinin filogenetik ilişkileri ML analizi ile incelenmiştir. Elde edilen ML ağacında yüksek bootstrap değerleri ile birbirinden ayrılan iki temel klad belirlenmiştir (Şekil 3). Birinci kladda Anadolu Diyagonali'nin doğusundaki popülasyonların (Ardahan, Elazığ ve Hatay) haplotipleri (H1-H8) %100 bootstrap değeri ile birlikte kümelenirken, ikinci kladda Anadolu Diyagonali'nin batısındaki popülasyonların (Isparta, Konya, Antalya ve Samsun) haplotipleri (H9-H15) %100 bootstrap değeri ile birlikte yer almıştır. Birinci kladda yer alan haplotiplerden bir popülasyona özgü olanların monofiletik gruplar oluşturduğu görülmüştür. Ancak ikinci kladdaki haplotiplerden sadece Samsun popülasyonuna özgü olanlar (H12 ve H13) monofiletik grup oluşturmuştur. Diğer yandan ML ağacında Hatay popülasyonu haplotiplerinin %100 bootstrap değeri ile Ardahan ve Elazığ haplotiplerinden ayrılarak birlikte kümelenmeleri dolayısıyla birinci kladda iki temel soy hattı (Doğu ve Hatay soy hatları) bulunduğu, ikinci kladda ise sadece batı soy hattından müteşekkil olduğu görülmüştür.

Haplotiplerin ML ağacına benzer şekilde, MJ yöntemi ile oluşturulan haplotip ağında da 3 ana haplotip grubu (soy hattı) oluşmuştur (Şekil 4). Bu gruplar Doğu haplotip grubu, Hatay haplotip grubu ve Batı haplotip grubudur. H4 ve H5 haplotiplerinden oluşan Hatay haplotip grubu ile H1, H2, H3, H6, H7 ve H8 haplotiplerinden oluşan Doğu haplotip grubu arasında en az 9 mutasyon basamağı, Doğu haplotip grubu ile H9-H15 haplotiplerinden oluşan Batı haplotip grubu arasında ise en az 52 mutasyon basamağı bulunduğu saptanmıştır. Hatay grubundaki iki haplotip aralarında bulunan en az bir mutasyon basamağıyla birbiri ile bağlantılıdır. Doğu grubu içinde Ardahan'dan örneklenen H3 haplotipinin H1 ve H2 ile en az birer mutasyon basamağıyla bağlantılı olduğu ve ayrıca H1 ve H2'nin örneklenmemiş ara bir haplotip ile de en az birer mutasyon basamağıyla bağlantılı olduğu tespit edilmiştir. Diğer yandan H2 ve H3 haplotiplerinin Elazığ'dan örneklenen sırasıyla H6 ve H7 haplotipleriyle aralarındaki en az dörder mutasyon basamağıyla bağlantılı olduğu ve H7'nin de yine Elazığ'dan örneklenen H8 ile en az bir mutasyon basamağıyla bağlantılı olduğu görülmüştür. Batı grubu içinde ise H9'un Isparta'dan örneklenmiş

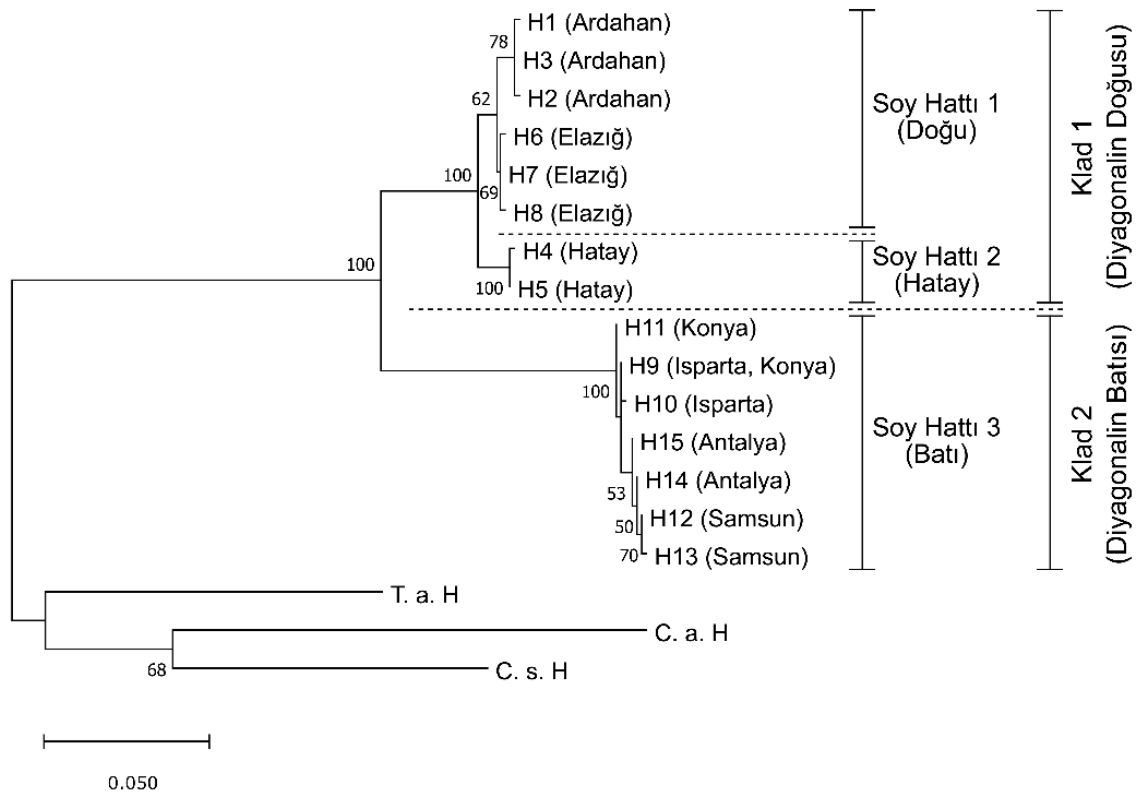
H10 ve Konya'dan örneklenmiş H11 haplotipleriyle en az birer mutasyon basamağıyla ama Antalya'dan örneklenmiş H15 ile en az iki mutasyon basamağıyla bağlantılı olduğu görülmüştür. Ayrıca H15'in Antalya'dan örneklenmiş H14 ile, H14'ün Samsun'dan örneklenmiş H12 ile, H12'nin de yine aynı yerden örneklenmiş H13 ile bağlantılı olduğu ve bu 4 haplotip arasında en az birer mutasyon basamağı bulunduğu tespit edilmiştir.

Hem MJ haplotip ağı hem de ML ağacından elde edilen verilere göre, çalışılan popülasyonlar Doğu, Hatay ve Batı olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır. Grup çiftleri arasında genetik farklılaşma derecesi ikili F_{ST} değerleri vasıtasıyla değerlendirilmiştir. İkili grup karşılaştırmalarının tamamında anlamlı F_{ST} değerleri bulunmuştur ($p < 0,0001$). Batı-Hatay grupları ($F_{ST}=0,99289$) ile Batı-Doğu grupları ($F_{ST}=0,99002$) en yüksek ikili farklılaşmayı gösterirken, Doğu-Hatay grupları ($F_{ST}=0,84027$) en düşük farklılaşmayı sergilemiştir. Ayrıca ikili grup incelemeleri ile γ_{ST} ve N_m değerleri elde edilerek grup çiftleri arasındaki genetik farklılaşma ve gen akışı değerlendirilmiştir. Ortalama γ_{ST} ve ilgili N_m değerleri sırasıyla 0,92176 ve 0,02 olarak bulunmuştur. Bu değerler oldukça yüksek bir farklılaşma ve oldukça düşük bir gen akışına işaret etmektedir. Batı ile Doğu grupları arasında ve Batı ile Hatay grupları arasında yüksek genetik farklılaşma ve düşük gen akışı (Batı-Doğu: $\gamma_{ST}=0,90357$ ve $N_m=0,03$; Batı-Hatay: $\gamma_{ST}=0,89157$ ve $N_m=0,03$) belirlenirken, Doğu ve Hatay grupları arasında ise nispeten daha düşük bir genetik farklılaşma ve daha yüksek bir gen akışı (Doğu-Hatay: $\gamma_{ST}=0,65557$ ve $N_m=0,13$) saptanmıştır. İncelenen *P. dissimilis* popülasyonlarının COI gen bölgesinde gözlenen varyasyonun dağılımını belirlemek için uygulanan AMOVA ile, her üç düzey için (gruplar arasında, gruplar içi popülasyonlar arasında ve popülasyonlar içinde) istatistiksel olarak önemli genetik varyasyon tespit edilmiştir (Tablo 4). Buna göre gruplar arasındaki varyasyon payı %98,54 ($p < 0,01$), gruplar içi popülasyonlar arasındaki varyasyon payı %1,18 ($p < 0,0001$) ve popülasyon içindeki varyasyon payı %0,27 ($p < 0,0001$) olarak belirlenmiştir. Analiz sonucu her üç düzeyde de yüksek bir genetik yapılanma olduğunu göstermiştir.

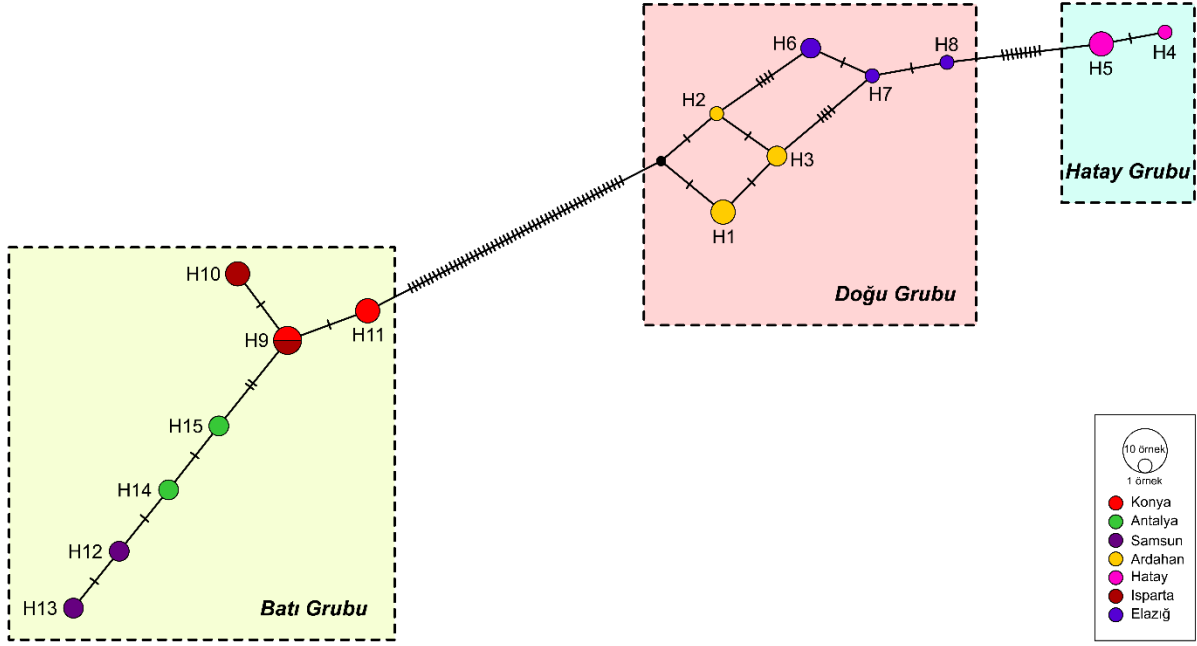
Tablo 3. Popülasyon içi ortalama genetik uzaklıklar (diyagonal, koyu yazılmış), popülasyonlar arası ortalama genetik uzaklıklar (diyagonalın altı) ve popülasyon çiftleri arasındaki F_{ST} değerleri (diyagonalın üstü)

	Ardahan	Hatay	Elazığ	Isparta	Konya	Samsun	Antalya
Ardahan	0,00142	0,95914***	0,82375***	0,99736***	0,99713***	0,99729*	0,99709***
Hatay	0,02037	0,00076	0,94176**	0,99831*	0,99816*	0,99840*	0,99828*
Elazığ	0,00808	0,01646	0,00178	0,99738***	0,99715**	0,99724*	0,99705*
Isparta	0,09515	0,09888	0,09794	0,00091	0,50973	0,85015**	0,80686***
Konya	0,09272	0,09643	0,09549	0,00183	0,00091	0,88971***	0,80686**
Samsun	0,09683	0,10265	0,09963	0,00599	0,00785	0,00102	0,68007
Antalya	0,09480	0,10058	0,09758	0,00475	0,00475	0,00306	0,00102

*: p<0,05; **: p<0,01; ***: p<0,0001

**Şekil 3.** *P. dissimilis* COI haplotiplerinin ML ağacı. T. a. H, C. a. H ve C. s. H dış grup olarak kullanılan sırasıyla *Tanyarsus arduennensis*, *Cladotanyarsus atridorsum* ve *Cladotanyarsus* sp.'nin haplotipleridir. Nodlardaki rakamlar bootstrap değerlerini belirtmektedir. %50'den küçük değerler gösterilmemiştir.**Tablo 4.** Çalışılan *P. dissimilis* popülasyonlarının moleküler varyans analizi (AMOVA) sonuçları

Varyasyonun kaynağı	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Varyans bileşenleri	Varyans yüzdesi	Fiksasyon indeksi	p değeri
Gruplar arasında	2	2517,976	137,11287 Va	98,54	$F_{CT}=0,98544$	0,00978
Gruplar içi popülasyonlar arasında	4	31,511	1,64336 Vb	1,18	$F_{SC}=0,81134$	0,00000
Popülasyonlar içinde	25	9,553	0,38213 Vc	0,27	$F_{ST}=0,99725$	0,00000
Toplam	31	2559,040	139,13836			



Şekil 4. *P. dissimilis* popülasyonlarında tespit edilen 15 COI haplotipinin MJ ağı. Her bir daire bir haplotipi, her bir daire rengi bir popülasyonu gösterirken dairenin boyutu haplotipin görüldüğü örnek sayısı ile orantılıdır.

F_{ST} değeri, popülasyonlar arasındaki genetik farklılaşmanın önemli bir göstergesi olarak bilinmektedir [32]. Bu çalışmada 21 ikili karşılaştırmanın 19'u için saptanan istatistiksel açıdan önemli F_{ST} değerleri ($F_{ST} > 0,25$; $p < 0,05$) (Tablo 3) bu popülasyonlar arasında çok büyük farklılaşmalar olduğunu göstermektedir. Özellikle lentik ekosistemlerde, *P. dissimilis*'in yumurta, larva, pupa ve ergin yaşam evrelerinde yayılma potansiyeli, kısa ömürleri ve üreme biyolojileri nedeniyle son derece düşüktür [6]. Bu gerçek göz önüne alındığında, bu popülasyonların gösterdiği önemli ölçüde büyük ikili farklılaşmalar, coğrafi izolasyon faktörleri olarak aralarındaki mesafe ve fiziksel bariyerlerden kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca, hesaplanan ortalama γ_{ST} değeri (0,92176) *P. dissimilis* popülasyonlarının birbirinden farklılaştığını ve genel N_m değeri (0,02) muhtemelen coğrafi izolasyon faktörleri nedeniyle popülasyonlar arasında sınırlı genetik bağlantı olduğunu göstermektedir. Ancak Isparta ile Konya ve Samsun ile Antalya popülasyonları arasındaki ikili karşılaştırmalardan elde edilen istatistiksel açıdan anlamsız F_{ST} değerleri, bir grup içerisinde yer alan popülasyonların birbirleriyle diğer gruplardaki popülasyonlarla olduğundan daha yakın ilişkili olduklarını göstermektedir. Bu popülasyon çiftlerinden aralarında nispeten büyük bir coğrafi mesafe bulunan Samsun ve Antalya popülasyonları arasındaki düşük genetik farklılaşma ($F_{ST} = 0,68007$; $p > 0,05$), coğrafi mesafenin Türkiye'deki *P. dissimilis*

popülasyonlarının genetik yapısı üzerinde etkili olan tek faktör olmayabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle, bu türün popülasyonları arasında genetik çeşitliliğe neden olan ve popülasyon yapısını belirleyen potansiyel faktörlerin detaylı bir şekilde araştırılması yerinde olacaktır.

Haplotiplerin ML ağacı (Şekil 3) ve MJ ağacı (Şekil 4), çalışmada örneklenmiş popülasyonların 3 ayrı soy hattına ayrıldığını açık bir şekilde göstermektedir. AMOVA analizi farklı hiyerarşik düzeylerde istatistiksel açıdan anlamlı moleküler varyasyonlar belirlemiştir ($p < 0,01$) (Tablo 4). Ayrıca soy hatları karşılaştırmalarından elde edilen farklı γ_{ST} ve N_m değerleri, soy hatları arasında farklı genetik farklılaşma ve gen akışı seviyelerine işaret etmektedir. Bu sonuçlardan hareketle, Türkiye'deki *P. dissimilis*'in farklı düzeylerde yüksek genetik yapılanma sergilediği söylenebilir. Bu yüksek genetik yapılanmada fiziksel bariyerler ve mesafeler gibi coğrafi izolasyon faktörlerinin etkisi yadsınmaz. Bu bağlamda, Türkiye'nin güneydoğu kısmından (Hatay) başlayarak kuzeye doğru (Rize) ilerleyen dağ silsilelerinden oluşan ve genetik çeşitliliğin dağılımını belirleyen önemli faktörlerden biri olan Anadolu Diyagonali'nin [33], [34], Türkiye'deki *P. dissimilis*'in popülasyon yapısı ve soy hatlarının dağılışı üzerinde de etkili olduğu düşünülebilir.

3.3. Demografik Geçmiş

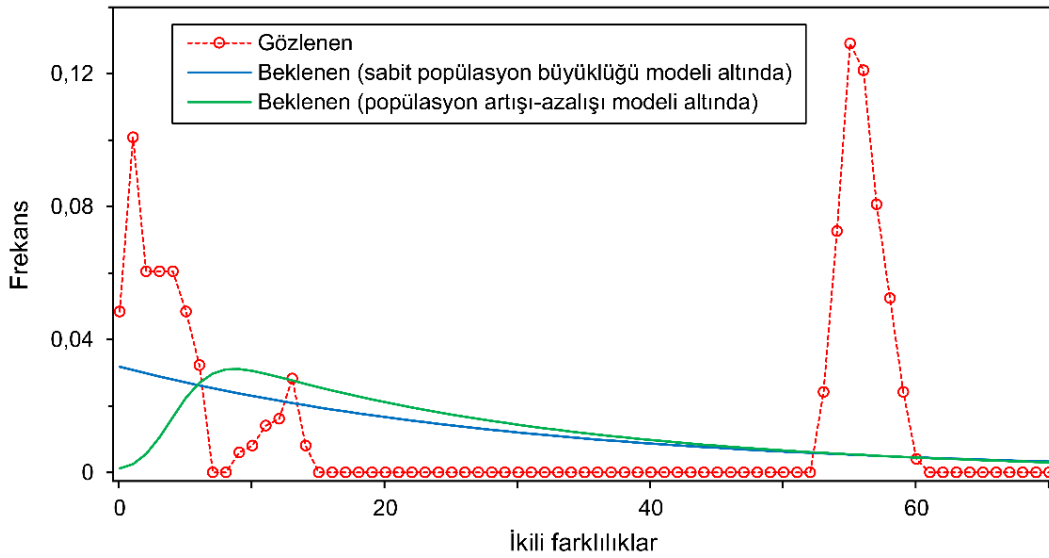
Gruplar (soy hatları) bazında bir değerlendirmede, Tajima's D istatistiği sadece Hatay grubu için negatif değer tespit ederken ($p>0,05$), Fu's F_s istatistiği ise Doğu ve Batı grupları için negatif değerler bulmuştur ($p>0,02$) (Tablo 5). Diğer yandan, her bir grup için hem r hem de SSD değerlerinin istatistiksel olarak anlamsız olduğu saptanmıştır ($p>0,05$). Ayrıca hem sabit popülasyon büyüklüğü modeli hem de popülasyon artışı-azalışı modeli altında yapılan uyumsuzluk dağılımı analizinde tüm grupların uyumsuzluk

dağılımı grafikleri çok doruklu (multimodal) bir şekil göstermiştir. Tüm örnekler birlikte değerlendirildiğinde ise hem nötralite testlerinde hem de uyumsuzluk dağılımı analizlerinde istatistiksel açıdan anlamsız değerler elde edilmiştir (Tablo 5). Tüm örnekler için uyumsuzluk dağılımı grafiği de tıpkı gruplar için olduğu gibi çok doruklu bir şekil sergilemiştir (Şekil 5). Bu sonuçlar hem örneklenmiş üç grubun hem de tüm popülasyonun demografik kararlılıkta olduğunu ve bunlarda genişlemeye veya güçlü bir darboğaza yönelik nötraliteden herhangi bir sapma görülmediğini göstermektedir.

Tablo 5. Belirlenen *P. dissimilis* gruplarının (soy hatlarının) nötralite testleri ve uyumsuzluk dağılımı analizi sonuçları

Grup	Nötralite testleri*		Uyumsuzluk dağılımı analizleri*	
	Tajima's D	Fu's F_s	r	SSD
Grup 1 (Doğu)	1,35618 ($p=0,93800$)	-0,61232 ($p=0,33900$)	0,12296 ($p=0,67400$)	0,06915 ($p=0,12700$)
Grup 2 (Hatay)	-0,61237 ($p=0,35700$)	0,17185 ($p=0,35300$)	0,25000 ($p=1,00000$)	0,02196 ($p=0,19200$)
Grup 3 (Batı)	1,46931 ($p=0,92100$)	-0,74053 ($p=0,33000$)	0,03443 ($p=0,54600$)	0,00737 ($p=0,42800$)
Toplam	3,30134 ($p=1,00000$)	6,57999 ($p=0,97900$)	0,01634 ($p=0,93600$)	0,03518 ($p=0,18100$)

* r : Harpending's raggedness istatistiği, SSD: varyasyon kareler toplamı, p : istatistiklerde elde edilen önem dereceleri. Her bir test için p değeri parantez içinde gösterilmektedir.



Şekil 5. Tüm veri setini içeren toplam *P. dissimilis* popülasyonunun (N=32) uyumsuzluk dağılımı grafiği

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma ile Türkiye'deki *P. dissimilis* genetik çeşitliliği ve popülasyon yapısı ilk defa incelenmiş ve mitokondriyal COI gen bölgesinin bu türün popülasyon genetiği çalışmaları için kullanışlı bir moleküler belirteç olarak görülebileceğine ilişkin güçlü kanıtlar ortaya çıkarılmıştır. Sonuç olarak

Türkiye'deki bazı *P. dissimilis* popülasyonlarında genetik heterojeniteye işaret eden kısmen yüksek haplotip ve düşük nükleotid çeşitlilikleri bulunduğu, bu popülasyonların farklı düzeylerde (gruplar arasında, gruplar içi popülasyonlar arasında ve popülasyonlar içinde) yüksek bir genetik yapılanma gösterdiği ve demografik kararlılıkta olduğu belirlenmiştir. Örneklenen *P.*

dissimilis popülasyonlarının farklı düzeylerde gösterdiği yüksek genetik yapılanma, popülasyonlar ve soy hatlarının birbirlerinden farklılaşması ve aralarındaki genetik bağlantı üzerinde coğrafi mesafenin ve fiziksel bariyerlerin etkili bir rolünün olabileceğini düşündürmektedir. Batı ile Doğu soy hatları arasında ve Batı ile Hatay soy hatları arasında tespit edilen yüksek genetik farklılaşma ve düşük gen akışı özellikle Anadolu Diyagonalı'nın bu soy hatları arasındaki gen akışını sınırlandırarak birbirlerinden farklılaşmalarına yol açmış olabileceğine işaret etmektedir. Chironomidlerin ekonomik ve çevresel açılarından önemi ve *P. dissimilis*'in genetik çeşitliliği ve popülasyon yapısı ile ilgili literatürdeki boşluk göz önüne alındığında, bu çalışmanın Türkiye'deki *P. dissimilis* genetik

çeşitliliği, popülasyon yapısı ve demografik geçmişine ilişkin çok değerli bilgiler sağladığı açıktır. Ancak yine de daha fazla örnekleme alanından (hem Türkiye'den hem de türün yayılışının olduğu başka yerlerden) toplanan daha fazla örnek ile daha fazla moleküler belirteç (mitokondriyal ve/veya nükleer) kullanarak gerçekleştirilecek yeni çalışmaların yapılması yararlı olacaktır. Böylece *P. dissimilis*'in genetik çeşitliliği ve popülasyon yapısı daha iyi anlaşılabilir ve türün bu bölgedeki tarihsel demografisi detaylı olarak incelenmiş olur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] J. S. Gilleard, and E. Redman, "Genetic diversity and population structure of *Haemonchus contortus*," *Adv. Parasitol.*, vol. 93, pp. 31-68, May 2016.
- [2] K. A. Crandall, D. Posada, and D. Vasco, "Effective population size: missing measures and missing concepts," *Anim. Conserv.*, vol. 2, no. 4, pp. 317-319, 1999.
- [3] H. B. Bode, "Entomopathogenic bacteria as a source of secondary metabolites," *Curr. Opin. Chem. Biol.*, vol. 13, no. 2, pp. 224-230, 2009.
- [4] P. S. Cranston, "Introduction," in *The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-biting Midges*, P. D. Armitage, P. S. Cranston, L. C. V. Pinder, Eds. Dordrecht: Springer, 1995, ch. 1, pp. 1-7.
- [5] L. C. V. Pinder, "Biology of freshwater Chironomidae," *Annu. Rev. Entomol.*, vol. 31, pp. 1-23, 1986.
- [6] P. D. Armitage, P. S. Cranston, and L. C. V. Pinder, Eds. *The Chironomidae: Biology and Ecology of Non-biting Midges*. Dordrecht: Springer, 1995, pp. 1-572.
- [7] A. Sari, and F. Sari, "A comparative examination of acute toxicities of three disazo dyes to freshwater macroinvertebrates *Gammarus roeseli* (Crustacea: Amphipoda) and *Chironomus riparius* (Insecta: Diptera)," *Chem. Ecol.*, vol. 37, no. 8, pp. 683-703, 2021.
- [8] P. S. Cranston, N. B. Hardy, G. E. Morse, L. Puslednik, and S. R. McCluen, "When molecules and morphology concur: the "Gondwanan" midges (Diptera: Chironomidae)," *Syst. Entomol.*, vol. 35, no. 4, pp. 636-648, 2010.
- [9] O. A. Sæther, and F. O. Roque, "New Neotropical species of *Nandeva* (Diptera: Chironomidae), with a phylogeny of the Tanytarsini," *Tijdschr. Entomol.*, vol. 147, pp. 63-80, 2004.
- [10] T. Ekrem, E. Willassen, and E. Stur, "Phylogenetic utility of five genes for dipteran phylogeny: a test case in the Chironomidae leads to generic synonymies," *Mol. Phylogenet. Evol.*, vol. 57, no. 2, pp. 561-571, 2010.
- [11] M. E. Carew, V. Pettigrove, R. L. Cox, and A. A. Hoffmann, "DNA identification of urban Tanytarsini chironomids (Diptera: Chironomidae)," *J. North Am. Benthol. Soc.*, vol. 26, no. 4, pp. 587-600, 2007.
- [12] R. Bakır, "Türkiye'nin bazı önemli göllerinde Chironomidae (Insecta: Diptera) faunasının araştırılması," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2012.
- [13] A. V. Nebeker, "Temperature requirements and life cycle of the midge *Tanytarsus dissimilis* (Diptera: Chironomidae)," *J. Kans. Entomol. Soc.*, vol. 46, no. 2, pp. 160-165, 1973.
- [14] Y. Brodin, G. Ejdung, J. Strandberg, and T. Lyrholm, "Improving environmental and biodiversity monitoring in the Baltic Sea using DNA barcoding of Chironomidae (Diptera)," *Mol. Ecol. Resour.*, vol. 13, no. 6, pp. 996-1004, 2013.
- [15] P. Bitušík, and K. Trnková, "A preliminary checklist of Chironomidae (Diptera) from Albania with first records for the Balkan Peninsula," *Zootaxa*, vol. 4563, no. 2, pp. 361-371, 2019.

- [16] A. Sari, M. Duran, A. Sen, and F. Bardakci, "Investigation of Chironomidae (Diptera) relationships using mitochondrial *COI* gene," *Biochem. Syst. Ecol.*, vol. 59, pp. 229-238, 2015.
- [17] M. Gross, "Turkey's biodiversity at the crossroads," *Curr. Biol.*, vol. 22, no. 13, pp. R503-R505, 2012.
- [18] H. Xu, Y. Zhang, D. Xu, B. Lou, Y. Guo, X. Sun, and B. Guo, "Genetic population structure of miiuy croaker (*Miichthys miiuy*) in the Yellow and East China Seas base on mitochondrial COI sequences," *Biochem. Syst. Ecol.*, vol. 54, pp. 240-246, 2014.
- [19] C. Lord, K. Maeda, P. Keith, and S. Watanabe, "Population structure of the Asian amphidromous Sicydiinae goby, *Stiphodon percnopterygionus*, inferred from mitochondrial COI sequences, with comments on larval dispersal in the northwest Pacific Ocean," *Vie Milieu*, vol. 65, no. 2, pp. 63-71, 2015.
- [20] A. Ayyasamy, and P. D. Kamala Jayanthi, "Population structure inferred from COI data analyses for *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae) in the Karnataka region of India," *Orient. Insects*, vol. 54, no. 1, pp. 41-57, 2020.
- [21] A. Kuyulu, and H. Genç, "Genetic diversity of codling moth *Cydia pomonella* L. (Lepidoptera: Tortricidae) populations in Turkey," *Turk. J. Zool.*, vol. 44, no. 5, pp. 462-471., 2020.
- [22] D. M. Hillis, and C. Moritz, Eds., *Molecular Systematics*. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 1990, pp. 1-588.
- [23] V. Guryev, I. Makarevitch, A. Blinov, and J. Martin, "Phylogeny of the genus *Chironomus* (Diptera) inferred from DNA sequences of mitochondrial *cytochrome b* and *cytochrome oxidase I*," *Mol. Phylogenet. Evol.*, vol. 19, no. 1, pp. 9-21, 2001.
- [24] C. S. Sinclair, and S. E. Gresens "Discrimination of *Cricotopus* species (Diptera: Chironomidae) by DNA barcoding," *Bull. Entomol. Res.*, vol. 98, no. 6, pp. 555-563, 2008.
- [25] K. Tamura, G. Stecher, D. Peterson, A. Filipinski, and S. Kumar, "MEGA6: Molecular evolutionary genetics analysis version 6.0," *Mol. Biol. Evol.*, vol. 30, no. 12, pp. 2725-2729, 2013.
- [26] S. Kumar, G. Stecher, M. Li, C. Knyaz, and K. Tamura, "MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms," *Mol. Biol. Evol.*, vol. 35, no. 6, pp. 1547-1549, 2018.
- [27] X. Xia, and Z. Xie, "DAMBE: Software package for data analysis in molecular biology and evolution," *J. Hered.*, vol. 92, no. 4, pp. 371-373, 2001.
- [28] P. Librado, and J. Rozas, "DnaSP v5: A software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data," *Bioinformatics*, vol. 25, no. 11, pp. 1451-1452, 2009.
- [29] L. Excoffier, G. Laval, and S. Schneider, "Arlequin (version 3.0): An integrated software package for population genetics data analysis," *Evol. Bioinform. Online*, vol. 1, pp. 47-50, 2005.
- [30] D. Silvestro, and I. Michalak, "RaxmlGUI: A graphical front-end for RAxML," *Org. Divers. Evol.*, vol. 12, pp. 335-337, 2012.
- [31] J. W. Leigh, and D. Bryant, "POPART: Full-feature software for haplotype network construction," *Methods Ecol. Evol.*, vol. 6, no. 9, pp. 1110-1116, 2015.
- [32] S. Wright, "The interpretation of population structure by F-statistics with special regard to systems of mating," *Evolution*, vol. 19, no. 3, pp. 395-420, 1965.
- [33] B. Çiplak, "Distribution of Tettigoniinae (Orthoptera, Tettigoniidae) bush-crickets in Turkey: the importance of the Anatolian Taurus Mountains in biodiversity and implications for conservation," *Biodivers. Conserv.*, vol. 12, no. 1, pp. 47-64, 2003.
- [34] S. Mutun, "Intraspecific genetic variation and phylogeography of the oak gallwasp *Andricus caputmedusae* (Hymenoptera: Cynipidae): Effects of the Anatolian diagonal," *Acta Zool. Acad. Sci. Hung.*, vol. 56, no. 2, pp. 153-172, 2010.



Evaluation of Global Food Security Index Indicators with 2020 COVID-19 Period Data and Country Comparisons

Gökhan ÖZKAYA^{1*}, Gülsüm UÇAK ÖZKAYA²

¹*Yıldız Technical University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, Istanbul, Turkey*

²*Bitlis Eren University, Department of Gastronomy and Culinary Arts, Kanik School of Applied Sciences, Bitlis, Turkey*

(ORCID: [0000-0002-2267-6568](https://orcid.org/0000-0002-2267-6568)) (ORCID: [0000-0002-4207-6797](https://orcid.org/0000-0002-4207-6797))



Keywords: Food Security, Climate change, COVID-19, Cluster analysis, Multi-criteria decision making methods

Abstract

Fluctuating global economic growth, rising inequality, political instability and forced migration have a significant impact on whether the population is well-nourished. While climate change and depletion of natural resources increase these negativities, they make it difficult to reach the United Nations' Sustainable Development Goals (UN SDGs) by 2030. According to research by the UN Food and Agriculture Organization (FAO), 35 to 122 million people will fall into poverty by 2030 and there will be less food security due to climate-related problems. The food security and nutritional status of the most vulnerable communities are expected to worsen due to the health and socio-economic impacts of the COVID-19 pandemic. In the study, the comparative situations of the countries including Turkey were planned to be analyzed by Multi-Criteria Decision Making methods with the 2020 COVID-19 period data in terms of food security, which is among the main headings of the United Nations 2030 Development Goals. The study presents a novelty to the literature by drawing attention to the increasing food security problem with the global COVID-19 pandemic, and also by using Multi-Criteria Decision Making methods and cluster analysis from data mining methods. According to the final ranking obtained by the Borda Count method in the study, Singapore ranks first, followed by Finland, Sweden, Switzerland, the United States and the Netherlands, respectively. In both the COPRAS and MAUT rankings, six of the top 10 nations are European Union members. Indonesia, India, South Africa, Thailand, Brazil, and Slovakia are at the bottom of the Borda ranking.

1. Introduction

The term of food security relates to the accessibility of food and ease of getting it. Affordability is only one of the many factors to consider. Throughout history, food security has been a major concern. It is known that state officials in ancient China and Egypt built food stocks to satisfy the needs of the people and provided them completely for free during times of famine.

The term "food security" was conceptualized at the 1974 World Food Conference, and it was defined as "the allocation of a world food supply of basic food stuffs that is always satisfactory, nutritious, varied, stable, and assessed to support the routine growth in consumption and to stability in generation and prices"(Thomas, 2003). Following that, the issues of consumption and supply were included to this concept. According to the World Food Summit's final document, food security occurs if all individuals get right to have adequate, clean, and healthy food to satisfy their

*Corresponding author: gozkaya@yildiz.edu.tr

Received: 31.10.2021, Accepted: 15.02.2022

dietary requirements for an adequate standard of living (Food & Organization, 1996; Patel, 2013).

If all members of a residence get enough food to live an improved standard of living, they are considered to be food secure (Service, 2008). People who are food secure do not have to worry about starvation or famine (Agricultural, 2012). The United States Department of Agriculture (USDA) defines food insecurity as "the limited and inadequate supply of dependable nutrients, or limited capacity of distribution" (Bickel, Nord, Price, Hamilton, & Cook, 2000).

Figure 1 shows the stakeholders and key objectives of the European Union food and nutrition security (SUSFANS) framework.

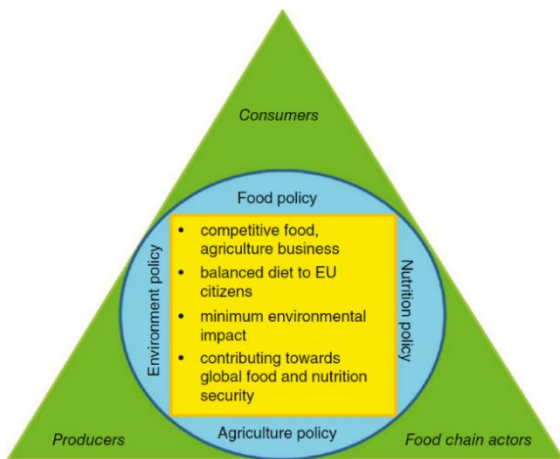


Figure 1. European Union food and nutrition security framework (SUSFANS) [1].

Food security is defined as the capacity to adjust to future disruptions or shortages of critical food reserves owing to a variety of risk factors such as droughts, transportation interruptions, fuel shortages, global recession, and conflicts. From 2011 to 2013, over 842 million were severely food insecure [2]. According to the WHO, food security is based on three factors: food availability, food access, and food consumption and misuse. The FAO proposed a fourth factor: the continuity of the first 3 aspects of food security through time. Consequently, there are four elements of food security according to the United Nations' Food and Agriculture Organization (FAO): availability, access, utilization and stability [3]. U.N. stressed that in order to benefit from the other rights, one must have the right to food [4]. There were declarations made during the 1996 United Nations World Food Summit that food must not become an instrument of social and financial restrictions [5].

Food security has improved globally during the previous decade, thanks to increased agricultural productivity and lower food costs. Thus, economic and financial predictions were met. In spite of these improvements, changing world economies, rising inequalities, COVID-19, governmental instability, and forced migration all have a substantial influence on whether communities have access to sufficient amounts of food. Climate change and the loss of natural resources enhance these problems, and also they create difficulties to meet the Sustainable Development Goals (SDGs) of the United Nations by 2030. Because of these climate-related challenges, another 35 to 122 million people will be poor by 2030 [6]. As a result of the COVID-19 pandemic related effects, food security and malnutrition of the most vulnerable groups are expected to worsen further. The potential worst scenarios are becoming more probable, given the existing condition of the ecosystem and the shortage of natural assets. Furthermore, a World Food Program (WFP) study found that for every one percent increase in food insecurity, an extra 1.9 percent of people migrate in quest of food. If finding or purchasing food becomes hard, migration will increase [7].

Figure 2 summarizes the responsibilities of the private sector, individuals and central government for food security.

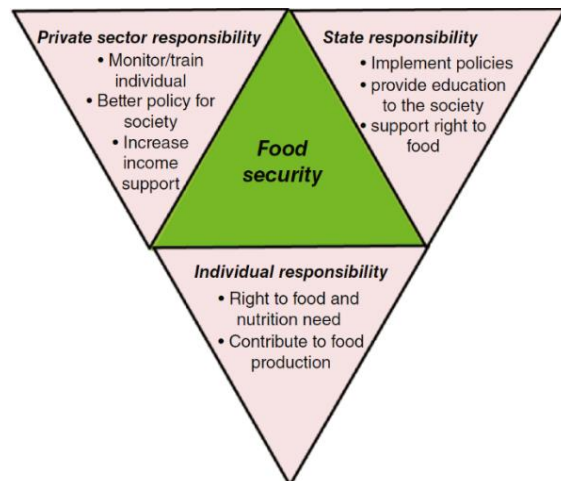


Figure 2. The responsibilities of individuals, businesses, and governments in food security [1].

Within the household budget, the number of calories per capita per day may be used to assess food security [8, 9]. An index's main objective is usually to capture all or most of the available and accessible food and consumption factors that contribute to food security. Availability and consumption variables may be predicted quite easily. On the contrary, accessibility remains a more

challenging issue [10]. The factors influencing daily food availability are frequently context-specific [11]. Numerous assessments have been carried out to capture the availability component of food security, including several useful indicators created by the USAID-funded Food and Nutrition Technical Assistance (FANTA) project, in collaboration with Cornell University, Tufts University, Africare, and World Vision [11, 12]. These include:

- The Household Food Insecurity Access Scale (HFIAS) is a monthly questionnaire that assesses the amount of food insecurity (lack of availability) in a house.
- The Household Dietary Diversity Scale (HDDS) determines how much of each food category ingested during a certain time period (24 hours, 48 hours, or 7 days).
- The Household Hunger Scale (HHS) is a survey and index that aims to evaluate food insecurity in households.

You may measure how effectively your family copes with food scarcity by comparing it to a group of recognized methods by using the Coping Strategies Index (CSI). "What do you do when you do not have the food or ability to afford it?" is the sole question that has been used to obtain data for this research [13-15].

Questionnaire in the Census Bureau's Current Population Survey are used to assess food insecurity in the USA. It includes the aspects of the family budget used to buy enough food, the sense of inadequacy in the quantity or taste of food eaten by people of all ages in the residence, and the behaviors displayed during the poor diet [16]. The State of Food Insecurity in the World is a collaboration of the FAO, the World Food Programme (WFP), and the International Fund for Agricultural Development (IFAD). Developing food supply for cheap nutritional diets was the focus of the 2020 edition. Revised minimum dietary energy requirements for specific nations, revisions to global population statistics, and estimates of wasted food in service supply for every nation are among the new highlights. Nutritional energy supply, agricultural production, food pricing, food budget, and food chain unpredictability are all factors that influence the index [17]. Food insecurity levels vary from excellent food security to full-fledged shortage [18]. According to reports, 852 million people (approximately 15% of the global population)

are suffering from malnutrition in underdeveloped nations. According to the UN, over two billion people around the world can not get enough vitamins and minerals. Since the mid-1990s, 30 million people in India have been malnourished, and 46 percent of children are underweight [19].

For millennia, there have been several instances of food insecurity and scarcity. Most of them have resulted in the deaths of millions of people and a considerable drop in the population of a large geographic area. While drought and conflict were the most prevalent causes, economic policies were the primary cause of the world's worst famines.

In order to determine the major effects of food insecurity, the Global Food Safety Index (GFSI) examines the performance of food supply networks at global level. It has been released yearly since 2012 and attempts to determine a nation's level of food security in relation to the level of other countries. Food security is a complex and multi-dimensional phenomenon that is influenced by culture, climate, and region. However, despite its limitations, it provides a helpful approach for evaluating the risks to food security in states, regions, and the globe in terms of fundamental parameters. As a result of GFSI, countries could easily be compared based on their food security. 113 nations are compared in terms of cost, availability, quality, and safety in order to arrive at this conclusion. Global Financial Stability Index (GFSI) also contains a "natural resources and resilience" factor, which assesses how vulnerable nations are to global warming hazards, and how they respond to such challenges. This index has used as a policy check instrument for authorities as well as an investment evaluation tool. As a result of this index, non-governmental and international aid groups are able to identify nations that require assistance and support in their food security policies and challenges. The commercial sector also uses this index as a reference for making critical choices, considering food consumption patterns, and supporting programs for collective social responsibility.

The study aims to present a novelty to the literature by highlighting the growing food security problem caused by the global COVID-19 pandemic, as well as by employing Multi-Criteria Decision Making methods and cluster analysis. The findings and methodology of this study are expected to be useful to researchers and policymakers around the world. The 40 countries were ranked based on 55 variables including affordability, availability, quality, and safety, as well as natural resources and

resilience. The Entropy, COPRAS, MAUT, Cluster Analysis, and Spearman Correlation methods were used to conduct the analysis. There is no clear evidence in the literature that one MCDM method is superior to another. As a result, using multiple MCDM methods to check the consistency of the results is critical for the study's reliability. As a result, Spearman Correlation analysis was used to evaluate the obtained results. In addition to these methods, Cluster Analysis, which is frequently used in similar studies in the literature, was also applied in order to make a comparison with the MCDM results of the study.

The remainder of the research is structured as follows: Section 2 goes into detail about the literature review. The proposed methods are explained in Section 3. The findings

are presented in Section 4. Sections 5 and 6 present the conclusion and discussion, respectively.

2. Methodology and Data

2.1. Countries

This research aims to assess the 40 nations in the world in terms of food security performance using Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) and cluster techniques. Ekonomi ve nüfus açısından, bu ülkeler genellikle kendi bölgelerinde en önemli ülkelerdir. Due to these characteristics, these countries were chosen to represent the regions in which they are located. Table 1 displays the countries considered for the study as well as additional descriptive data.

Table 1. Country names and some brief descriptive information

No	Country	Income	Region	Population (mn)	GDP PPP\$	GDP per capita, PPP\$
1	Australia	High	SEAO	24.8	1,386.60	52,375.50
2	Austria	High	EU	8.8	464	52,137.40
3	Belgium	High	EU	11.5	549.7	48,244.70
4	Brazil	Upper middle	LCN	210.9	3,370.60	16,154.30
5	Canada	High	NA	37	1,852.50	49,651.20
6	China	Upper middle	SEAO	1,415.00	25,313.30	18,109.80
7	Czech Republic	High	EU	10.6	396.4	37,371.00
8	Denmark	High	EU	5.8	300.3	52,120.50
9	Finland	High	EU	5.5	257.2	46,429.50
10	France	High	EU	65.2	2,968.50	45,775.10
11	Germany	High	EU	82.3	4,379.10	52,558.70
12	Greece	High	EU	11.1	312.5	29,123.00
13	Hungary	High	EU	9.7	308.2	31,902.70
14	India	Lower middle	CSA	1,354.10	10,401.40	7,873.70
15	Indonesia	Lower middle	SEAO	266.8	3,495.90	13,229.50
16	Ireland	High	EU	4.8	378.5	78,784.80
17	Israel	High	NAWA	8.5	336.1	37,972.00
18	Italy	High	EU	59.3	2,398.20	39,637.00
19	Japan	High	SEAO	127.2	5,632.50	44,227.20
20	Malaysia	Upper middle	SEAO	32	999.8	30,859.90
21	Mexico	Upper middle	LCN	130.8	2,575.20	20,601.70
22	Netherlands	High	EU	17.1	972.5	56,383.20
23	New Zealand	High	SEAO	4.7	199.3	40,135.40
24	Norway	High	EU	5.4	398.3	74,356.10
25	Poland	High	EU	38.1	1,201.90	31,938.70
26	Portugal	High	EU	10.3	328.8	32,006.40
27	Qatar	High	NAWA	2.7	356.7	130,475.10
28	Russian Federation	Upper middle	EU	144	4,179.60	29,266.90
29	Singapore	High	SEAO	5.8	556.2	100,344.70
30	Slovakia	High	EU	5.4	191.1	35,129.80
31	South Africa	Upper middle	SSF	57.4	790.9	13,675.30
32	South Korea	High	SEAO	51.2	2,139.70	41,350.60
33	Spain	High	EU	46.4	1,867.90	40,138.80
34	Sweden	High	EU	10	542.8	52,984.10
35	Switzerland	High	EU	8.5	551.4	64,649.10
36	Thailand	Upper middle	SEAO	69.2	1,323.20	19,476.50
37	Turkey	Upper middle	Europe	82.9	2,314.40	27,956.10
38	United Arab Emirates	High	NAWA	9.5	732.9	69,381.70
39	United Kingdom	High	EU	66.6	3,033.70	45,704.60
40	United States	High	NA	326.8	20,513.00	62,605.60

Source: Created by author by using the Global Innovation Index [20] values

CSA: Central and Southern Asia; **EU:** Europe; **LCN:** Latin America and The Caribbean; **NAWA:** Northern Africa and Western Asia; **NA:** Northern America; **SEAO:** South East Asia, East Asia, and Oceania; **SSF:** Sub-Saharan Africa

The Global Innovation Index classifies Turkey as a country in Northern Africa and Western Asia. Turkey is included among the European countries in this study because it is in the process of becoming an EU candidate and is evaluated alongside European countries in all international organizations. In the case of other countries, the Index's regional classification has been taken into consideration.

2.2. Global Food Security Index dimensions and sub-dimensions

This study investigates how exposure to climate risks and three natural assets critical to food security (water, land, and oceans) can affect a country's overall food security situation, in addition to the affordability, availability, quality, and safety factors discussed above in all of their dimensions.

Climate change poses a significant concern, notably in the Middle East and North Africa. In terms of natural resource and resilience issues, the Middle East and North Africa, particularly the Gulf Cooperation Council (GCC) states, are the most vulnerable regions. Food security in GCC countries is threatened due to a variety of climatic issues like as sea level rise, rising temperatures, and drought. Food security in Africa and the Middle East is being strained further by rising urbanization and population expansion, which puts pressure on food systems to satisfy rising demand. Comprehensive analyses and assessments of all of these elements will offer a deeper knowledge of the subject. With its scope and approach, the study will make a significant contribution to the literature.

2.3. Methods

The research ranks the 40 nations based on 55 variables in the categories of affordability, availability, quality & safety, as well as natural resources and resilience. The assessment was carried out using the Entropy, COPRAS, MAUT, Cluster Analysis, and Spearman Correlation methods. In the literature, a dominant superiority of MCDM methods over each other has not been stated. Therefore, it is important for the reliability of the study to use more than one MCDM method in order to check the consistency of the results. Therefore, the obtained results are also evaluated with Spearman Correlation analysis. In addition to these methods, Cluster Analysis, which is frequently used in similar studies in the literature, is also applied in order to make a comparison with the MCDM results of the study.

While the SPSS program was used for Clustering and Spearman Correlation Analysis, the Excel program was used for Entropy and other Multi-Criteria Decision Making methods.

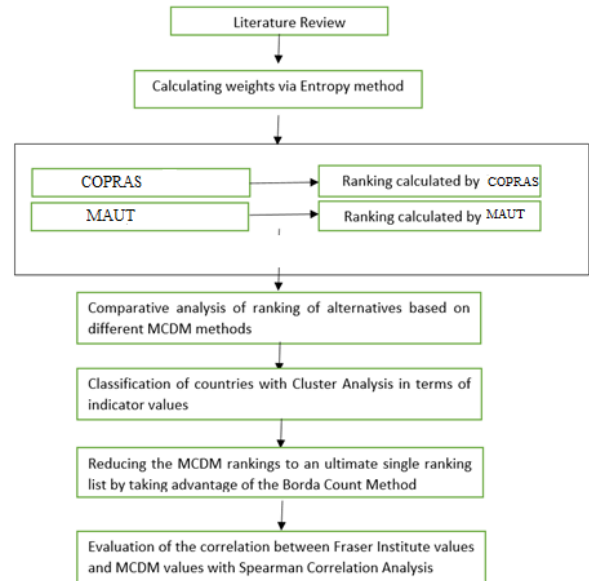


Figure 3. Research framework

2.3.1. Entropy method and objective weights

If you use an Entropy technique, you'll construct a decision matrix using the indicators' numeric value [21]. Entropy, a notion introduced by Shannon and Weaver [22] is used to estimate the relative comparison intensities of the decision-making variables [23]. In spectrum analysis [24], language modeling [25], and economics [26], his technique has been used. The Entropy approach's weight calculation phases are as described in the following: [27-30]:

1st Step: The Decision Matrix

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

2nd Step: A normalized decision matrix is constructed.

These indicators have been standardized based on their benefit or cost characteristics, allowing the values of variables with various units to be compared:

$$r_{ij} = x_{ij}/\max_{ij} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$$

$$r_{ij} = x_{ij}/\min_{ij} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n) \tag{2}$$

i represents alternatives; *j* = criteria; *r_{ij}* = normalized values;

$$x_{ij} =$$

benefit values of the *i*. alternative for *j*.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}; \forall j \tag{3}$$

P_{ij} represents normalized values, whereas a represents utility values.

3rd Step: Calculating the Entropy value

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [P_{ij} \ln P_{ij}]; \forall j \quad (4)$$

$k = \text{entropy coefficient } \{(\ln(n))^{-1}\}; P_{ij} = \text{normalized values}; E_j = \text{entropy value}$

4th Step: Computing the (d_j) uncertainty value

$$d_j = 1 - E_j; \forall j \quad (5)$$

5th Step: w_j weights are calculated to reflect the relative importance of j .

$$w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}; \forall j \quad (6)$$

It is calculated that the sum of these weights is 1.

$$w_1 + w_2 + w_j + \dots + w_n = 1 \quad (7)$$

2.3.2. MAUT (Multi-attribute Utility Theory) method

The Multi-Attributed Utility Theory (MAUT) approach is one of the MCDM methods that allows the qualitative and quantitative criteria to be evaluated together and determines the best alternative in terms of criteria [31, 32]. The procedure is divided into two parts [33]. The decision matrix elements are normalized in the first step.

Step 1. In the normalization process, the values of each criterion are first converted so that the best value is one (1) and the worst value is zero (0). Thus, all values must be in the range [0, 1]. This transformation is done using the following equation [33]:

$$u_j(x_j) = \frac{x - x_j^-}{x_j^+ - x_j^-} \quad (8)$$

Definitions of variables in this formula are shown below:

X_j^+ : The largest value of the relevant criterion.

X_j^- : The smallest value of the relevant criterion.

X : Current value of the cell under calculation.

Step 2. In the second step after normalization process, the utility values of each alternative are calculated. The formula used in the calculation of these benefit values and the definitions of the variables used are given below [33]:

$$U(x) = \sum_{j=1}^m u_j(x_j) * w_j \quad (9)$$

$U(x)$: Benefit value of the relevant alternative.

$u_j(x_j)$: The utility value of the alternative in terms of the relevant criteria.

w_j : weight value of the relevant criterion.

2.3.3. COPRAS (Complex Proportional Assessment) method

In the MCDM approach of COPRAS (Complex Proportional Assessment), the options are evaluated and ranked. Here are a few of the phases in the assessment of the method [34-36]:

In the COPRAS technique, the parameters are: A_i : i -th alternative $I = 1, 2, \dots, m$; C_j : j -th criterion $j = 1, 2, \dots, n$; w_j : significance weight of the j -th criterion $j = 1, 2, \dots, n$; x_{ij} : j -th level of evaluation criterion $j = 1, 2, \dots, n$.

Step 1. The x_{ij} values are used to create a decision matrix.

$$D = \begin{matrix} A_1 & \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & x_{13} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & x_{23} & \dots & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & x_{33} & \dots & x_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & \begin{bmatrix} x_{m1} & x_{m2} & x_{m3} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \end{matrix} \end{matrix} \quad (10)$$

Step 2. Each value in the decision matrix is normalized by dividing it by the total of the column to which it relates.

$$X_{ij}^* = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}}, \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (11)$$

Step 3. The d_{ij} components of the weighted normalized decision matrix D' are produced by multiplying the weight value (w_j) of each evaluation metrics with the normalized decision matrix elements.

$$D' = d_{ij} = x_{ij}^* \times w_j \quad (12)$$

Step 4. The total of the benefit and cost criteria' weighted normalized decision matrix values is computed. S_i^+ denotes the total of values in the benefit criteria's i weighted normalized decision matrix, whereas S_i^- denotes the entire value of the cost criteria. Equations (13) and (14) illustrate the formulae for computing these values (12).

$$S_{i+} = \sum_{j=1}^k d_{ij}, j = 1, 2, \dots, k \quad (13)$$

$$S_{i-} = \sum_{j=k+1}^n d_{ij}, j = k + 1, k + 2, \dots, n \quad (14)$$

Step 5. The relative significance value (Q_i) of each choice is computed in this phase.

$$Q_i = S_{i+} + \frac{\sum_{i=1}^m S_{i-}}{S_{i-} \times \sum_{i=1}^m \frac{1}{S_{i-}}} \quad (15)$$

Step 6. There's a ranking system that determines which priority is greatest.

$$Q_{max} = \max\{Q_i\}, \forall i = 1, 2, \dots, n \quad (16)$$

Step 7. We calculate the performance index (P_i) score for each choice.

$$P_i = \frac{Q_i}{Q_{max}} \times \%100 \quad (17)$$

Performance index (P_i) of 100 is considered the greatest choice based on several assessment factors. The COPRAS assessment list is created by descendingly rating the performance index score of each option.

2.3.4. Hierarchical Clustering Methods

First of all, clustering methods can be examined in two main groups. These are hierarchical clustering and non-hierarchical clustering. The most used methods are the hierarchical clustering method group. Hierarchical clustering methods are used to identify clusters sequentially by combining units with each other at different stages and to determine at what distance (or similarity) level the elements that will enter these clusters are cluster elements. The main ones among these methods are single linkage technique, full linkage technique and variance (Ward's Technique) technique.

Clustering takes place in four steps.

Step 1: Consider n individuals, n clusters.

Step 2: The two closest clusters are merged.

Step 3: The number of clusters is reduced by one and the iterated distance matrix is found.

Step 4: Steps 2 and 3 are repeated $n-1$ times [37].

The tree diagram (dendrogram) is used to make the process easy to understand. In Figure 4, we can see an example of dendrogram.

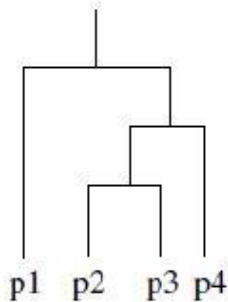


Figure 4. An example of dendrogram

- Single link Technique

It is based on the shortest distance principle. It finds the two observations closest to each other and puts that cluster core in the first stage. Then it finds two other observations closest to each other or another observation closest to this core group and expands the cluster [38].

- The complete linkage Technique

It is very adorned with the single connection method. Cluster structure is formed by starting from the farthest observations.

- Variance Technique (Ward's Technique)

Ward's technique is the most preferred one in the literature. It is based on the average distance of the observation falling in the middle of a cluster from the observations in the same cluster. Thus, it makes use of the total deviation squares. This technique is also used in the analysis of the study.

3. Literature Review

As part of their research, Leroy, et al. [39] determined which indicators are most suited for evaluating the different components of access to food security, and then offered recommendations for further research. Using the Household Food Insecurity Access Scale (HFIAS), Desiere, et al. [40] examined the scale's cross-sectional and intertemporal validity in Burundi. According to a study by Garibaldi, et al. [41], agriculture practices can improve biodiversity and livelihoods, as well as food security. Food safety measurement and governance concerns were taken into consideration by Pérez-Escamilla, et al. [42] while evaluating the relevance of various food insecurity indicators for policymakers in their study. Cafiero, et al. [43] proposed techniques based on the Rasch model created to determine the eight-item Food Insecurity Experience Scale (FIES) through a collection of criteria for global food insecurity observation. Smith, et al. [44] used the FAO's food insecurity experience measure to assess food insecurity across Latin America and the Caribbean. Smith, et al. [45] performed a comprehensive assessment of the literature on the aspects of food insecurity in affluent nations. Poulsen, et al. [46] conducted a comprehensive evaluation of the effects of urban agriculture on food security in least developed nations. According to a study by Kansiime, et al. [47], COVID-19 has a negative impact on household income as well as food security in Kenya and Uganda. A report on food security and sustainability was released by Pachapur, et al. [1] in 2020.

Some sample studies in the literature about the Entropi, MAUT, COPRAS, and BordaCount methods used in the study are shown in Table 2. While preparing the literature review, the study of the Ömürbek and Urmak [48] has been used. In addition, other current studies have been added to the list. The studies presented here generally evaluated the alternatives considered in terms of

the determined criteria and tried to determine the alternatives that show the best performance in terms of relevant indicators. As a result of each study analysis, they obtained a ranking or clustering result related to the alternatives they assessed. In these studies, they generally compared the results among themselves by analyzing with

more than one MCDM method or they created a final ranking with the Borda Count method. These all studies made significant contributions to all stakeholders related to these issues they study with a results of the studies. They have revealed that these methods are quite satisfactory in terms of comparing alternatives.

Table 2. Literature Review on the Methods Used in the Analysis

Some Studies with the ENTROPI Method	
Evaluation of Turkey's Tourism Performance	<u>Karaatlı, Ömürbek, Budak, and Dağ (2015)</u>
Evaluation of Groundwater Sustainability	<u>J. Chen, Zhang, Chen, and Nie (2015)</u>
Evaluation of Food Waste Safety	<u>T. Chen, Jin, Qiu, and Chen (2014)</u>
Performance Evaluation of Twenty-seven EU Member States and 6 EU Candidate Countries	<u>Çakır and Perçin (2013)</u>
Evaluation of Shipping Companies in Taiwan and Korea	<u>Lee, Lin, and Shin (2012)</u>
Some Studies with the MAUT Method	
Comparing the R&D Performance of Turkey and Last 13 EU Members Countries	<u>Orhan and Aytekin (2020)</u>
Project Portfolio Selection	<u>Lopes and de Almeida (2015)</u>
Material Handling Equipment Selection	<u>Ahmed and Lam (2014)</u>
Regional Airport Selection	<u>Türkoğlu and Uygun (2014)</u>
Supplier Selection	<u>de Freitas, de Freitas, Veraszto, Marins, and Silva (2013)</u>
Evaluation of Eviction Orders	<u>Kailiponi (2010)</u>
Selection of Dismantling Scenario	<u>Kim and Song (2009)</u>
Evaluation of Transport Corridors	<u>Zietsman, Rilett, and Kim (2006)</u>
Some Studies with the COPRAS Method	
Comparison of the Economic Indicators of the European Union Countries and Turkey	<u>Özbek and Demirkol (2019)</u>
Rapid Prototyping System Selection	<u>Makhesana (2015)</u>
Performance Evaluation of Machinery Chemical Industry Corporation	<u>Karaatlı, Ömürbek, Aksoy, and Atasoy (2015)</u>
Performance Evaluation of Turkish Coal Enterprises	<u>Aksoy, Ömürbek, and KARAATLI (2015)</u>
Evaluation of Hotel Alternatives	<u>Sarıçalı and Kundakcı (2016)</u>
Performance Evaluation of Research Assistants	<u>Organ and Yalçın (2016)</u>
Some Studies with ENTROPI and MAUT Methods	
Evaluation of Corporate Sustainability Performance	<u>İhsan, Öztel, and Köse (2015)</u>
Performance Evaluation of OPEC Countries	<u>Tunca, Ömürbek, Cömert, and Aksoy (2016)</u>
Some Studies with ENTROPI and MAUT Methods	
Measuring Corporate Sustainability Performance in the Rubber Coating Industry	<u>Ersoy (2017)</u>
Performance Evaluation of Automotive Companies	<u>Ömürbek, Karaatlı, and Balcı (2016)</u>
Some Studies with ENTROPI, COPRAS and MAUT Methods	
Evaluation of the Trade Performances of Turkey and EU Countries that are Members of the World Trade Organization	<u>Balcı (2017)</u>

Analysis of Aviation Companies Listed in Forbes 2000	<u>Ömürbek and Urmak (2018)</u>
Science, Technology and Innovation Policy Indicators and Comparisons of Countries	<u>Ozkaya, Timor, and Erdin (2021)</u>
Some Studies with the Cluster Method	
Changes in Global Cropland Area and Cereal Production: An inter-Country Comparison	<u>Yu, Xiang, Wu, and Tang (2019)</u>
National Health Innovation Systems: Clustering the OECD Countries by Innovative Output in Healthcare Using a Multi-Indicator Approach	<u>Proksch, Busch-Casler, Haberstroh, and Pinkwart (2019)</u>
Export credit insurance and export performance	<u>Polat and Yeşilyaprak (2017)</u>
Some Studies Made with Borda Counting Method	
Travel and Tourism Competitiveness Ranking of 133 Countries	<u>Wu (2011)</u>
Evaluation of Railway Connections	<u>Kılıç and Çerçioğlu (2016)</u>
Multidimensional Measurement of Poverty Levels of 24 Countries	<u>Kabaş (2007)</u>
Some Studies with COPRAS, MAUT and Borda Counting Methods	
Analysis of Aviation Companies Listed in Forbes 2000	<u>Ömürbek and Urmak (2018)</u>
Science, Technology and Innovation Policy Indicators and Comparisons of Countries	<u>Ozkaya et al. (2021)</u>

4. Results

According to the entropy analysis calculation logic, the weight of five indicators for which all nations have identical value is computed as zero. As a result, these metrics have no impact on country rankings. Table 3 displays the entropy weights of these and other indicators. Entropy Analysis is a method of objective computation that uses the raw values of the country's indicators for weighting.

Since the four indicators of the Affordability dimension took zero in the Entropy analysis, it was the dimension with the lowest weight with a total value of 0.0222. Natural resources and Resilience dimension, on the other hand, reached 0.651 with the total weights of the 21 criteria and became the highest weighted dimension. The Availability dimension has a total weight of 0.24, while the Quality & Safety has a weight of 0.086.

Table 3. Entropy weights of the GFSI indicators

Indicators	Definitions	Weights	Indicators	Definitions	Weights
1.1	Change in average food costs	0.0000072	3.3.2	Dietary availability of iron	0.004807
1.2	Proportion of population under global poverty line	0.0002029	3.3.3	Dietary availability of zinc	0.002802
1.3	Gross domestic product per capita (US\$ PPP)	0.0164825	3.4	Protein quality	0.0057983
1.4	Agricultural import tariffs	0.0045737	3.5.1	Agency to ensure the safety and health of food	0
1.5.1	Presence of food safety-net programs	0	3.5.2	Percentage of population with access to potable water	0.0001012
1.5.2	Funding for food safety net programs	0	3.5.3	Ability to store food safely	0.0000528
1.5.3	Coverage of food safety net programs	0	4.1.1	Temperature rise	0.0059578
1.5.4	Operation of food safety-net program	0	4.1.2	Drought	0.0043278
1.6	Access to financing for farmers	0.0009975	4.1.3	Flooding	0.0071677
2.1.1	Average food supply	0.0033196	4.1.4	Storm severity (AAL)	0.0348697
2.1.2	Change in dependency on chronic food aid	0.0000005	4.1.5	Sea level rise	0.0030987

2.2	Public expenditure on agricultural R&D	0.1190683	4.1.6	Commitment to managing exposure	0.0285032
2.3.1	Existence of adequate crop storage facilities	0.0088934	4.2.1	Agricultural water risk—quantity	0.0089869
2.3.2	Road infrastructure	0.007576	4.2.2	Agricultural water risk—quality	0.0098161
2.3.3	Port infrastructure	0.0053838	4.3.1	Land degradation	0.0021043
2.3.4	Air transport infrastructure	0.0037733	4.3.2	Grassland	0.0034986
2.3.5	Rail infrastructure	0.0083258	4.3.3	Forest change	0.0006339
2.3.6	Irrigation infrastructure	0.0644589	4.4.1	Ocean eutrophication	0.2721651
2.4	Volatility of agricultural production	0.0009931	4.4.2	Marine biodiversity	0.0097289
2.5	Political stability risk	0.0040442	4.4.3	Marine protected areas	0.0551219
2.6	Corruption	0.0147042	4.5.1	Food import dependency	0.0315021
2.7	Urban absorption capacity	0.0002503	4.5.2	Dependence on natural capital	0.0000634
2.8	Food loss	0.0002066	4.5.3	Disaster risk management	0.1224655
3.1	Dietary diversity	0.0034453	4.6.1	Early warning measures/climate smart agriculture	0.0458862
3.2.1	National dietary guidelines	0.0088934	4.6.2	National agricultural risk management system	0.0020124
3.2.2	National nutrition plan or strategy	0.0219112	4.7.1	Population growth (2015-20)	0.0016345
3.2.3	Nutrition monitoring and surveillance	0.0365598	4.7.2	Urbanization (2015-20)	0.0015412
3.3.1	Dietary availability of vitamin A	0.0012817			

Table 4 shows the benefit values generated from the COPRAS analysis using entropy weights, as well as the nation ranking created by sorting these values from greatest to smallest. According to the findings of this analysis, Singapore is in first place with a substantial difference, followed by Switzerland, Finland, the United States, Sweden, and Ireland, respectively. It is worth noting that

four of these six nations are members of the European Union. On the other hand, when we look at the end of the list, there is no specific union or region that can be evaluated in this way. As a result, nations such as Indonesia, Thailand, India, South Africa, Turkey, China, Brazil and Russia, which have a large population in comparison with many other countries, are at the bottom of the list.

Table 4. COPRAS Benefit Values (N_j) and Ranking of Countries According to COPRAS Analysis

Countries	COPRAS Benefit Values (N_j)	Countries	COPRAS Benefit Values (N_j)
Singapore	100	United Arab Emirates	67.45543
Switzerland	96.48004	United Kingdom	66.89947
Finland	93.0316	Spain	66.07265
United States	90.61637	Italy	65.71261
Sweden	87.58242	Poland	64.32783
Ireland	86.21677	South Korea	63.34803
Netherlands	83.48091	Czech Republic	62.58251
Qatar	82.13393	Malaysia	61.31493
Norway	81.3543	Greece	60.30856
Israel	79.96912	Hungary	59.95087
Canada	79.20888	Mexico	56.44054
Belgium	77.85202	Slovakia	56.38451
Japan	76.17271	Russia	55.87405
Austria	75.02995	Brazil	54.06991
Germany	73.50313	China	52.56553

Denmark	72.20444	Turkey	51.84064
Australia	71.77626	South Africa	49.95134
New Zealand	69.81419	India	47.87141
France	69.02024	Thailand	40.19424
Portugal	68.80277	Indonesia	36.79253

Table 5 shows the benefit values generated from the MAUT analysis using entropy weights, as well as the nation ranking produced by sorting these values from greatest to smallest. According to the findings of this study, Finland ranks top with a substantial difference, followed by Singapore, Sweden, the United States, the Netherlands, and

Switzerland, respectively. Four of the top six nations are European Union members, as is the case with the COPRAS ranking. When looking towards the bottom of the list, Indonesia, India, South Africa, Slovakia, Thailand, and Brazil are in the last row.

Table 5. MAUT Benefit Values (U_i) and Ranking of Countries According to MAUT Analysis

Countries	MAUT U_i	Countries	MAUT U_i
Finland	0.700909	United Kingdom	0.325779
Singapore	0.616035	Spain	0.321168
Sweden	0.487162	South Korea	0.319531
United States	0.484447	Malaysia	0.31842
Netherlands	0.480474	Italy	0.318383
Switzerland	0.454243	Czech Republic	0.318279
Ireland	0.453777	Poland	0.305672
Norway	0.437278	Hungary	0.303121
Canada	0.435235	Portugal	0.301864
Qatar	0.397361	Greece	0.299824
Germany	0.391125	China	0.292867
France	0.379801	Russia	0.285759
Austria	0.374581	Turkey	0.278784
Israel	0.35175	Mexico	0.256343
Belgium	0.349289	Brazil	0.255476
Australia	0.347461	Thailand	0.251661
Denmark	0.339234	Slovakia	0.227977
Japan	0.334231	South Africa	0.205845
New Zealand	0.328068	India	0.204589
United Arab Emirates	0.32671	Indonesia	0.175247

The dendrogram below visualizes the groupings of nations in the clustering produced by the SPSS software's clustering study. Two clusters are identified in the study as a result of merging in

Ward's algorithm's 25th unit. According to the dendrogram, the cluster number of countries should be described as "2" in this case. The dendrogram is shown in Figure 5.

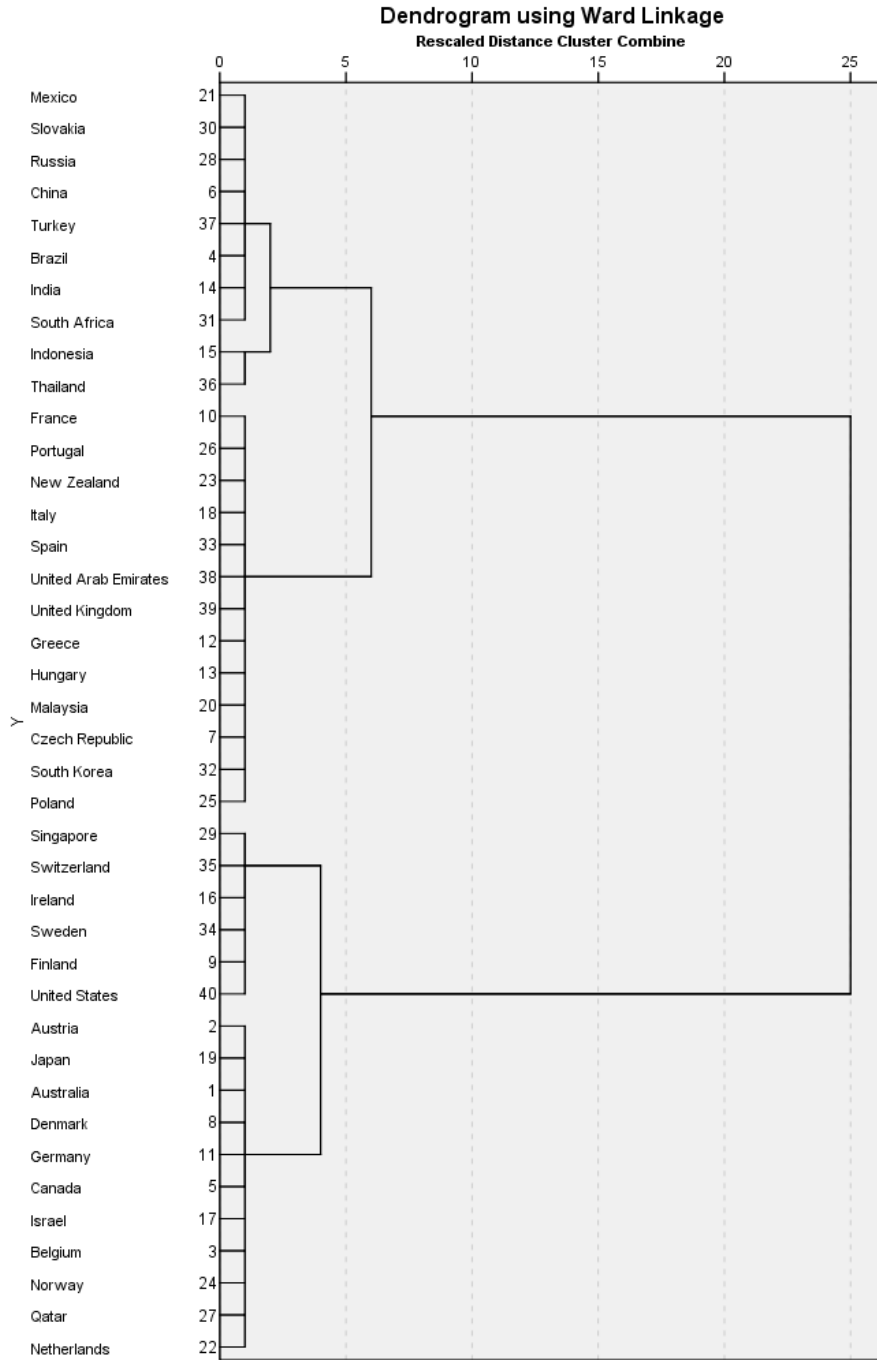


Figure 5. Dendrogram

Table 6 displays the distances between the nations separated into these two groups and the cluster centers, as well as the final ranking and Borda scores produced by reducing the lists obtained from the two MCDM techniques to a single list by the Board Count method. When France's Borda score

is taken into account, it is seen that it is higher than Australia and Denmark, which are equal to Japan. France is the only country assigned to an incorrect cluster by the cluster analysis as a result of the Borda score. This indicates that the two results have a high degree of consistency.

Table 6. Clusters and Borda Scores

Countries	Cluster	Distance	Borda Scores	Countries	Cluster	Distance	Borda Scores
Singapore	2	17.259	39.5	Thailand	1	18.397	3.5
Finland	2	10.293	39	Brazil	1	4.521	6.5
Sweden	2	4.841	37	Slovakia	1	2.207	6.5
Switzerland	2	13.738	37	Turkey	1	6.75	6.5
United States	2	7.875	37	China	1	6.026	8
Netherlands	2	0.74	35	Mexico	1	2.151	8.5
Ireland	2	3.475	34.5	Russia	1	2.717	8.5
Norway	2	1.388	32.5	Greece	1	1.718	11.5
Qatar	2	0.609	32	Hungary	1	1.36	12
Canada	2	3.533	31	Czech Republic	1	3.992	14.5
Israel	2	2.774	29	Malaysia	1	2.724	15
Germany	2	9.239	28	Poland	1	5.737	15
Austria	2	7.712	27.5	Italy	1	7.122	16.5
Belgium	2	4.891	27.5	Portugal	1	10.212	16.5
Japan	2	6.57	25.5	South Korea	1	4.757	16.5
Australia	2	10.966	24.5	Spain	1	7.482	18.5
Denmark	2	10.538	24.5	United Kingdom	1	8.308	19.5
Indonesia	1	21.799	1	United Arab Emirates	1	8.864	20.5
India	1	10.72	2.5	New Zealand	1	11.223	22.5
South Africa	1	8.64	3.5	France	1	10.43	25.5

Spearman Correlation analysis, a non-parametric approach, was used to assess the relationship between the scores and rankings obtained from the MCDM methods used in the study and the GFSI

score and ranking. When the values in Table 7 are evaluated, it is seen that there is a significant positive high correlation between all rankings.

Table 7. Spearman Correlation Analysis Outputs
Correlations

		GFSI	MAUT	COPRAS	
Spearman's rho	GFSI	Correlation Coefficient	1.000	.905**	
		Sig. (2-tailed)		0.000	
		N	40	40	
	MAUT	Correlation Coefficient	.905**	1.000	.917**
		Sig. (2-tailed)	0.000		0.000
		N	40	40	40
	COPRAS	Correlation Coefficient	.903**	.917**	1.000
		Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	
		N	40	40	40

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

5. Discussion

In this study, it is emphasized how the objective weights should be and which indicators come to the fore in the comparison of these countries by

analyzing the GFSI indicators, taking into account the values of the countries being compared. The strengths and weaknesses and relative comparisons of these countries in their current situation are

presented. By adding “Natural Resources and Resilience”, which was included in the assessment for the first time by GFSI, the index's effort to emphasize the relationship between climate issue and food security has been considered. The dimension with the largest weight, according to the study's Entropy analysis, is "Natural Resources and Resilience". In addition to these, the Index includes important indicators such as income adjusted for inequality, gender disparity, and armed conflict. Unlike the studies described in the research's literature review section, this study compares the leading nations from all continents using objective evaluation methodologies. As in other studies, it does not assess the situation of a specific region or country. Due to the high number of GFSI criteria and their contradictory nature, it was decided to apply MCDM approaches. The use of MCDM and clustering analysis, one of the data mining methods, as well as the processing of their results together, are notable novelties in the literature in this field. Also, the "Natural Resources and Resilience" dimension, which was added to the GFSI evaluation for the first time in 2019, is also included in this study, contributing to the literature.

6. Conclusion

World food prices have risen over the previous five years. While food costs have increased most dramatically in conflict war-torn nations, the mean basket of food costs has been steadily rising across the world. As a result, certain Middle East and African nations have seen food prices treble in the previous five years. There was a 5 percent or higher food price inflation rate in 26 nations in the GFSI over the last year. Argentina had the highest food inflation in the last year (51%), followed by Turkey (25 percent). As a result of currency devaluation and economic instability, Turkey's food prices have skyrocketed.

It is of great importance with the increase in the number of these and similar studies and their use in the policies to be produced. We'll be able to better grasp the underlying causes of food insecurity and the need for a more sustainable global food system as a result. When the GFSI's 2012-18 reports are examined, it is observed that, while there is a continual increase in food security in general, there is a significant decline in food at the global level in the 2019 report. Furthermore, the released 2020 report indicates a severe decline. However, the pandemic experience has demonstrated how critical it is to investigate the

major variables impacting food security and come up with strategies.

Infrastructure plays a significant role in ensuring food security. Agricultural infrastructure is essential for a variety of factors, including the efficient transfer of food between farms, markets, and consumers. Many nations depend on airports and railroads for delivering agricultural products and supplies, therefore the GFSI indicators were used to assess infrastructure beyond roads and ports. The index also contains an indicator for assessing access to on-farm infrastructure, particularly irrigation infrastructure. The new irrigation indicator underlines the necessity of focusing on irrigation infrastructure; according to FAO data, more than 70% of countries report that less than 10% of agricultural land is suitable for irrigation.

Climate change and the emissions will make issue of inadequate storage of food much more of a problem. It's estimated that 1.3 billion metric tons of edible food is squandered or thrown away every year. Even if this meal has no nutritional value, its ecological cost is still there in the air. During the period 2010-2016, worldwide food waste accounted for 8-10% of all human-caused greenhouse gas emissions. Therefore, conditioning and refrigeration infrastructure are required to keep food fresher for extended periods of time, as well as to transport and store food. It is possible to reduce food waste through increasing food supply chain productivity, such as by allowing the preservation of food at strategic locations and simplifying exports and imports processes. This improvements strengthens farmers by providing them extra time to the sale of their fresh products on a local level.

The research's first dimension assesses food affordability by evaluating characteristics such as household ability to buy food, tolerance to market volatility, and the availability of practices and initiatives to assist households if crises arise. Europe is the highest-scoring area in terms of this dimension indicators after North America, thanks to high wages, low poverty rates, steady food costs, strong welfare systems, and powerful agricultural credit mechanisms.

The study's second component evaluates variables such as the country's food supply's adequacy, the danger of supply interruption, the capability to spread food, and scientific projects to increase agricultural productivity. Although Countries in Europe score well in terms of agricultural infrastructure, there are considerable

opportunities for development, notably in terms of transportation systems and agricultural production instability. Countries should also continually check the quantity of agricultural warehouses and the condition of irrigation facilities on a regular basis to ensure continued food security, especially in cases of serious weather conditions and poor harvests.

The conventional diet's variety and nutritional characteristics, as well as its safety, has been evaluated as part of the study's third dimension. Six of the top ten performing nations in the result list are in Europe, suggesting that food quality and safety is a region-wide strength. Due to high income levels and access to varied food sources, the region has one of the greatest levels of dietary variety, as well as excellent supply of minerals, vitamins and protein-rich foods. Authorities pay an attention to nutritional requirements, and the most of these nations provide some sort of nutritional dietary guidelines in place to encourage eating a healthy diet. In addition to a food safety agency, every country should have a reliable energy infrastructure to allow for the safe storage and usage of fresh products, such as fruits and veggies.

This study's last dimension examines how global climatic hazards related to weather, water, land and seas affect a country's overall food security situation. In general, European countries have the greatest values in this dimension, while the Czech Republic, Finland and Denmark are the countries with the best indicator values in this category. As Europe takes the lead in tackling natural resource and resilience problems from an agricultural perspective, many countries are experimenting with new approaches to manage these concerns. For instances, Dutch floating agricultural initiatives are being implemented because of rising sea levels.

According to entropy analysis results, ocean eutrophication (0.27), disaster risk management (0.122), public expenditure on agricultural R&D (0.119), irrigation infrastructure (0.065), marine protected areas (0.055), early warning measures/climate smart agriculture (0.055), nutrition monitoring and surveillance (0.037) are the indicators with the highest weight. Four of these indicators belong to the natural resources and resilience dimension. Natural resources and resilience dimension, on the other hand, reached 0.651 with the total weights of the 21 criteria and became the most weighted dimension. Also, change in dependency on chronic food aid,

change in average food costs, ability to store food safely, dependence on natural capital indicators have the lowest weights in the Entropy calculation made based on the values of these indicators of countries.

According to the ranking of the Borda Count method obtained by utilizing the results of the COPRAS and MAUT methods applied by using these weights, Singapore and Finland are in the first two places with a significant difference, while the five countries following this country are Sweden, Switzerland, Finland, USA, Netherlands and Ireland respectively. It is worth noting that six of these eight nations are members of the European Union. There is no specific union or region that may be assessed in this manner at the bottom of the list. Indonesia, Thailand, India, South Africa, Slovakia, Turkey, China, Brazil, and Russia, all of which have a big population in comparison to many other nations, are at the bottom of the list.

According to the clustering method, in the first stage, Mexico, Slovakia, Russia, China, Turkey, Brazil, India and South Africa were clustered together. In the later stage, they merged with the cluster formed by Indonesia and Thailand. These are the countries that have very close values to each other in the scores they obtained from the Borda Count method and are in consecutive rankings. France, Portugal, New Zealand, Italy, Spain, United Arab Emirates, United Kingdom, Greece, Hungary, Malaysia, Czechia, South Korea and Poland also formed a cluster that came together in the first stage. The clusters mentioned here merged in the last stage and formed the first cluster indicated in Table 6. On the other hand, Singapore, Switzerland, Ireland, Sweden, Finland and the USA came together in the first stage and gathered in a cluster. These countries have very close values to each other in terms of Borda Scores and are at the top of the final ranking. Meanwhile, Austria, Japan, Australia, Denmark, Germany, Canada, Israel, Belgium, Norway, Qatar and the Netherlands clustered together. These two clusters combined in the last stage and formed the second cluster indicated in Table 4. When France's Borda score is taken into account, it is seen that it is higher than Australia and Denmark, which are equal to Japan. France is the only country assigned to an incorrect cluster by the cluster analysis as a result of the Borda score. When an evaluation is made about these two clusters, the final ranking obtained by Borda method from MCDM analysis and cluster analysis results are quite consistent.

Climate change is the most significant impediment to sustainable agriculture and efficient harvesting. The Nordic countries Denmark, Sweden and Norway, which performed well in this study, had the worst yields in both vegetable and grain production of the last fifty years in 2018, due to drought and the above-seasonal summer season. Climate change causes similar variations in countries such as Australia. As a result, countries that are in a favorable position during stable periods should now consider these periods to be preparations for future famine periods and establish global collaboration platforms and facilities. Singapore, the United Arab Emirates and Qatar evaluated in this study which are high-income nations with scarce resources, are heavily reliant on food imports.

The United Arab Emirates is aiming to minimize its demand on foreign products by funding vertical farms, hydroponics, and aquaponics.

Especially, making investments in modern farming systems and artificial meat and protein is becoming increasingly attractive. Singapore is also diversifying its food source in order to decrease its reliance on imports. Both the United Arab Emirates and Singapore encourage the utilization of contemporary agriculture technologies and developments. Such countries with insufficient farmland and resources will benefit from seeking answers within the country as well as changing their approach to trade strategies regarding local and international food supply.

Flooding is becoming a greater threat in many African and Asian nations, resulting in yield reduction and a fluctuating availability of food. China, South Korea, and India are all at risk of major flooding in the near future. According to the agricultural water risk indicators in the study, several emerging nations, including India, are also at danger of water resource pollution. Nations are planning action plans that combine government investment with private sector entrepreneurship to be ready for water-based hazards.

Water-saving measures including efficient irrigation approaches, flood control, and environmental preservation are being heavily funded in China as part of the country's agricultural sustainability and development. Israel, which is at danger of running out of agricultural irrigation resources, is reducing water leaks and recycling wastewater for farming use through utilizing AI methods and smart meters.

Countries that intend to adapt to technology advancements, and agricultural R&D will be better equipped to face future difficulties. Almost all of Europe's nations have built early-warning mechanisms for agriculture, established national goals to minimize potential losses, and developed national environmental regulations that take agricultural adjustment into consideration. On another continent, two million African farmers are cultivating drought-resistant corn under the Drought Tolerant Maize for Africa program.

The epidemic has exacerbated the global decline in the poverty rates that occurred in 2019 and before, particularly in poor and emerging nations. Quarantines, business closures, and rising unemployment have caused a significant influence on people who have low income and live in abject poverty.

While rising food costs impacted unregistered employees, unskilled labor, immigrants, and the owners and employees of SMEs who had to stop their businesses in cities, farmers in rural regions experienced a considerable drop in revenue owing to interruptions in food production and delivery. This circumstance made it impossible for them to repay the borrowings and loans they had received in earlier years.

Although many countries provided temporary financial support to various segments of the society through aid programs, this was quite insufficient for the citizens of many countries. As the pandemic process and economic instability continue, it is expected that the difficulties faced by the vulnerable people in terms of food security will deepen. Many countries do not have a transparent, properly programmed and sustainable organizational infrastructure in the distribution of support packages and aid. Consequently, there is a need to learn from the epidemic and make the required adjustments.

Acknowledgment

This work has been supported by Yildiz Technical University Scientific Research Projects Coordination Unit under project number SKD-2021-4403.

Contributions of the authors

Gökhan ÖZKAYA contributed to the planning of the study, literature review, writing the manuscript, applying the statistical and MCDM methods, and interpretation of the results.

Gülsüm UÇAK ÖZKAYA contributed to the planning of the study, literature review, writing the manuscript, applying the statistical methods, and interpretation of the results.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The study is complied with research and publication ethics

References

- [1] P. K. Pachapur, V. L. Pachapur, S. K. Brar, R. Galvez, Y. Le Bihan, and R. Y. Surampalli, "Food Security and Sustainability," *Sustainability: Fundamentals and Applications*, pp. 357-374, 2020.
- [2] F. Nouh, "Prevalence of Food Insecurity in Eastern Part of Libya: A Study of Associated Factors," *Sch Acad J Biosci*, vol. 8, pp. 192-198, 2021.
- [3] F. Food Summit, "Declaration of the world summit on food security," *World Food Summit*, pp. 16-18, 2009.
- [4] C. Rights, "General Comment No. 19," *Geneva: United Nations*, 1999.
- [5] Food and A. Organization, *Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action: World Food Summit 13-17 November 1996, Rome, Italy*: FAO, 1996.
- [6] Food and A. Organization, "The state of food and agriculture: Climate change, agriculture and food security," ed: FAO Rome, 2016.
- [7] W. F. Program, "At the Root of Exodus: Food Security, Conflict and International Migration," 2017.
- [8] P. Webb, J. Coates, E. A. Frongillo, B. L. Rogers, A. Swindale, and P. Bilinsky, "Measuring household food insecurity: why it's so important and yet so difficult to do," *The Journal of nutrition*, vol. 136, pp. 1404S-1408S, 2006.
- [9] R. Pérez-Escamilla and A. M. Segall-Corrêa, "Food insecurity measurement and indicators," *Revista de Nutrição*, vol. 21, pp. 15s-26s, 2008.
- [10] C. B. Barrett, "Measuring food insecurity," *Science*, vol. 327, pp. 825-828, 2010.
- [11] A. Swindale and P. Bilinsky, "Development of a universally applicable household food insecurity measurement tool: process, current status, and outstanding issues," *The Journal of nutrition*, vol. 136, pp. 1449S-1452S, 2006.
- [12] T. Ballard, J. Coates, A. Swindale, and M. Deitchler, "Household hunger scale: indicator definition and measurement guide," *Washington, DC: Food and nutrition technical assistance II project, FHI*, vol. 360, p. 23, 2011.
- [13] D. G. Maxwell, "Measuring food insecurity: the frequency and severity of "coping strategies"," *Food policy*, vol. 21, pp. 291-303, 1996.
- [14] W. H. Oldewage-Theron, E. G. Dicks, and C. E. Napier, "Poverty, household food insecurity and nutrition: coping strategies in an informal settlement in the Vaal Triangle, South Africa," *Public health*, vol. 120, pp. 795-804, 2006.
- [15] D. Maxwell, R. Caldwell, and M. Langworthy, "Measuring food insecurity: Can an indicator based on localized coping behaviors be used to compare across contexts?," *Food Policy*, vol. 33, pp. 533-540, 2008.
- [16] K. Aboaba, D. M. Fadiji, and J. A. Hussayn, "Determinants of food security among rural households in Nigeria: USDA food insecurity experience based measurement (forms) approach," *Journal of Agribusiness and Rural Development*, vol. 56, pp. 113-124, 2020.
- [17] I. FAO and UNICEF, "WFP, & WHO.(2020). The state of food security and nutrition in the world: Transforming food systems for affordable healthy diets," *The state of the world*, 2020.
- [18] A. Saint Ville, J. Y. T. Po, A. Sen, A. Bui, and H. Melgar-Quiñonez, "Food security and the Food Insecurity Experience Scale (FIES): ensuring progress by 2030," ed: Springer, 2019.
- [19] K. Chetia, "Food Security in India: A critical study on its Issus, Efforts and Challenges," 2021.
- [20] G. I. Index, "Global Innovation Index," *The Global Innovation Index Report. GII*, 2019.

- [21] Ç. Kahraman, E. Abdulhamit, and O. Özevin, "Futbol Takımlarının Finansal Ve Sportif Etkinliklerinin Entropi ve TOPSIS Yöntemiyle Analiz Edilmesi: Avrupa'nın 5 Büyük Ligi ve Süper Lig Üzerine Bir Uygulama," *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, vol. 13, pp. 199-222, 2017.
- [22] C. E. Shannon and W. Weaver, "A mathematical model of communication," *Urbana, IL: University of Illinois Press*, vol. 11, 1949.
- [23] M. Zeleny, *Multiple criteria decision making Kyoto 1975* vol. 123: Springer Science & Business Media, 2012.
- [24] J. P. Burg, "Maximum entropy spectral analysis," *Astronomy and Astrophysics Supplement*, vol. 15, p. 383, 1974.
- [25] R. Rosenfeld, "Adaptive statistical language modeling," *PhD Thesis, Carnegie Mellon University*, 1994.
- [26] A. Golan, G. Judge, and D. Miller, "Maximum entropy econometrics: Robust estimation with limited data," 1997.
- [27] M. Lihong, Z. Yanping, and Z. Zhiwei, "Improved VIKOR algorithm based on AHP and Shannon entropy in the selection of thermal power enterprise's coal suppliers," in *2008 International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering*, 2008, pp. 129-133.
- [28] T.-C. Wang and H.-D. Lee, "Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights," *Expert systems with applications*, vol. 36, pp. 8980-8985, 2009.
- [29] A. Shemshadi, H. Shirazi, M. Toreihi, and M. J. Tarokh, "A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, pp. 12160-12167, 2011.
- [30] M. Apan, A. Öztel, and M. İslamoğlu, "Teknoloji Sektörünün Entropi Ağırlıklı Uzlaşık Programlama (CP) ile Finansal Performans Analizi: BİST'de Bir Uygulama," in *19th Finance Symposium, Hitit University Çorum, Turkey [online] https://www.researchgate.net/publication/283299704 (accessed 7 December 2017)*, 2015.
- [31] P. C. Fishburn and R. L. Keeney, "Seven independence concepts and continuous multiattribute utility functions," *Journal of Mathematical Psychology*, vol. 11, pp. 294-327, 1974.
- [32] E. Løken, "Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 11, pp. 1584-1595, 2007.
- [33] Ö. Konuşkan, A. Endüstri Mühendisliği, and Ö. UYGUN, "ÇOK NİTELİKLİ KARAR VERME (MAUT) YÖNTEMİ VE BİR UYGULAMASI," 2014.
- [34] P. Chatterjee, V. M. Athawale, and S. Chakraborty, "Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods," *Materials & Design*, vol. 32, pp. 851-860, 2011.
- [35] M. C. Das, B. Sarkar, and S. Ray, "A framework to measure relative performance of Indian technical institutions using integrated fuzzy AHP and COPRAS methodology," *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 46, pp. 230-241, 2012.
- [36] A. Kaklauskas, E. K. Zavadskas, J. Naimavicienė, M. Krutinis, V. Plakys, and D. Venskus, "Model for a complex analysis of intelligent built environment," *Automation in construction*, vol. 19, pp. 326-340, 2010.
- [37] H. TATLIDİL and U. Ç. D. İ. Analiz, "Akademi Matbaası," *Ankara-2002*, 1996.
- [38] Ş. Kalaycı, *SPSS uygulamalı çok değişkenli istatistik teknikleri* vol. 5: Asil Yayın Dağıtım Ankara, Turkey, 2010.
- [39] J. L. Leroy, M. Ruel, E. A. Frongillo, J. Harris, and T. J. Ballard, "Measuring the food access dimension of food security: a critical review and mapping of indicators," *Food and nutrition bulletin*, vol. 36, pp. 167-195, 2015.
- [40] S. Desiere, M. D'Haese, and S. Niragira, "Assessing the cross-sectional and inter-temporal validity of the Household Food Insecurity Access Scale (HFIAS) in Burundi," *Public Health Nutrition*, vol. 18, pp. 2775-2785, 2015.
- [41] L. A. Garibaldi, B. Gemmill-Herren, R. D'Annolfo, B. E. Graeub, S. A. Cunningham, and T. D. Breeze, "Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security," *Trends in ecology & evolution*, vol. 32, pp. 68-80, 2017.

- [42] R. Pérez-Escamilla, M. B. Gubert, B. Rogers, and A. Hromi-Fiedler, "Food security measurement and governance: Assessment of the usefulness of diverse food insecurity indicators for policy makers," *Global Food Security*, vol. 14, pp. 96-104, 2017.
- [43] C. Cafiero, S. Viviani, and M. Nord, "Food security measurement in a global context: The food insecurity experience scale," *Measurement*, vol. 116, pp. 146-152, 2018.
- [44] M. D. Smith, W. Kassa, and P. Winters, "Assessing food insecurity in Latin America and the Caribbean using FAO's food insecurity experience scale," *Food policy*, vol. 71, pp. 48-61, 2017.
- [45] M. D. Smith, M. P. Rabbitt, and A. Coleman-Jensen, "Who are the world's food insecure? New evidence from the Food and Agriculture Organization's food insecurity experience scale," *World Development*, vol. 93, pp. 402-412, 2017.
- [46] M. N. Poulsen, P. R. McNab, M. L. Clayton, and R. A. Neff, "A systematic review of urban agriculture and food security impacts in low-income countries," *Food Policy*, vol. 55, pp. 131-146, 2015.
- [47] M. K. Kansime, J. A. Tambo, M. I. Mugambi, M. M. Bundi, A. Kara, and M. C. Owuor, "COVID-19 implications on household income and food security in Kenya and Uganda: Findings from a rapid assessment," *World Development*, p. 105199, 2020.
- [48] N. Ömürbek and E. D. A. Urmak, "Forbes 2000 Listesinde Yeralan Havacılık Sektöründeki Şirketlerin Entropi, MAUT, COPRAS ve SAW Yöntemleri İle Analizi," *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, vol. 23, pp. 257-278, 2018.

Polipropilen Lif Takviyeli Pomza Tozu İçeren Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Adile COŞKUN¹, Ali SARIİŞİK^{1*}

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye
(ORCID: [0000-0002-3607-0743](https://orcid.org/0000-0002-3607-0743)) (ORCID: [0000-0001-7698-6134](https://orcid.org/0000-0001-7698-6134))



Anahtar kelimeler:
Polipropilen lif, Pomza tozu, Mekanik özellikler, Fiziksel özellikler, Harç.

Öz

Bu çalışmada çimento harçlarına pomza tozu ikamesinin ve polipropilen lif takviyesinin fiziksel ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Harç örnekleri hazırlanırken CEM I 42.5 R tipi portland çimento ve standart kum kullanılmıştır. Su/bağlayıcı oranı ise 0.5 olarak sabit tutulmuştur. Karışımlara ilave edilen pomza tozu çimento yerine %10 oranında ikame edilmiştir. Polipropilen lif 6 mm uzunluğunda kullanılmıştır. Polipropilen, pomza ikameli harçlara hacimce %0.0, %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında ilave edilmiştir. Kontrol karışımına ise lif ve pomza tozu ilave edilmemiştir. Karışımlar 5×5×5 cm ve 4×4×16 cm'lik metal kalıplara yerleştirilmiş ve bir gün laboratuvar ortamında bekletildikten sonra ilgili örnekler kalıplardan alınarak 28 gün su kürü uygulanmıştır. Tüm örnek serileri üzerinde; yayılma tablası deneyi, su emme, ultrases, dinamik elastisite modülü, sertleşmiş birim ağırlık deneyi, eğilme dayanımı deneyi, eğilme deneyi sonrası basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Sonuç olarak pomza tozunun basınç dayanımını, eğilme dayanımını, ultrases geçiş hızı değerini, dinamik elastisite modülünü kontrol karışımına göre bir miktar arttırdığı, su emme değerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Lif ilavesiyle birlikte eğilme dayanımını optimum lif oranında arttırdığı ancak basınç dayanımını bir miktar azalttığı gözlemlenmiştir.

Physical and Mechanical Properties of Mortars Containing Polypropylene Fiber Reinforced Pumice Powder

Keywords: Polypropylene fiber, Pumice powder, Mechanical properties, Physical properties, Mortar.

Abstract

In this study, the effects of pumice powder substitution and polypropylene fiber reinforcement on the physical and mechanical properties of cement mortars were investigated. While preparing the mortar samples, CEM I 42.5 R type portland cement and standard sand were used. The water/binder ratio was kept constant at 0.5. The pumice powder added to the mixtures was replaced by 10% instead of cement. Polypropylene fiber was used with a length of 6 mm. Polypropylene was added to the pumice mortars mixture at the rates of 0.0%, 0.2%, 0.4% and 0.8% by volume. Fiber was not or pumice powder was added to the control mixture. The mixtures were placed in metal molds of 5×5×5 cm and 4×4×16 cm and kept in the laboratory for one day, then the relevant samples were taken from the molds and water cured for 28 days. On all sample series; slump test, water absorption, ultrasound, dynamic modulus of elasticity, hardened unit weight test, flexural strength test, compressive strength test after bending test were applied. As a result, it was determined that pumice powder increased the compressive strength, flexural strength, ultrasound transmission rate value, dynamic elasticity modulus a little compared to the control mixture, and decreased the water absorption value. It has been observed that with the addition of fiber, it increases the flexural strength at the optimum fiber ratio, but decreases the compressive strength a little.

*Sorumlu yazar: sariisikali@gmail.com

Geliş Tarihi: 31.10.2021, Kabul Tarihi: 15.12.2021

1. Giriş

Betonun ana malzemesi olan çimentonun üretiminde atmosfere yüksek oranlarda CO₂ salınmaktadır. Bunun sebebi çimento üretiminde çok fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duyulmasıdır. Çevreye verilen bu zararın en aza indirgenmesi çimento kullanımının azaltılmasına bağlıdır. Uçucu kül ve benzeri puzolanik malzemelerin kullanılması çimento kullanımının azaltılabilmesi için bir alternatif olarak görülmektedir [1]. Puzolanik malzemelerin son yıllarda sıklıkla kullanıldığı bilinmektedir. Bu atıklar, çimento üretiminden kaynaklanan CO₂ emisyonunu önemli derecede azaltmaktadır [2]. Ayrıca geleneksel Portland çimentolarına % 5 - % 30 oranlarında ikame edilen puzolanik malzemeler durabilite özelliklerinin gelişimine katkı sağladığı da bilinmektedir [3].

Volkanik olaylar sonucunda boşluklu ve süngerimsi yapıdan oluşan pomza, fiziksel ve kimyasal etmenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı doğal bir kayadır. Dünyada pomza rezervlerinin büyük bir kısmı ülkemiz sınırları içerisinde bulunur. Genellikle pomza; inşaat, tekstil, tarım, kimya ve diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda tercih edilen bir malzemedir. En çok kullanılan alanı ise inşaat sektörü ve bims üretimidir. Doğadan elde edilen pomza nano boyutta öğütülerek diğer yapay ve doğal puzolanlar gibi beton üretiminde çimento yerine farklı oranlarda kullanılabilir.

Lifli beton uygulamalarının amacı genel itibarıyla betonda çatlakların yayılmasını ve ilerlemesini önlemek, tokluğu ve sünekliği artırmaktır. Lifli beton uygulamaları genel olarak enerji yutma kapasitesinin yüksek olması gereken ve çatlak ilerlemesinin istenmediği yerlerde kullanılır [4]. Liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonra da bozulmaması lifli betonlarda olması gereken en önemli husustur. Betonun daha dayanıklı hale gelmesi için liflerin beton içerisinde uniform bir şekilde dağılması, çatlak oluşumunu önlediği gibi çatlak ilerlemesini de yavaşlatır. Bu sebepten dolayı lifli betonun özellikle eğilme ve çekme dayanımını arttırdığı bilinmektedir [5].

Araştırmacılar tarafından polipropilen lifli yarı hafif betonların üretilmesi ve basınç dayanımı [6], saha betonunda silis dumanı kullanımının beton özellikleri üzerine etkileri [7], lifli betonda SIFCON'nun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi [8], polimer esaslı polipropilen lifin harç

özelliklerine etkisi [9], çelik, polipropilen ve hibrit liflerle güçlendirilmiş kendiliğinden yerleşen betonun mekanik özellikleri [10], polipropilen ve sisal liflerle güçlendirilmiş betonların mekanik davranışlarını karşılaştırması [11], bazalt lifi ve polipropilen lifi ile güçlendirilmiş yüksek performanslı betonun (HPC) mekanik özellikleri [12], ÖP katkısını çimento yerine kullanılması [13-15], çimento yerine öğütülmüş pomza ve uçucu külün kullanılması [16-17], pomzadan imal edilmiş çelik lif katkılı bimsblokların mekanik özelliklerinin araştırılması [18], çelik elyaf takviyeli betonun mekanik özelliklerinin değerlendirilmesi [19], farklı beton tipleri ve elyaf oranı kullanılarak oluşturulan numune için dinamik ve statik elastik modülün karşılaştırılması [20], polipropilen elyafın farklı boyutlarda güçlendirilmiş çimentolu atık dolgu numunelerin mukavemet özelliklerine elyaf uzunluğunun etkisi [21], bims tozu kullanılarak üretilen reaktif toz betonların mekanik özellikleri [22], üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada polipropilen lif ve pomza tozu kullanılarak elde edilen harçların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda, %10 pomza tozu ikameli harç karışımlarına hacimce %0.0, %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında polipropilen lif eklenerek 40 mm×40 mm×160 mm boyutlarında dikdörtgen prizma numuneler ve 50×50×50 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. Kontrol karışımı dahil olmak üzere toplam 5 harç karışımı hazırlanmıştır. Bu karışımlar üzerinde yayılma çapı, sertleşmiş birim ağırlık, su emme, ultrases, dinamik elastisite modülü, eğilme, eğilme sonrası basınç deneyi ve dinamik elastisite deneyi uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Deneyisel çalışmada Çimko Çimento ve Beton A.Ş. fabrikasında üretilen CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri Çimko Çimento ve Beton A.Ş. fabrikasından alınmış olup Tablo 1 ve Tablo 2'de sunulmuştur.

Pomza tozu olarak Nevşehir yöresinden temin edilen asidik filler pomza agregasından geriye kalan toz malzeme çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Kullanılan pomza tozu çimento ile yer değiştirildiğinden malzeme boyutu

olarak 63 µm elekten elenerek kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan pomza tozuna ait kimyasal özellikler firmadan alınmış olup Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Özgül kütle (g/cm ³)	Özgül yüzey (cm ² /g)	Priz başlangıcı (saat-dak)	Priz sonu (saat-dak)	Basınç dayanımı (N/mm ²)
3	3699	1 sa-50 dak	3 sa-00 dak	21.20 (2.Gün) 51.50(28. Gün)

Deneyel çalışma süresince içilebilir çeşme suyu kullanılmıştır. Deneylerde Atlas 1 Yapı Malzemeleri ve Tekstil San. Dış. Tic. Ltd. Şti. tarafından üretilen 6 mm'lik polipropilen lif kullanılmıştır. Kullanılan polipropilen life ait teknik özellikler firma kataloğundan alınmış olup Tablo 4'de sunulmuştur.

Harç karışımlarında sodyum naftalin sülfonat esaslı süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Harç karışımlarında Limak Çimento San. ve Tic. A.Ş. Trakya Çimento Fabrikasında üretilen CEN Standart kumu kullanılmıştır. CEN Standart kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı Tablo 5'te verilmiştir. Bu kumun özgül ağırlığı ise 2.563 kg/dm³tür.

Tablo 2. Çimentonun kimyasal özelliği

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO (%)	Kızdırma kaybı (%)	K ₂ O (%)	Çözünmeyen kalıntı (%)	Serbest CaO (%)	Toplam (%)
20.35	3.97	3.80	59.51	3.51	2.39	1.17	0.35	4.84	0.95	100

Tablo 3. Pomza tozunun kimyasal özellikleri

SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	MnO (%)	TiO ₂ (%)	SO ₃ (%)	L.O.I (%)
73.22	12.33	1.13	0.74	0.09	3.64	4.19	0.04	0.08	0.02	4.50

Tablo 4. Polipropilene ait teknik özellikler

Lif çeşidi	Lif boyu (m)	Lif çapı (µm)	Lif yoğunluğu (g/cm ³)	Elastisite modülü (GPa)	Çekme Mukavemeti (Mpa)
73.2	12.3	1.1	0.74	0.09	3.64
2	3	3			

Tablo 5. CEN standart kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı

Kare göz açıklığı (mm)	Kümülatif elekten kalan (%)
2.00	0
1.60	7±5
1.00	33±5
0.50	67±5
0.16	87±5
0.08	99±1

Harç karışımlarında sodyum naftalin sülfonat esaslı süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Harç karışımlarında Limak Çimento San. ve Tic. A.Ş. Trakya Çimento Fabrikasında üretilen CEN Standart kumu kullanılmıştır. CEN Standart kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı Tablo 5'te verilmiştir. Bu kumun özgül ağırlığı ise 2.563 kg/dm³tür.

2.2. Metot

Harçların üretiminde standart harç karışım miktarları referans alınmıştır. Literatüre bakıldığında yapılan çalışmalarda optimum pomza tozu oranın %10 olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle karışımlarda kontrol numunesi dışında tüm karışımlara çimento yerine %10 pomza tozu ikame edilmiştir.

Öncelikle standart bir karışım hazırlanmıştır. Daha sonra çimento ile ağırlıkça %10 yer değiştirmiş pomza tozu ilaveli harç karışımlarına polipropilen lif oranları hacimce %0, 0,2, 0,4 ve 0,8 olacak şekilde ilave edilerek toplamda 5 karışım üretilmiştir. Karışımlara işlenebilirliği sağlamak amacıyla toz miktarının %1'i oranında süperakışkanlaştırıcı katkı ilave edilmiştir.

Karışım hazırlanırken ilk önce çimento, pomza tozu ve agrega karıştırılmıştır. Ardından polipropilen lif eklenip tekrar karıştırma işlemi yapılarak liflerin karışım içerisinde homojen dağılımı sağlanmıştır. Daha sonrasında karışım suyu ve akışkanlaştırıcı katkı malzemesi eklenmiştir.

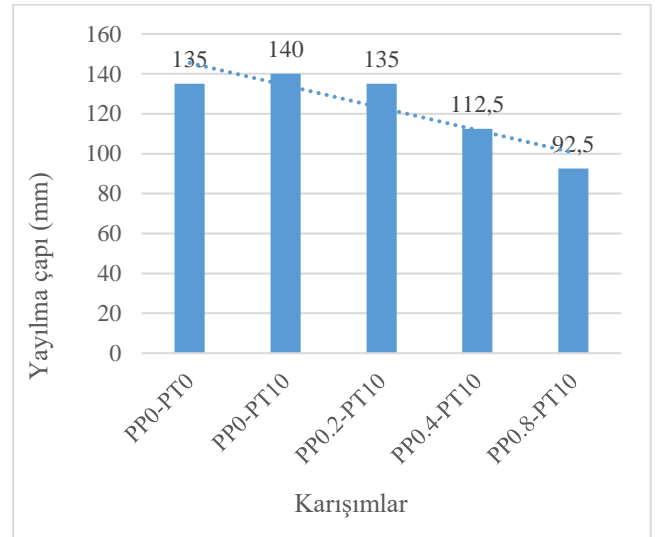


Şekil 1. 24 saat sonunda kalıptan alınan numuneler

Standart çimento kalıbı kullanılarak, her karışım boyutları 160 mm × 40 mm × 40 mm ve 50×50×50 mm olacak biçimde tasarlanmış kalıplara dökülmüştür. Hazırlanan harç karışımları bekletilmeden kalıplara doldurulup sıkıştırılmıştır. Üretilen numuneler, bir gün sonra kalıptan çıkarılmış (Şekil 1) ve 28 gün boyunca 20 ± 3 °C sıcaklıkta su içerisinde kür edilmiştir.

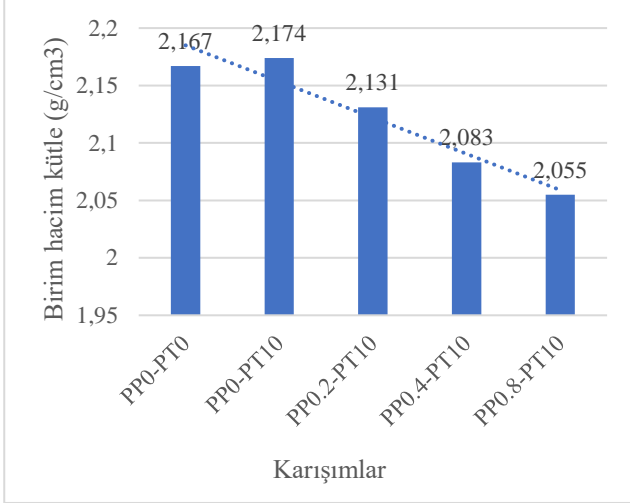
3. Bulgular ve Tartışma

Taze harç numuneleri üzerinde uygulanan yayılma çapı deneyi sonuçları Şekil 2'de görülmektedir. Beton veya harç içerisine eklenen polipropilen liflerin işlenebilirlik değerlerini azalttığı bilinmektedir [23]. Artan lif miktarıyla, topaklaşmanın meydana gelmesi bileşenlerin hareket etme özelliğini azaltmaktadır. Şekil 2'de görüldüğü gibi lif ilavesi arttıkça karışımların yayılma çapı azalmıştır. Pomza tozu içeren karışımın (PP0-PT10), yayılma çapı kontrol karışımına (PP0-PT0) göre daha fazladır. Pomza tozu işlenebilirliği kontrol numunesine göre arttırmıştır. Ancak lif ilavesi ile birlikte pomza tozu içeren karışımların işlenebilirliği lineer şekilde azalmıştır. [Zeyad vd., 2019], yapmış oldukları çalışmada volkanik pomza tozunun işlenebilirliği kontrol numunesine göre arttırdığını, lif ilavesiyle ise işlenebilirliğin azaldığını belirtmişlerdir.



Şekil 2. Yayılma tablası deneyi

Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde uygulanan 28 günlük birim hacim kütle deneyi sonuçları Şekil 3'de gösterilmiştir. Harcın kalıba yerleştirilmesini etkileyen faktörler arasında işlenebilirlikteki azalma da bir faktör olmakla beraber kısmen de olsa kontrol (lifsiz) harca göre daha boşluklu kalmasına sebep olur. Harcın kalıba daha boşluklu yerleşmesine lif miktarının artması sebep olmakta ve harçların birim hacim kütle değerlerini de kontrol harcına göre düşürmektedir [9]. En düşük birim hacim kütle değerleri tüm lif oranları için en fazla lif içeriğindeki karışımdan elde edilmiştir (PP0.8-PT10). En yüksek birim hacim kütle değeri ise pomza tozu içeren karışımdan elde edilmiştir (PP0-PT10).

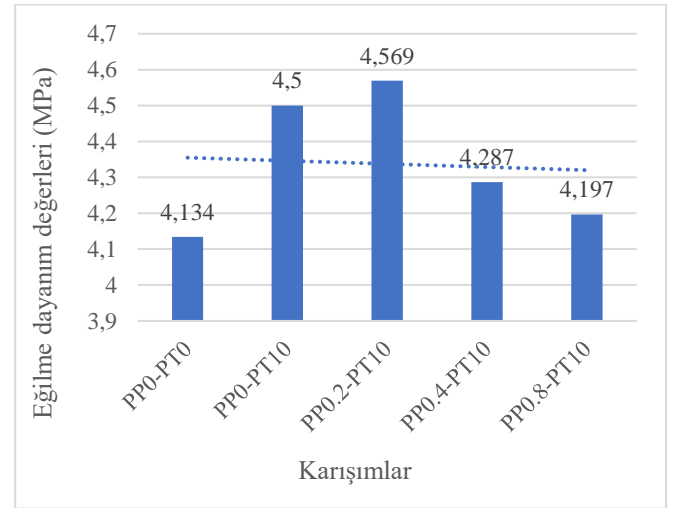


Şekil 3. 28 günlük birim hacim kütle değerleri

Sertleşmiş harç numunelerine uygulanan 28 günlük eğilme dayanım deneyi sonuçları Şekil 4'de gösterilmiştir. 28 günlük eğilme dayanım değerleri 4.134-4.569 MPa arasındadır. Şekil 4 incelendiğinde en düşük değer pomza tozu ve lif içermeyen karışımdan (PP0-PT0), en yüksek değer ise %10 pomza tozu ve %0.2 oranında lif içeren (PP0.2-PT10) karışımdan elde edilmiştir. [Karataş vd., 2017], pomza tozu içeren kendiliğinden yerleşen harçların eğilme dayanımını incelemiştir. Sonuç olarak pomza tozu içermeyen kontrol grubunun pomza tozu içeren numunelere göre eğilme dayanımında azalma olduğunu belirtmişlerdir. %15'e kadar ikame edilen pomza tozunun eğilme dayanımını kontrol numunesine göre arttırdığını ancak %15'den fazla ikame edilen pomza tozunun eğilme dayanımını kontrol numunesine göre düşürdüğünü gözlemlemiştir. Şekil 4'e bakıldığında pomza tozu içermeyen numunenin %10 pomza tozu içeren numuneye göre eğilme dayanımında azalma gözlemlenmiştir. Lif ilavesiyle birlikte en yüksek eğilme dayanımı %10 pomza tozu+%0.2 lif içeren karışımdan elde edilmiştir. Lif oranı ile eğilme dayanımı arasında değişken bir ilişki bulunmaktadır. Bir optimum değere kadar lif oranı arttıkça eğilme dayanımı artar. Ancak optimum değerden sonra lif oranı arttıkça eğilme dayanımı azalır.

Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde uygulanan 28 günlük eğilme sonrası basınç dayanım deneyi sonuçları Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde, pomza tozu içermeyen karışımın (PP0-PT0) pomza tozu içeren karışıma (PP0-PT10) göre basınç dayanımının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Ancak pomza tozu içeren

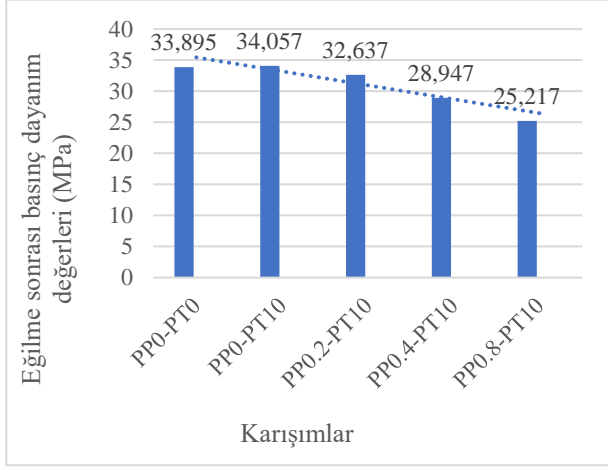
karışımlara sırasıyla %0.2, %0.4 ve %0.8 oranında lif ilavesi karışımların dayanımını kontrol karışımının dayanımına kıyasla azaltmıştır. Lif ilavesinin artmasıyla işlenebilirlikte azalma görülürken basınç dayanımında da azalma gözlenmesi yapılan çalışmalardan bilinmektedir. [Topçu vd., 2017], yapmış oldukları çalışmada polipropilen liflerin yönelim ve dağılımından dolayı basınç dayanımının %3-17 oranında azaldığını belirtmişlerdir. [Zeyad vd., 2020], volkanik pomza tozunu farklı oranlarda (%0,%10,%20,%30) çimento ile ikame ederek dayanım ve dayanıklılığı araştırmışlardır. Sonuç olarak %10'dan daha fazla pomza tozunun dayanımı düşürdüğünü ve en iyi basınç dayanımının %10 pomza tozu ikamesiyle elde edildiğini vurgulamışlardır.



Şekil 4. 28 günlük eğilme dayanım değerleri

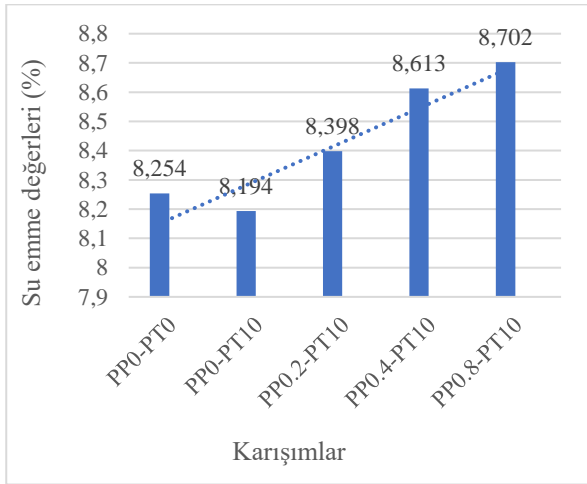
Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde uygulanan 28 günlük su emme deneyi sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde kontrol karışımının (PP0-PT0) su emme değeri, pomza tozu ilaveli karışıma (PP0-PT10) göre daha fazladır. Lif ilavesiyle su emme değerlerinde lineer bir artış gözlemlenmiştir. Lif ilavesinin topaklaşma yaparak harçta boşluk oluşturduğu literatürde bilinmektedir. Bu boşluklar aynı zamanda basınç dayanımını da azaltmaktadır [9]. Şekil 6'da bu artışın literatürü desteklediği görülmektedir. [Zeyad vd., 2019], %10 pomza tozu ikamesinin %20,30,40 pomza tozu ikamesine göre su emme ve basınç dayanımı değerini iyileştirdiğini %10 pomza tozu ikamesinin optimum değer olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında yapmış oldukları SEM görüntüleri neticesinde; kontrol ve %10 pomza tozu içeren numunelerin iç yapısının daha dolu ve daha yoğun olduğunu bildirmişlerdir.

%30 ve %40 pomza tozu içeren numuneler de ise reaksiyona girmemiş örnekler ve ara yüz çatlakları ile eksik hidrasyon süreci ve mikroyapısal kırılma tespit etmişlerdir.



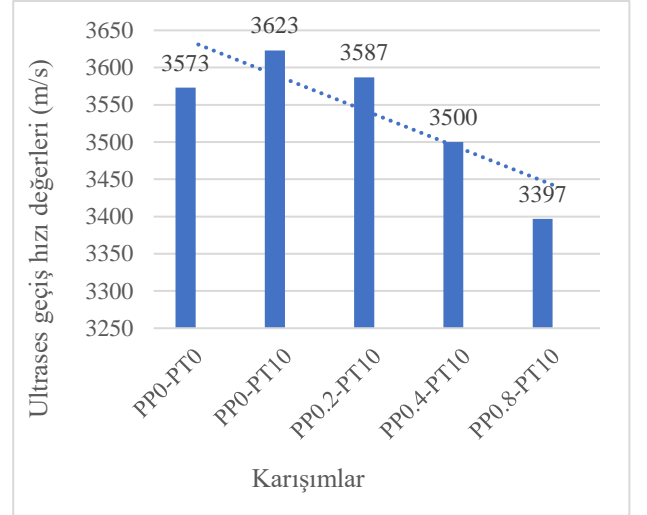
Şekil 5. 28 günlük eğilme sonrası basınç dayanım değerleri

Şekil 5 ve Şekil 6 bu literatürü desteklemektedir. %10 Nevşehir yöresi asidik pomza ikamesi kontrol numunesine göre basınç dayanımını arttırırken su emme değerini azaltmıştır.



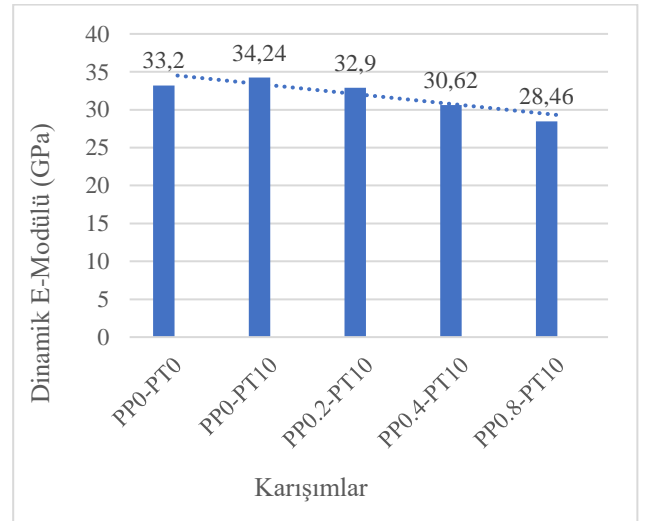
Şekil 6. 28 günlük su emme deneyi değerleri

Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde uygulanan 28 günlük ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde %10 pomza tozu içeren %0 ve %0.2 lif ilaveli karışımların (PP0-PT10 ve PP0.2-PT10) ultrases geçiş hızı değeri, kontrol numunesine göre (PP0-PT0) daha yüksektir. Ancak lif oranı arttıkça ultrases geçiş hızı değerleri düşmüştür. Bu durum lif miktarı arttıkça topaklaşma oluşmasından ve boşluklu yapı oluşturmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 7. Ultrases geçiş hızı deneyi değerleri

Numunelerin birim kütle ve ultrases geçiş hızına bağlı olarak hesaplanan dinamik elastisite (E) modülü sonuçları Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8 incelendiğinde, %10 pomza tozu içeren lifsiz karışım en yüksek E-modülüne sahiptir. Lif ilavesiyle birlikte karışımların E-modülleri azalmıştır. Pomza tozu ve lif içermeyen karışımın (kontrol) E-modülü, pomza tozu içeren lifsiz karışıma göre daha düşük değerdedir. Bu durum basınç dayanımı değerleriyle benzerlik göstermektedir.



Şekil 8. Dinamik elastisite modülü

4. Sonuç ve Öneriler

Çimento esaslı harç örneklerine ikame edilen pomza tozunun ve değişik oranlarda karışıma eklenen polipropilen lifin 28 günlük örnekler üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. %10 pomza tozu katkılı betonların yayılma değerlerine etkisi şahit beton ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %4 oranında artış görülmüştür. %10 pomza tozu katkılı betona polipropilen lif %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında ilave edildiğinde, yayılma değerlerine etkileri %10 pomza tozu katkılı beton ile kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık olarak %4, %20 ve %34 oranlarında azalmıştır. Şahit beton ile kıyaslandığında ise sırasıyla yaklaşık olarak %0, %17 ve %32 oranlarında azalma olduğu tespit edilmiştir.

2. %10 pomza tozu katkılı betonların sertleşmiş birim hacim kütle değerlerine etkisi şahit beton ile kıyaslandığında yaklaşık %0.32 oranında artış tespit edilmiştir. %10 pomza tozu katkılı betona %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında polipropilen lif ilave edildiğinde, sertleşmiş birim hacim kütle değerlerine etkileri %10 pomza tozu katkılı beton ile kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık olarak %2, %4 ve %6 oranlarında azalmıştır. Şahit beton ile kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık olarak %2, %4 ve %5 oranlarında azalma olduğu görülmüştür.

3. %10 pomza tozu katkılı betonların eğilme dayanımı değerlerine etkisi şahit beton ile kıyaslandığında yaklaşık %9 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. %10 pomza tozu katkılı betona %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında polipropilen lif ilave edildiğinde, eğilme dayanımı değerlerine etkileri %10 pomza tozu katkılı beton ile kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık olarak %2 artış, %5 ve %7 oranlarında azalmıştır. Şahit beton ile kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık olarak %11, %4 ve %2 oranlarında artış tespit edilmiştir.

4. %10 pomza tozu katkılı betonların basınç dayanımı değerlerine etkisi şahit betona kıyasla yaklaşık %1 oranında artmıştır. %10 pomza tozu katkılı betona %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında polipropilen lif ilave edildiğinde basınç dayanımı değerlerine etkileri %10 pomza tozu katkılı betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %4 %15 ve %26 oranlarında azalmakta ve şahit beton ile kıyaslandığında ise sırasıyla yaklaşık olarak %4, %14 ve %26 oranlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Kaynaklar

- [1] S. Pangdaeng, T. Phoo-Ngernkham, V. Sata, and P. Chindaprasirt, "Influence of Curing Conditions on Properties of High Calcium Fly Ash Geopolymer Containing Portland Cement as Additive", *Materials & Design*, vol. 53, pp. 269–274, 2014.
- [2] T. Kallel, A. Kallel, and B. Samet, "Durability of Mortars Made with Sand Washing Waste", *Construction and Building Materials*, vol. 122, pp. 728–735, 2016.

5. %10 pomza tozu katkılı betonların su emme değerlerine etkisi şahit beton ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %1 oranında azalmıştır. %10 pomza tozu katkılı betona %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında polipropilen lif ilave edilmiş ve su emme değerlerine etkileri %10 pomza tozu katkılı betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %3 %5 ve %6 oranlarında artmıştır. Şahit betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %2, %4 ve %5 oranlarında artış görülmüştür.

6. %10 pomza tozu katkılı betonların ultrases hız değerlerine etkisi şahit beton ile kıyaslandığında yaklaşık olarak %1 oranında artmıştır. %10 pomza tozu katkılı betona %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında polipropilen lif ilave edildiğinde ultrases hız değerlerine etkileri %10 pomza tozu katkılı betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %1 %3 ve %6 oranlarında azalmıştır. Şahit betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %0.4 artış, %2 ve %5 oranlarında azalma görülmüştür.

7. %10 pomza tozu katkılı betonların dinamik elastisite modülü değerlerine etkisi şahit betona kıyasla yaklaşık %3 oranında artmıştır. %10 pomza tozu katkılı betona %0.2, %0.4 ve %0.8 oranlarında polipropilen lif ilave edilmiş ve dinamik elastisite modülü değerlerine etkileri %10 pomza tozu katkılı betona kıyasla sırasıyla yaklaşık olarak %4 %11 ve %17 oranlarında azalmıştır. Şahit beton ile kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık olarak %1 artış, %8 ve %14 oranlarında azalma tespit edilmiştir.

Yazarların Katkısı

Bu çalışmada bütün katkı yazarlara aittir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yürütülen çalışmada yayın ve araştırma etiğine uyulmuştur.

- [3] S. Donatello, A. Palomo, and A. Fernández-Jiménez, “Durability of very high volume fly ash cement pastes and mortars in aggressive solutions”, *Cem. Concr. Compos.*, vol. 38, pp. 12–20, 2013.
- [4] [Online]. Available: <http://www.thbb.org>. [Accessed: 16-Mar-2022].
- [5] M. Kozak, “Çelik Lifli Betonlar ve Kullanım Alanlarının Araştırılması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, pp. 5–8, 2003.
- [6] A. Akkaş, L. Alpaslan, S. Arabacı, and C. Başıyigit, “Polipropilen Lif Katkılı Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri”, *SDU International Technologic Science*, vol. 2, pp. 9–14, 2010.
- [7] B. Sümer and M. Sarıbyık, “Betonda Silis Dumanı ve Polipropilen Lif Kullanımının Beton Özellikleri Üzerine Etkilerinin İncelenmesi”, *SAÜ. Fen Bil. Der.*, vol. 2, pp. 217–224, 2013.
- [8] M. İpek, M. Canbay, and K. Yılmaz, “Çelik ve Polipropilen Liflerin Kalın ve Kombinasyonlu Olarak Kullanılmasının SIFCON’un Mekanik ve Fiziksel Özelliklere Etkisi”, *SAÜ Fen Bil. Der.*, vol. 1, pp. 41–52, 2013.
- [9] İ. B. Topçu, O. E. Demirel, and T. Uygunoğlu, “Polipropilen Lif Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, *Politeknik Dergisi*, vol. 20, no. 1, pp. 91–96, 2017.
- [10] V. M. De Alencar Monteiro, L. R. Lima, F. A. De, and F. Silva, “On The Mechanical Behavior of Polypropylene, Steel and Hybrid Fiber Reinforced Self-Consolidating Concrete”, *Construction and Building Materials*, vol. 188, pp. 280–291, 2018.
- [11] C. R. De, L. M. S. Souza, and F. De Andrade, “Comparative Study on the Mechanical Behavior and Durability of Polypropylene and Sisal Fiber Reinforced Concretes”, *Construction and Building Materials*, vol. 211, pp. 617–628, 2019.
- [12] D. Wang, Y. Ju, H. Shen, and L. Xu, “Mechanical properties of high performance concrete reinforced with basalt fiber and polypropylene fiber”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 197, pp. 464–473, 2019.
- [13] S. Yazıcıoğlu and B. Demirel, “Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Elazığ Yöresi Pomzasının İlerleyen Kür Yaşlarında Betonun Basınç Dayanımına Etkisi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 18, no. 3, pp. 367–374, 2006.
- [14] B. B. Ekici and B. Demirel, “Öğütülmüş Pomzanın Beton Basınç Dayanımına Etkisinin Yapay Sınır Ağı ile Belirlenmesi”, *E Journal of New World Sciences Academy*, pp. 9–11, 2007.
- [15] S. Çelikten, Çelik Fiber İçeren Yüksek Dayanımlı Beton Özellikleri Üzerine Metakaolin ve Öğütülmüş Pomzanın Etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi. Niğde*, 2014.
- [16] K. M. A. Hossain, “Properties of Volcanic Pumice Based Cement and Lightweight Concrete”, *Cement and Concrete Research*, vol. 34, no. 2, pp. 283–291, 2004.
- [17] N. Kabay, M. M. Tufekci, A. B. Kizilkanat, and D. Oktay, “Properties of concrete with pumice powder and fly ash as cement replacement materials,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 85, pp. 1–8, 2015.
- [18] Y. Kayan, A. Karaşin, and E. Işık, “Pomzadan İmal Edilmiş Çelik Lif Katkılı Bimsblokların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, vol. 11, no. 2, pp. 723–730, 2019.
- [19] W. Abbass, M. I. Khan, and S. Mourad, “Evaluation of mechanical properties of steel fiber reinforced concrete with different strengths of concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 168, pp. 556–569, 2018.
- [20] R. K. Pekgökgöz, R. Şaman, Z. Babayev, F. Avcil, and M. Gürel, Farklı Beton Türü ve Lif Oranları Kullanılarak Oluşturulmuş Numuneler İçin Dinamik ve Statik Elastisite Modülünün Karşılaştırılması” *6 th International GAP Engineering Conference*, 8-10 Kasım. Şanlıurfa, 2018.
- [21] G. Xue, E. Yılmaz, W. Song, and S. Cao, “Fiber length effect on strength properties of polypropylene fiber reinforced cemented tailings backfill specimens with different sizes”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 241, no. 118113, p. 118113, 2020.
- [22] A. Bakis, E. Işık, A. El, and M. Ülker, “Mechanical Properties of Reactive Powder Concretes Produced Using Pumice Powder”, *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed*, vol. 34, pp. 353–360, 2019.
- [23] M. Açıkgeç, U. Arazsu, and K. E. Alyamaç, “Farklı Karışım Oranlarına Sahip Polipropilen Lifli Betonların Dayanım ve Durabilite Özellikleri”, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, vol. 4, no. 3, pp. 41–54, 2012.
- [24] A. M. Zeyad, B. A. Tayeh, and M. O. Yusuf, “Strength and transport characteristics of volcanic pumice powder based high strength concrete”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 216, pp. 314–324, 2019.
- [25] M. Karataş, A. Benli, and A. Ergin, “Influence of ground pumice powder on the mechanical properties and durability of self-compacting mortars”, *Constr. Build. Mater.*, vol. 150, pp. 467–479, 2017.

- [26] A. M. Zeyad, A. H. Khan, and B. A. Tayeh, “Durability and Strength Characteristics of High-Strength Concrete Incorporated with Volcanic Pumice Powder and Polypropylene Fibers”, *Construction and Building Materials Journal of Materials Research and Technology*, vol. 9, pp. 806–818, 2020.



Digital Forensic Analysis of Wallapop Application on Android Operating System

Elifnur İPEK¹, Erhan AKBAL^{1*}

¹Department of Digital Forensics Engineering, Technology Faculty, Firat University, Elazığ, Turkey
(ORCID: [0000-0002-1912-9088](https://orcid.org/0000-0002-1912-9088)) (ORCID: [0000-0002-5257-7560](https://orcid.org/0000-0002-5257-7560))



Keywords: Application analysis, forensic artifact, wallapop forensic, android OS.

Abstract

The use of second-hand shopping applications is increasing day by day. Applications can be used for product search, product sale / purchase, product search / search, specific filtering for the searched product, product selection by category, saving searched products, product listing and messaging with people. There may be situations that may create legal problems between users in shopping applications. Defamation, fraud, fraudulent products, sale of prohibited substances are carried to judicial authorities. Wallapop app is a second-hand sales app with more than 10 million downloads on google play store. Application were examined by XRY, Praben, Oxygen, Axiom, Ufed and Autopsy Forensic examination programs and no characteristic information about the application could be obtained. In the study, manual forensic analysis of Wallapop application on mobile devices with Android operating system was performed and an examination method was proposed. In the study, manual forensic analysis of Wallapop application on mobile devices with Android operating system is performed and a methodology about the artifacts produced by Wallapop application, their analysis and the relations with each other is presented. The contents of the database files, location information, session information and other data that may be considered as evidence are shown.

1. Introduction

Today, shopping applications where second-hand products are marketed are one of the most preferred applications by mobile / computer users worldwide. One of the most important reasons for this is that the products are cheaper than the store prices in the location on the internet and the product variety is more than the varieties available in the location stores. Together with these applications, it is possible to find the desired product easily by filtering according to the desired features over the internet, to be able to return or exchange the purchased product easily [1]. The necessity of allocating a separate time to visit the stores for shopping and the elimination of the time limit problem for shopping are among the conveniences provided by these applications. In addition, the shopping application is marketed

for second-hand products and the lower prices make these applications more attractive. Shopping applications provide users with a lot of flexibility. However, due to its widespread use and the possibilities it provides, it can be realized in negative uses with the application. Fraud, message hiding, selling counterfeit items and insulting people and so on. It is possible to perform such behaviors. In the event of such a situation, the case must be resolved, the offense has to be found and the identity of the perpetrator. Therefore, the analysis of shopping applications has become important for the mobile forensic field [2].

In this study, the method of obtaining remnants left by android device memory of Wallapop application is given. The Wallapop application was created by the founders of Miguel Vicente, Agustín Gómez and Gerard Olivé, who are members of Wallapop, founded in 2013. With more than 10,000,000 downloads in the Google Play

*Corresponding author: erhanakbal@firat.edu.tr

Received: 05.11.2021, Accepted: 06.01.2022

Store, the Wallapop application was named the highest-income startup company in Spain in 2015 with a \$ 1 billion transactions [3].

The Wallapop app has features such as selling / buying second hand products, sending / receiving products, searching products, performing specific filtering for the searched product, selecting products by category, registering searched products, product listing, messaging [4]. Despite the possibility of having conversations that may constitute a criminal element in the field of messaging with these features, deception in product sending / receiving, fraud, it has created an important field of study for forensic IT researchers. The data obtained with this study for the Wallapop application have an important role in most studies, such as data from other shopping applications where second-hand products are marketed.

Forensic analysis tools can characteristically examine specific applications [5, 6]. However, it cannot characteristically examine many applications used. For this reason, there are many scientific studies that show how to examine applications that are widely used but cannot be examined by commercial software. Saxena et al. have shown how the Amazon kindle application should be examined on android devices [7]. Kim et al. Have shown what remains of the Android applications left in the cache and how they should be analyzed [8]. Karakoca et al. have conducted benchmarking tests of android messenger applications in terms of digital forensics [9]. Their success in the examination phase was measured. Idowu et al. Recommended some security precautions and method of digital examination of Skype application [10]. Heap memory analysis of Android applications is shown [11]. There are many studies on Android messaging applications. These are BIP Messenger, telegram, Wechat, Kik Messenger, Google Allo Messenger, Skype, Spy, respectively [10, 12-19]. There are also general recommended approaches and studies for instant messaging applications. The main purpose of the study is to present an investigation method when an unknown instant messaging application is encountered [9, 20-23]. In their studies related to Android-based applications that can be made voice calls, methods of obtaining user data left in the application are presented [24, 25]. There are studies that present the methodology of

investigating bank applications for mobile devices [26]. The structure of mobile examination tools and their use in digital forensics has been shown [27, 28]. There are studies made for games. Since messaging can be done within the game, content that can be used as digital evidence can be accessed. Sablatura et al. have shown the remains of the PokemonGo application on Android devices [29]. Shariati et al. reviewed the SugarSync application for analysis of file backup applications. The artifact of the application on the device has been shown [30]. Azfar et al. presented a model for the analysis of social media applications working on android [31]. Andrew et al. demonstrated the forensic analysis of the zoom video conferencing application [6].

The main objectives of the proposed analysis methodology in this study,

- Display all the data that may be needed on an android device with Wallapop application.

- Fully reconstruct all user activity by revealing this data and explaining how it can be resolved.

- It is aimed to evaluate the independent data separately and show the correlation between the data which cannot normally be obtained but which may be important for the examiner.

The main contributions of the study are as follows;

- Methodology of forensic analysis of the application running on android operating system is presented.

- With the presented methodology, the completeness and accuracy of the data that can be obtained from Wallapop application was checked. Thus, all the remains on the mobile device have been revealed.

- Wallapop application's communication style, data storage formats and database relations are introduced.

Thus, it will be understood how to re-create user data and to interpret message contents and user behaviors with the data taken from smart mobile device with android operating system using Wallapop application.

2. Analysis Methodology and Tools

In order to find out which data the Wallapop application holds, the wallapop application was installed on the android mobile device, products were searched through the application, profiles of product marketers were examined, users were contacted from the chat area for the products and conversations were made. After these procedures

are applied, the data generated on the wallapop application is taken from the mobile device and the analysis procedures are started. For the analysis of the data in the Wallapop application, it was examined what kind of information it would use by using Magnet 3.0, Oxygen Forensic, XRY and Paraben commercial forensic software. However, it has been observed that commercial software does not recognize the data generated by wallapop application. To eliminate this problem, the analysis of the application was performed manually without using commercial software. The steps of the said analysis method are as follows. (1) Android mobile device is root. (2) Files created by wallapop application on the device are extracted with es file manager. (3) The extracted application data is copied to the computer. (4) Application databases (SQLite) are examined with db browser SQLite. (5) The results are reported.

In the application analysis wallapop version 1.86.2 was used. The device is a 4-core, 16 Gb internal storage, 1 GB Ram memory and Android 4.4.2 (kitkat) operating system with a General Mobile brand Discovery model Android device was used. DB Browser SQLite version used in database analysis is 3.11.2, Qt Version is 5.11.3 and SQLite version is 3.27.2. The mobile device is rooted by flashing supers from the boot screen. The ES file manager (version 4.2.0.2.1) application is used to access,

view, and extract files that the application holds to the root directory on the mobile device.

2.1. Proposed Methodology

The Wallapop app is a shopping app that markets popular second-hand products around the world. Commercial forensic software and wallapop applications cannot be examined. Therefore, the inability to analyze this application with forensic software has created a problem. As a solution to this problem, a manual examination of the application has been developed. In the first review of the manual wallapop application was installed on the android device. Then, if the device is not rooted, the root operation is performed because the data cannot be obtained. After the root operation, Es File Manager was installed on the device and the application files were accessed. With this access, database files belonging to the application were found and the process of copying these database files to the computer was completed. The wallapop database files copied on the computer were examined and analyzed with DB Browser SQLite. Afterwards, files belonging to the application other than databases were examined and reported. The block diagram of the described methodology is given in Figure 1.

If necessary, subheadings can be added under the main heading [5].

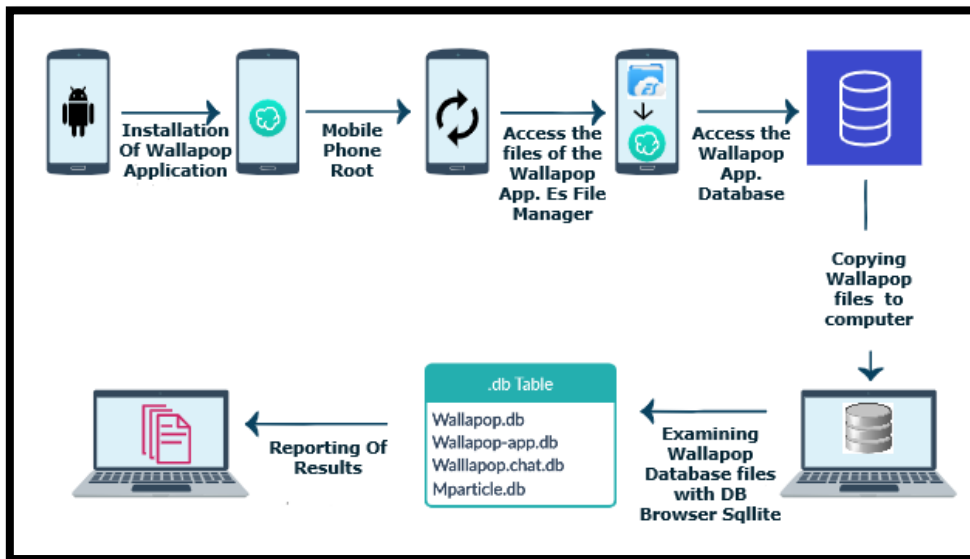


Figure 1. Proposed analysis method block diagram

2.2. Wallapop File / Directory Structure and Content

During the forensic analysis of the Wallpop application, information was obtained from the file directory structure of the application, how the wallpop application stores the application data, in which files and directories the stored data is stored, what data the held files contain, and where the application stores the data. The information about the data was obtained by examining the file directory structure and the files held by the application, and the file directory path of the data examined in the forensic analysis is given hierarchically with the titles in Figure 3.

It was found with the Es file manager program that application data is located in the path data / data / com.wallpop. The files and folders in the data / data / com.wallpop path are given in Figure 2. (a). In addition, Figure 2. (b) shows the databases in the database folder located in data / data / com.wallpop path.

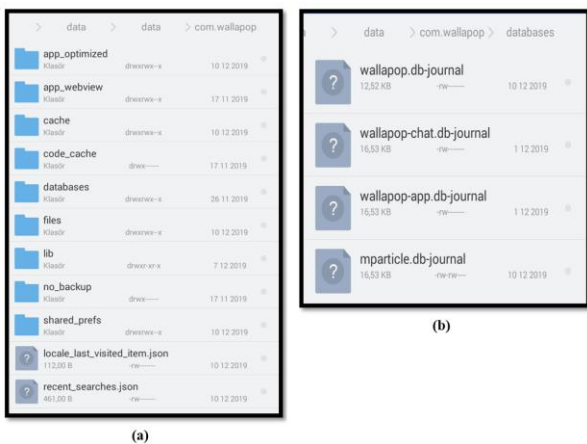


Figure 1. a) Application directory structure b) Database directory

2.3. Wallpop Communication Protocols

Wallpop app is a second-hand shopping application available for both iOS and android devices. Chat area has been created on the application for the user to contact the product vendor for the product he wants to purchase. When a message is sent in the buyer / seller communication via chat, the message is stored on the wallpop servers used by the wallpop application. The server sends the sent message repeatedly until the receiving device accepts the message. When the message is accepted by the recipient, the server transfers the stored message to the recipient. The Wallpop application uses the Xmpp protocol, a set of open xml protocols and technologies that allow the two ends of the Internet to transfer any structural information between each

other and almost simultaneously. The communication mechanism in Wallpop application is given in Figure 4.

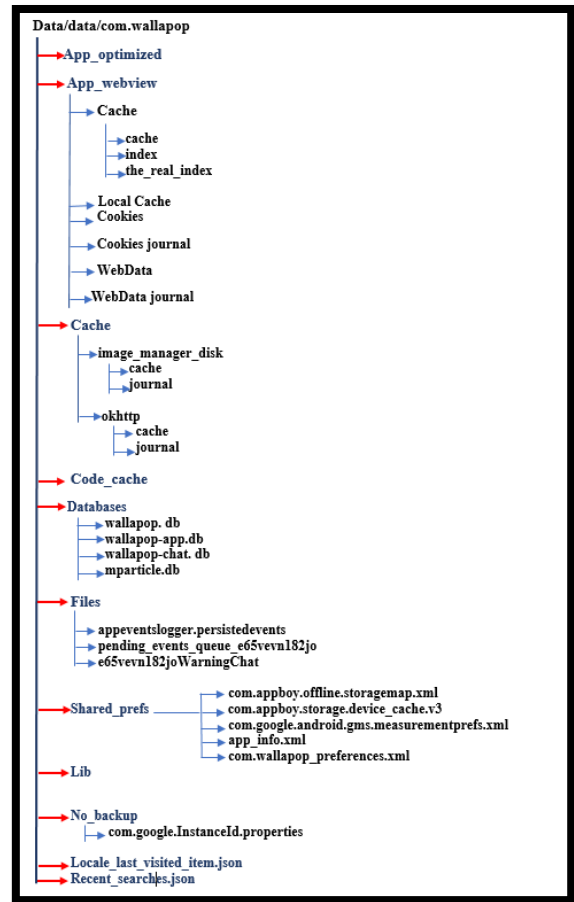


Figure 3. Wallpop application file directory structure

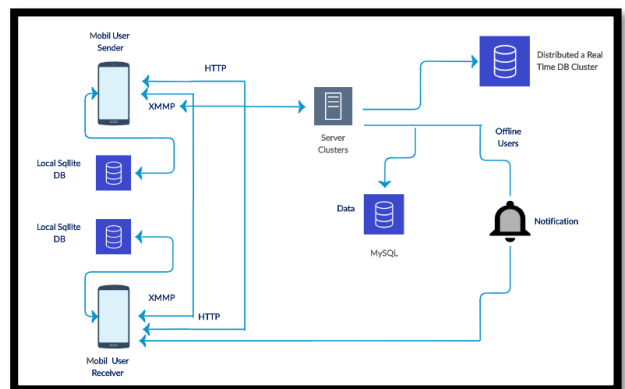


Figure 4. Wallpop application messaging and communication structure

The structure of the mentioned operation is as follows.

- 1-The message sender decides to send the message from the chat area to the seller of the product of interest on the application.

2-The sender targets the product vendor as the recipient in order to send the message.

3-Sender, to send the message contents to the destination, requests the device information of the recipient from the wallpop server with TCP protocol.

4-The Wallpop server verifies the message request. It then attaches the user information of the message sender to the information of the recipient and forwards the message to the recipient.

5-The message sent by the sender to the recipient is temporarily stored in the wallpop-chat-journal database under the data / data / com.wallpop directory on the sender's phone. It is then saved permanently in the database wallpop-chat.db under the data / data / com.wallpop directory. The main purpose of temporary storage is to prevent possible losses.

6-If the recipient's internet connection is not active, the message continues to be sent repeatedly until the message is forwarded to the recipient.

7-When the receiver opens the internet, the message sent by the sender is forwarded to the recipient with notification feature.

8-When the transmission is performed, the server sends information to the message sender that the message has been delivered.

2.4. Device Permissions in AndroidManifest.XML

Androidmanifest.xml files are files that contain the basic information of an application. Wallpop application's AndroidManifest file is found in the apk content of the application. For information about the application, refer to the AndroidManifest file. Figure 5 shows the contents of the AndroidManifest.Xml file that contains permissions for the Wallpop application.

When the AndroidManifest.xml file is examined, it is seen that many permissions are requested for the application. Requested permissions access to full location, access to network information, access to wi-fi networks, change the status of network connections, access to wi-fi multicast mode, access to phone status, camera, access to accounts, internet, read / write access to external storage, bluetooth, cache cleaning, screen darkening, packet installation, system settings read / write permissions were given.

```
n.CONNECTIVITY_CHANGE)android.permission.ACCESS_COARSE_LOCATION'android.permission.ACCESS_NETWORK_STATE#android.permission.ACCESS_SUPERUSER$android.permission.ACCESS_WIFI_STATE#android.permission.BIND_JOB_SERVICE android.permission.BLUETOOTH"android.permission.BLUETOOTH_ADMIN android.permission.CAMERA'android.permission.CHANGE_NETWORK_STATE.android.permission.CHANGE_WIFI_MULTICAST_STATE$android.permission.CHANGE_WIFI_STATE"android.permission.CLEAR_APP_CACHE%android.permission.FOREGROUND_SERVICE android.permission.GET_ACCOUNTS#android.permission.GET_PACKAGE_SIZE android.permission.GET_TASKS#android.permission.INSTALL_PACKAGES android.permission.INTERNET,android.permission.KILL_BACKGROUND_PROCESSES(android.permission.READ_EXTERNAL_STORAGE#android.permission.READ_PHONE_STATE)android.permission.RECEIVE_BOOT_COMPLETED+android.permission.REQUEST_INSTALL_PACKAGES android.permission.SET_WALLPAPER&android.permission.SYSTEM_ALERT_WINDOW android.permission.VIBRATE android.permission.WAKE_LOCK)android.permission.WRITE_EXTERNAL_STORAGE&android.permission.WRITE_MEDIA_STORAGE!android.permission.WRITE_SETTINGS android.software.leanba
```

Figure 5. AndroidManifest.xml file content

3. Wallpop Forensic Analysis

3.1. Default Last User Information

From the file in data / data / com.wallpop / shared_prefs/com.appboy.offline.storagemap.xml, last user information has been reached with “last_user”, and default user information has been reached with “default_user”. It is shown in Figure 6 that both users are the same person and the user's name in the application is e65vevn182jo.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" standalone="yes" ?>
<map>
  <string name="default_user">e65vevn182jo</string>
  <string name="last_user">e65vevn182jo</string>
</map>
```

Figure 6. com.Appboy.Offline.Storagemap.xml file content

In terms of digital forensic, the name of the registered user and the last user information are important in an application. In an event occurring on the application, in the forensic analysis step of the application, the information of who is the registered user of the application on the device and which user was last logged in the application can be accessed. In this respect, it is a digital evidence.

3.2. Device Information

In the file in data / data / com.wallapop / shared_prefs/com.appboy.storage.device_cache.v3, timezone information, model, os_version, and location information of the device on which the application was installed were obtained and these information are given in Figure 7.

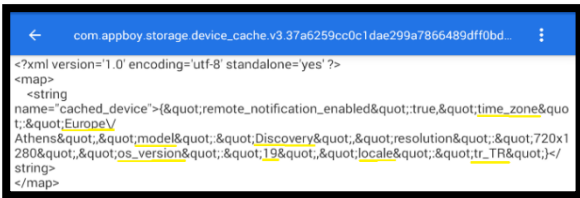


Figure 7. com.Appboy.Storage.Device_Cache.V3 file content

Timezone, location, operating system version information, which can be accessed with device information, may be some of the supporting evidence in digital forensic investigations. For example, if we assume that an event has occurred on the application on the device, we can access the timezone and location of the event and also the brand / model operating system version of the device on which the event took place.

3.3. Time Information

A number of application time information was found in the file path data / data / com.wallapop / shared_prefs/com.google.android.gms.measurementprefs.xml. app_install_time shows when the application was installed on device, first_open_time shows the first boot time, last_pause_time shows the last stop time, app_instance_id shows the application id. health_monitor shows battery power and battery health information. The content of the findings is shown in Figure 8.

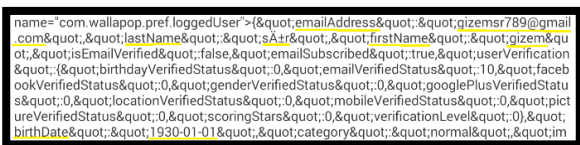


Figure 8. com.wallapop_preferences.xml file content

The date of the application, the first opening time, the last stop time, the unique id number of the user using the application are digital evidence and are important information. Date / time stamps are an essential part of a forensic investigation. Because each operation of the user takes place over time and this recorded time information can provide important information about the event. These timestamps, which were

mentioned in the forensic computer review of Wallapop application, were reached and the timestamps that were reached were learned with the timestamp converters in which day, month, year, and hours, minutes, seconds. Time-related data is stored in com.google.android.gms.measurementprefs.xml. The content of the file is shown in Figure 9.

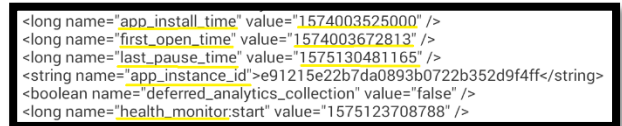


Figure 9. com. google. android. gms. measurementprefs.xml file content

3.4. SDK Information

The application version and sdk application id information were found in the path of data / data / com.wallapop / shared_prefs / app_info.xml. App_version shows the version information, sdk_app_id sdk shows the application id information. The content of the file is given in Figure 10.

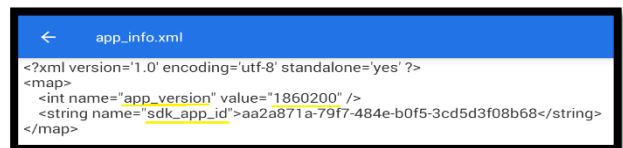


Figure 10. App_info.xml file content

In the forensic review of the Wallapop application, some information about the application was found in the app_info.xml file, and the version information and id information in this field are important for forensic information.

3.5. User Information

Data/data/com.wallapop/shared_prefs/com.wallapop_preferences.xml file path has been found to be used by the user when logging in. User's e-mail address, user name and date of birth has been reached from this file. Content of this file is shown in Figure 11. In forensic investigations, if there is an event on an application, the information about who is using the application is extremely important. By obtaining this information, the information of the suspicious user in case of an event on Wallapop application can be learned as described.

```
name="com.wallapop.prefs.loggedUser">{&quot;emailAddress&quot;:&quot;gizemsr789@gmail.com&quot;,&quot;lastName&quot;:&quot;S.A.&quot;,&quot;firstName&quot;:&quot;gizem&quot;,&quot;isEmailVerified&quot;:false,&quot;emailSubscribed&quot;:true,&quot;userVerification&quot;:&quot;,&quot;birthdayVerifiedStatus&quot;:&quot;,&quot;emailVerifiedStatus&quot;:10,&quot;facebookVerifiedStatus&quot;:0,&quot;genderVerifiedStatus&quot;:0,&quot;googlePlusVerifiedStatus&quot;:0,&quot;locationVerifiedStatus&quot;:0,&quot;mobileVerifiedStatus&quot;:0,&quot;pictureVerifiedStatus&quot;:0,&quot;scoringStars&quot;:0,&quot;verificationLevel&quot;:0,&quot;birthDate&quot;:&quot;1930-01-01&quot;,&quot;category&quot;:&quot;normal&quot;,&quot;im
```

Figure 11.shared_prefs/com.wallapop_preferences.xml file content

4. Analysis of Application Database Files

The Wallapop application has four database files. These; Wallapop.db, Wallapop-chat.db, Wallapop-app.db, Mparticle.db. Application database files are located in the data / data / com.wallapop / databases file path. The database files are transferred to the computer in order to find out which files the databases consist of, and what kind of information these files contain, what the table names are, and the rows and columns of the tables. After that, the contents of the databases were obtained with DB Browser. Databases store the behaviors that users perform on the application. Therefore, forensic analysis of an application can provide clues about a number of topics, such as information about other users with which the user has contacted, message content if contacted, session information, id information, location information. Since the information obtained is important in digital forensic, the data obtained can be considered as digital evidence. In addition, since databases store information in many areas of the application, data from the databases is of great benefit in resolving a forensic event.

When the Categories table is examined, there are a total of 5 columns that hold the names, grammar, product ID number, color code and icon id of the products on the application. The content of these columns is shown in Table 1.

In the Currency table, it is found out which currencies are used on the application. Figure 13 shows the contents of the currency table.

Figure 12. data /data /com.wallapop /databases /Wallapop.db categories table content

Table 1. Categories table data structure

Column name	Content
Name	Knowledge of categorical names of products
Language	Language
Backend_Id	Unique number to which categories correspond
Color	Product color code
Icon_Id	Object name information corresponding to each product

Figure 2. Currency content

There are 5 columns in the Currency table: id, currency code, currency symbol, default fraction number and language. Table 2 provides the information contained in these columns.

Table 2. Currency table data structure

Column Name	Content
Id	Unique number
Currency_Mode	Currency spelling
Symbol	Currency spelling
Default Fraction_Digit	Default fraction number information
Language	Language

4.2. Wallapop-App.Db

There are 7 tables in the Wallapop-app.db database named currency, image, item, item categories, item images, location, user. This database contains information about the products and users on the application. In the forensic examination, the user information and product information obtained on the application are related to each other and are important as they are digital evidence.

4.2.1. Currency Table

In the Currency table in Wallapop-app.db, the currency of the products the user has examined, the symbols of these currencies and the fraction numbers of the currencies are obtained. Figure 14 shows the visual representation of the Currency table.

	CODE	SYMBOL	RACTION_DIGIT
	Filtre	Filtre	Filtre
1	EUR	€	2
2	USD	\$	2

Figure 3 .Currency table view in Wallapop-app.db

This table consists of 3 columns: code, symbol, fraction_digit. Table 3 contains the information contained in the columns.

Table 3. Currency table data structure in Wallapop-app.db

Column Name	Content
Code	Currency code information
Symbol	Symbolic representation of currency
Fraction_Digit	Currency fraction information

4.2.2. Image Table

In the Image table in Wallapop-app.db, photos of the products the user has examined in the application have been found. The table content view is shown in Figure 15.

ID	AVERAGE_HEX_COLOR	SMALL_URL	MEDIUM_URL	BIG_URL	XLARGE_URL	ORIGINAL_HEIGHT	ORIGINAL_WIDTH
	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre
0	ffff					1	1
2	56915367	ff78c	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	50	50
3	946167832	5a6f81	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	1600	1200
4	946174507	677783	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	1600	1200
5	1068499710	9fa7bb	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	800	450
6	1068513102	9da7b7	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	800	450
7	1068513106	89e65f	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	800	450
8	1068514961	e4aebb	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	800	450
9	1068522557	9ca5b5	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	800	450
10	1068524567	6a707b	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	800	450
11	1068524577	4a4c56	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	800	450
12	1070505453	121f72	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	640	480
13	1070518985	122074	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	640	480
14	1070518987	100e50	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	640	480
15	1070520972	121f73	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	640	480
16	1118129411	63a56e	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	1600	1200
17	1118140780	5a695d	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	1600	1200
18	1118144129	69018f	http://cdn...	http://cdn...	http://cdn...	1600	1200

Figure 15. Image table content in Wallapop-app.db

This table consists of 8 columns: image id, average_hex_color, small_URL, medium_URL, big_URL, Xlarge_URL, Original height, Original Width. Table 4 shows what these areas are. With the data obtained from the Image table, we can access the photo of the product that the user has looked at on the application with the address given in the table and we can know what the product is.

In addition to this, we can reach the actual dimensions of the product photo and the id number that is defined to the product.

Table 4. Image table data structure in Wallapop-app.db

Column Name	Content
Image Id	photo's unique number
Average_Hex_Color	average hex color information
Small_URL	small Url address information
Medium_URL	medium URL address information
Big_URL	large Url address information
Xlarge_URL	longest URL address information
Original Height	Original width info
Original Width	original size information

The small_Url address in line 3 in Figure 15 (A http://cdn.wallapop.com/images/10420/6d/tp/_/c10420p386018089/i946167832.jpg?pictureSize=W320) Figure 16 shows the result.



Figure 16. Image from the 3rd row of the Image table

4.2.3. Item Table

In the Item table in Wallapop-app.db, there are informations about items that the user was viewed. Item table consists of 11 columns: id, title, description, sale_price, publish_date, modified_date, sold_date, item_URL, currency_code, image_id, user-id. The table content is shown in Figure 17.

ID	TITLE	DESCRIPTION	SALE_PRICE	SH_D	MODIFIED_DATE	D_D	ITEM_URL	CURRENCY_C	IMAGE_ID	USER_ID
	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre	Filtre
1	386018089	Authentic Louis V Twin Bag...	250.0	0	1565085968000	0	http://p...	EUR	946174507	746g5r7mje
2	415683529	huawei p20 lite UN MOVIE BU...	170.0	0	1571435628000	0	http://p...	EUR	1068524567	8u6q4hrcny
3	416324203	Rapunzel grande y bon...	15.0	0	1571911294000	0	http://p...	USD	1070505453	g0j2angq4y
4	430985598	Computer bag Brand Hello...	8.0	0	1574000623000	0	http://p...	EUR	1118144129	g0j2angq4y

Figure 17. Wallapop-app.db Item Table content

Table 5. Wallapop-app.db Item Table data structure

Column Name	Content
Id	unique number information of the product (Item_id)
Title	Information of the product (categorical name of the product)

Description	Product description of the product vendor
Sale_Price	Specified price information of the product in question
Publish_Date	Product release date information
Modifies_Date	Information about when a change has been made to the product
Sold_Date	Date of sale
İtem_URL	URL of product sales page
Currency_Code	The currency in which the product is sold
İmage Id	Photo URL address of product
User_Id	Vendor user id information in the application

The information contained in the columns in the table is shown in Table 5. In the Item table, we can find a lot of information about the products the user is interested in. With this data we can obtain important information about the products the user is interested in and the products of interest. For example, the user has looked at a product with the title Rapuncel, and the ID of the vendor of that product has also been reached. When the given table and figure are examined, it can be said that informations gathered from this table have a digital quality for digital investigations.

When we look at line 1 in the table given in Figure 16, we can find out which category the product belongs to from id number. In the title field, we can see the product was found to be entitled “Authentic Louis Vuitton Twin Bag. Here, the product can be obtained with the brand. With sale_price, you can get price information for the product. Modified date is 1565085068000 in table. When we convert this timestamp information, we can see that the posting was last modified on Tuesday, August 6, 2019 09:51:08. Item_URL includes http://p.wallapop.com/i/386018089?_pid=wi&uid=279296196. When we use this url, we get the sales page of the mentioned bag. The User Id indicates that the bag vendors user id is 7v6gl5rlrmje. (By default, 0 is placed in the Publish / Sold Date columns.)

4.2.4. Item Categories Table

The Item categories table contains the id numbers of the products the user looks at and corresponds with, and which category the product numbers correspond to. This table consists of the Item_id and Category_id columns. Figure 18 shows the Item categories table.

ITEM_ID	CATEGORY_ID
Filtre	Filtre
415683529	16000
386018089	12465
416324203	12461
430985598	15000

Figure 18. Wallapop-app.db Item Categories table view

The information contained in the columns is given in Table 6. Referring to the table given in Figure 17, the product ID of the product involved in a forensic event on the application can be categorically identified which ID number corresponds to. In the case of a forensic examination, if there is not enough information in the category information of the product, more content can be found in the product table by using the product_id number. Or, if there is not enough information in the product table in reverse, the item categories table can be used to obtain the product categorical id number and additional information can be found in the category table.

Figure 17 shows that item_id number is 415683529 in the first line. This id is shown to be 16000 in the category_id number. When looking at the Categories table, it was found that the product is in the Cell phones & Accesories category.

Table 6. Wallapop-app.db Item Categories table data structure

Column Name	Content
Item_Id	Unique number of product the user has looked at on the application
Category_Id	Unique categorical number of the product the user has looked at on the application

4.2.5. Item_Images Table

ITEM_ID	IMAGE_ID
Filtre	Filtre
415683529	1068524577
415683529	1068524567
415683529	1068513102
415683529	1068499710
415683529	1068522557
415683529	1068513106
415683529	1068514961

Figure 19. Item_Images table view

The Item_Images table contains the id numbers of the products the user is looking at,

corresponding with, and which photo id number of those product numbers. Item_images table consists of 2 columns, item_id and image_id. This table view is shown in Figure 19.

By looking at the table, the product id number of the product photo can be obtained from the product id number of the product involved in a forensic event, and then we can obtain more information from the forensic examination based on the photo links with other tables. Or vice versa, the product id number can be easily seen from the item_images table and the product id number corresponds to the product id number, and more digital evidence is obtained by looking at the other information in the product table.

4.2.6. Location Table

The Location table contains information about the locations of the products the user corresponded with on the application. Location table consists of 8 columns: id, approximate_latitude, approximated_longitude, Km_error, City, Zip, instance_from_you, currency code. The information contained in the columns is shown in Table 7.

By looking at the “Location” table, we can access location information about the product or vendor involved in a forensic event on the application. In addition, we can reach the seller's city information, latitude and longitude values, and distance from us in kilometers. Thus, with the obtained address information, many digital data can be used.

Table 7. Location table data structure

Column Name	Content
Id	Unique id for location
Approximated_latitude	The latitude position of the advertised product
Approximated_longitude	The longitude position of the advertised product
Km_error	Error rate in Km
City	In which city the advertised product is located
Zip	City postal code / area code
Instance_from_you	How far the product is from the user viewing the product
Currency_code	Currency used by cities

4.2.7. User Table

The User table is a table that contains information about the user. The User table contains information about the person using the application, as well as the contacts the user communicates with. The table contains User_Id, Legacy-Id, Micro-Name, Birth_Date, Image-Id, Location_Id, Sold_Count, Selling_Count, Received_Reviews_Count, _Verified_Status, Scoring_Stars, Verification_Level, Gender, Banned, Online, Favorites_Count, Purchased_Count, and Notification_Read_Pending_Count_Count columns. Table contents are shown in Table 8.

User table is a table where critical forensic data about the user can be obtained. The user's birth date, mail account and many detailed information showing the user's activity in the application can be accessed through this table.

4.3. Wallapop-Chat.Db

Wallapop-Chat.db contains messages on the application and information about messaging. It is the most important database file in terms of digital forensics. Instead of communicating through the instant messaging application, users can use these applications for private messaging. Therefore, the application that appears innocent can be used as a tool for criminals. In the examination made with commercial software, no message content related to chat processes could be reached. Wallapop-Chat.db basically consists of 2 tables, Chat-message and Conversation.

Table 8. User table data structure

Column Name	Content
Id	Unique user id
Legacy_Id	If available, the old id number
Micro_Name	User name
Birth_Date	Birthdate of the user
Image_Id	Profile photo id
Location_Id	Location information
Sold_Count	Number of products he/she sold
Selling_Count	Number of products on sale
Received_Reviews_Count	Number of comments received
E-Mail_Verified_Stat	E-mail verification status (1 or 0)
us	
Scoring_Stars	Number of stars users receive on the application
Gender	User's gender (1 or 0)
Banned	Users' ban status
Online	Online status of users (online 1, offline 0)

Favorites_Count	Favorite users number
Purchased_Count	Number of products purchased
Notification_Read_Pending_Count	Number of pending notifications to read
Verification_Level	Verification levels of users

4.3.1. Chat-message Table

The chat-message table contains information about the messages on the application. This table consists of 8 columns: id, stanza_id, from_user_id, to_user_id, thread, body, time, status. The chat-message table is shown in Figure 20.

Figure 20. Chat-Message table in Wallapop-chat.db

Table 9. Chat-Message table data structure

Column Name	Content
Id	The numerical structure that increases with every new registry (set by SQLite)
From_User_Id	Message sender id
To_User_Id	Message receiver id
Thread	The number of the message header
Body	Message body
Time	Information when the message was created, when it was sent
Status	Number of messages in the messaging area / page

The information contained in the columns is shown in Table 9. If there is messages only written by user, the status column set to 1.

4.3.2. Conversation Table

The Conversation table holds information about which product the conversations / messages are about, the date of creation of the last message, the format of the message. This table consists of 7 columns: id, legacy_id, user_id, item_id, message_read_pending_count, last_message_create_date, message_media_type. The information contained in these columns is given in Table 10.

Table 10. Conversation table data structure

Column Name	Content
Id	Conversation_id
Legacy_Id	Legacy id of message
User_Id	The user number of the messaging users on the application
Item_id	Product id information indicating which product the messaging is for
Message_Read_Pending_Count	Number of messages waiting to be read
Last_Message_Create_Date	Date when the message was last created
Message_Media_Type	Data type of message

4.4. Analysis of Session Information

Mparticle.db stores data about sessions opened on the application. Mparticle.db consists of 3 tables: messages, session and sqlite sequence. By means of these tables, content that can be considered as forensic evidence such as the user's activity on the application, when he / she logs off, and the duration of the session can be obtained. For this purpose, the tables in the database file should be examined in detail.

4.4.1. Messages Table

Message table consists of 6 columns: id, session_id, api_key, message, upload_status, message_time. This table generally includes information such as session time, session content, session id. The visual representation of the Messages table is shown in Figure 21.

Figure 21. Messages table in Mparticle.db

It is seen in Figure 21 that there are user data in the table. The Messages column contains the id of the session information, the product category, the item id, the title of the product being viewed. This information is variable for each row.

Because each session has different activities. The data structure of the data held in the columns is given in Table 11.

Table 11. Messages table data structure

Column Name	Content
Id	Row ids
Session_Id	Unique number for sessions
Api-Key	Api_key of the application
Message	Contains information about the content of the sessions.
Upload_Status	Upload state information (number)
Message_Time	Time of sessions

4.4.2. Sessions Table

The Sessions table contains the start and end times of sessions, id numbers, application and device information from which the session was opened. Id, session_id, api_key, start_time, end_time, session_length, app_info, device_info are the columns. Table content is shown in Figure 22.

Figure 22. Session table in Mparticle.db file

There are many fields of user data in the table. Information may be obtained from these fields as evidence. Specifically, the usage period of the application and the start and end times of the application session are evidence. Content information is given in Table 12.

Table 12. Sessions Table data structure

Column Name	Content
Id	Row ids
Session_Id	Unique number for sessions
Api_key	Api_key of the application
Start_Time	Session start time
End_Time	Session end time
Session_Length	Total time of the session
App_Info	Information about the application
Device_Info	Information about the device

Device_info provides information about the device on which the application is installed.

4.4.3. SQLite Sequence Table

The “SQLite sequence” table holds the number of rows in the sessions and messages tables. The table consists of 2 columns: “Name” and seq. The Name column holds the names of the Messages and sessions tables. The Seq column contains the number of lines that the Messages and sessions tables have.

5. Log and Cache Analysis

The accuracy of the data in the application is confirmed by log examinations. There are important files related to log and cache in the “data / data / com.wallapop / files” directory in the device storage of the Wallapop application. AppEventsLogger, pending_events_queue files contain data that can be considered as evidence. Cache information of the application was reached in the Cache folder. Cache records the operations performed on the application, viewed product photos and content about the internet. Even if the user deletes some contents from the device, the contents have been reached by cache analysis.

5.1. AppEventsLogger

“data / data / com.wallapop / files / appeventlogger.persistedevents” file has been observed to have records of an ongoing event on the application. From these records, the name of the event and the time information were obtained. In addition, it was found that the event name was encrypted with md5 encryption method. The information found is shown in Figure 23.

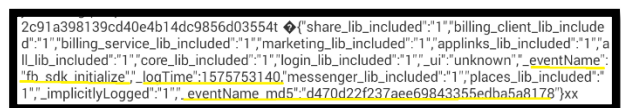


Figure 23. AppEventesLogger file

In the figure, when the value held by eventName_md5 is converted with md5 converter, this event name was found to be fb_sdk_initialize. The time stamp information that logTime holds is translated with timestamp converter and it is reached that the real time is 08/12/2019 00:12:20.

5.2. Pending Event Records

In the file “data/data/com.wallapop/files/pending_events_queue_e65vevn182jo”, the user's recorded information about pending events has been reached (e65vevn182jo is user id). This file contains information about the message sent. The available data are shown in Figure 24.

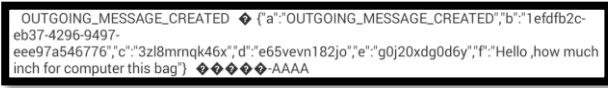


Figure 24. pending_events_queue file

Figure 24 provides information about an outgoing message. Here, “a” is pending event information, “b” is stanza_id, “c” is conversation_id (thread), “d” is sender id, “e” is message id and “f” is message text.

5.3. Photo Caches

The cache information is located in the file path “data/data/com.wallapop/cache/image_manager_disk_cache”. The photos of the products viewed on the application were recorded with different names. In addition to the saved photo files, a journal file has been created for these photo files. An example of a cached photo is shown in Figure 25.

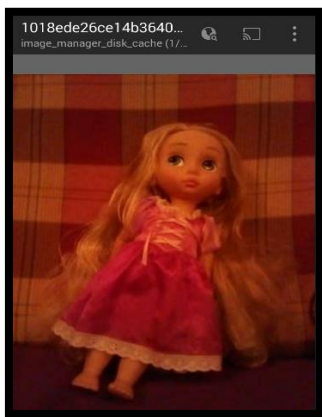


Figure 25. photo obtained from cache

The photograph shown in the Figure 25 is a product that the user has looked at on the application. In addition, the user has contacted the product vendor for this product. More information about the product can be found in the message, item and categories tables.



Figure 26. Content of image_manager_disk_cache/journal

Figure 26 shows some of the contents of the log for photograph caches. It is understood from the name of the file that the first 3 lines are recorded for the photograph shown in Figure 26. It is observed that “dirty”, “clean” and “read” commands are used. “DIRTY” indicates that a new entry has been made to the log file, “CLEAN” indicates that an entry has been successfully added and accessible in the log file, and “READ” indicates that the added entry is readable.

5.4. Okhttp Caches

Okhttp is used to send and receive http requests to the web server. The okhttp file saved in the application contains the cache data related to okhttp. A separate file is saved in this folder for each okhttp information. In addition to the files saved in the folder, there is also a journal file.

5.5 Last Visited Product Information

In the file “data/data/com.wallapop/locale_last_visited_item.json” the category number, url content information and flag information of the last viewed product are given in the application. Figure 27 shows the contents of this file.

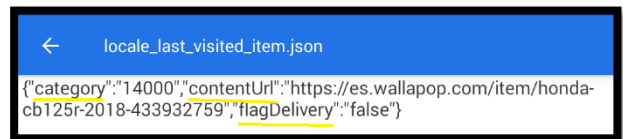


Figure 27. Information of last reviewed product

The latest product in the application is a Honda cb125r 2018 model motorcycle. It is observed that the product category is 14000 aka motorbike.

5.6 Recently Searched Product Information in Searches Area

In the “data/data/com.wallapop/recent_searches.json” file, information about what the searched products are, what category they are in, how they were written when searching, and what the spelling suggestion is, if it is misspelled, were found. Figure 28 shows the contents of the file for the product being searched.

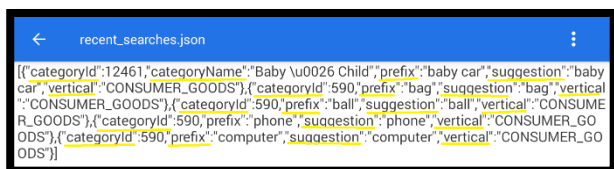


Figure 28. Contents of recent_seraches.json file

Table 13 shows what the marked fields in the content of “recent_searches.json” mean.

Table 13. Information and descriptions kept in the “recent_searches.json” file

Parameter	Data information
Category_Id	ID of the searched product
Category_Name	Name of the searched product
Prefix	Prefix of the searched product
Suggestion	Suggestion of the searched product
Vertical	By default, customer property is written

6. CONCLUSION

Forensic investigations are concerned with obtaining the data of users from digital evidences by appropriate methods and reporting them to be submitted to the legal process. The first stage of forensic investigations is the process of acquiring data from digital material. It aims to investigate and reveal the contents of the offender's material that may constitute a criminal element. Therefore, all system, application and user contents on their devices are examined. In this study, user data left on mobile device of Wallpop application used for second hand trading on android operating system was analyzed. Since application data cannot be detected by commercial review software, it has been shown that manual review is required. The findings have an important function in judicial processes. Communication architecture of the application, user permissions, user data stored in

References

- [1] B. Deebak and H. Zahmatkesh, “Forensic analysis in social networking applications”, in *Security in IoT Social Networks*, Elsevier, 2021, pp. 133-147.
- [2] X. Zhang, F. Breitingner, E. Luechinger, and S. O'Shaughnessy, “Android application forensics: A survey of obfuscation, obfuscation detection and deobfuscation techniques and their impact on investigations,” *Forensic Science International: Digital Investigation*, vol. 39, p. 301285, 2021.
- [3] P. C. Rubio and J. L. Micó, “Communications strategies in the new economy: the case studies of wallpop, westing and fotocasa/La planificacion estrategica de la comunicacion en la era digital. Los casos de studio de Wallpop, Westing y Fotocasa/ Planificacao estrategica da comunicacao na era digital. os casos dos estudos de wallpop, westwing e fotocasa,” *Vivat Academia*, no. 147, pp. 125-139, 2019.

database files, log and cache memory traces are explained. Wallpop.db, Wallpop-chat.db, Wallpop-app.db and Mparticle.db files hold important data. Wallpop.db provides access to the categorical classification of products and information on the currency of the products. The Wallpop-chat.db file has been shown to hold data specifically related to in-app communication. With this file, it has been shown that important contents are obtained in offenses such as insults, illegal correspondence and concealment of communication. With the Wallpop-app.db file, information about the products and users on the application was reached. The Mparticle.db file contains data about the session information and location information on the application. Important information for forensic investigations, such as when the application was opened / closed and how long it was used was obtained. In addition to database files, important information belonging to the user has been reached in cache and log files. In particular, data such as last searched, examined product, picture of the examined product are shown. The results presented by the study provide an important reference in the analysis and interpretation of the Wallpop application on android mobile devices. It is planned to examine how the evidence left by the application can be analyzed in IOS devices in future studies.

Contributions of the authors

All authors contributed equally to the study.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The study is complied with research and publication ethics

- [4] E. Hernández Padilla, "Análisis de wallapop y su competencia," 2019.
- [5] G. C. Schipper, R. Seelt, and N.-A. Le-Khac, "Forensic analysis of Matrix protocol and Riot. im application," *Forensic Science International: Digital Investigation*, vol. 36, p. 301118, 2021.
- [6] A. Mahr, M. Cichon, S. Mateo, C. Grajeda, and I. Baggili, "Zooming into the pandemic! A forensic analysis of the Zoom Application," *Forensic Science International: Digital Investigation*, vol. 36, p. 301107, 2021.
- [7] A. Saxena, J. Walker, and V. Kulkarni, "Forensic Analysis on Kindle and Android," in *Digital Forensic Education*, Springer, 2020, pp. 155-174.
- [8] H. Kim, D. Kim, W. Jo, and T. Shon, "Digital Forensic Analysis using Android Application Cache Data," in *2019 International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon)*, 2019, pp. 1-4.
- [9] A. Karahoca, D. Karahoca, and S. K. Bağırıcı, "Forensic benchmarking for android messenger applications," *Technology*, vol. 10, no. 01, pp. 926-934, 2019.
- [10] S. Idowu, E. D. Dominic, S. Okolie, and N. Goga, "Security Vulnerabilities of Skype Application Artifacts: A Digital Forensic Approach," 2019.
- [11] J. Zhang, E. Chengyuan, and A. Hu, "A Method of Android Application Forensics Based on Heap Memory Analysis", in *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Application Engineering*, 2018: ACM, p. 186.
- [12] L. Zhang, F. Yu, and Q. Ji, "The forensic analysis of WeChat message," in *2016 Sixth International Conference on Instrumentation & Measurement, Computer, Communication and Control (IMCCC)*, 2016, pp. 500-503.
- [13] K. Pettersson, "Android Messaging Investigator: Forensic text analysis tool for SMS, Kik and Hangouts conversations", 2018.
- [14] V. Agrawal and S. Tapaswi, "Forensic analysis of Google Allo messenger on Android platform", *Information & Computer Security*, vol. 27, no. 1, pp. 62-80, 2019.
- [15] E. Akbal, I. Baloglu, T. Tuncer, and S. Dogan, "Forensic analysis of BiP Messenger on android smartphones", *Australian Journal of Forensic Sciences*, pp. 1-20, 2019.
- [16] D. Hintea, A. Sangins, and R. Bird, "Forensic Analysis of the Telegram Instant Messenger Application on Android Devices", in *European Conference on Cyber Warfare and Security*, 2018: Academic Conferences International Limited, pp. 217-XII.
- [17] T. Y. Yang, A. Dehghantanha, K.-K. R. Choo, and Z. Muda, "Windows instant messaging app forensics: Facebook and Skype as case studies," *PLoS one*, vol. 11, no. 3, p. e0150300, 2016.
- [18] S. Hutchinson and U. Karabiyik, "Forensic Analysis of Spy Applications in Android Devices", 2019.
- [19] S. Wu, Y. Zhang, X. Wang, X. Xiong, and L. Du, "Forensic analysis of WeChat on Android smartphones", *Digital investigation*, vol. 21, pp. 3-10, 2017.
- [20] H. Zhang, L. Chen, and Q. Liu, "Digital Forensic Analysis of Instant Messaging Applications on Android Smartphones", in *2018 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*, 2018, pp. 647-651.
- [21] M. N. Yusoff, A. Dehghantanha, and R. Mahmud, "Forensic investigation of social media and instant messaging services in Firefox OS: Facebook, Twitter, Google+, Telegram, OpenWapp, and Line as case studies", in *Contemporary Digital Forensic Investigations Of Cloud And Mobile Applications*, Elsevier, 2017, pp. 41-62.
- [22] T. Y. Yang, A. Dehghantanha, K.-K. Choo, and Z. Muda, "Investigating America Online instant messaging application: data remnants on Windows 8.1 client machine", in *Contemporary Digital Forensic Investigations Of Cloud And Mobile Applications*, Elsevier, 2017, pp. 21-39.
- [23] C. Anglano, M. Canonico, and M. Guazzone, "Forensic analysis of the chatsecure instant messaging application on android smartphones", *Digital investigation*, vol. 19, pp. 44-59, 2016.
- [24] C. Sgaras, M. Kechadi, and N.-A. Le-Khac, "Forensics Acquisition and Analysis of instant messaging and VoIP applications", *arXiv preprint arXiv:1612.00204*, 2016.
- [25] T. Dargahi, A. Dehghantanha, and M. Conti, "Forensics Analysis of Android Mobile VoIP Apps", in *Contemporary Digital Forensic Investigations Of Cloud And Mobile Applications*, Elsevier, 2017, pp. 7-20.
- [26] A. P. Kuncoro, I. Riadi, and A. Luthfi, "Mobile Forensics Development of Mobile Banking Application using Static Forensic", *International Journal of Computer Applications*, vol. 975, p. 8887, 2017.

- [27] R. Umar, I. Riadi, and G. M. Zamroni, "Mobile forensic tools evaluation for digital crime investigation", *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 949-955, 2018.
- [28] T.-I. Kitsaki, A. Angelogianni, C. Ntantogian, and C. Xenakis, "A forensic investigation of Android mobile applications", in *Proceedings of the 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics*, 2018, ACM, pp. 58-63.
- [29] J. Sablatura and U. Karabiyik, "Pokémon go forensics: An android application analysis", *Information*, vol. 8, no. 3, p. 71, 2017.
- [30] M. Shariati, A. Dehghantanha, and K.-K. R. Choo, "SugarSync forensic analysis", *Australian Journal of Forensic Sciences*, vol. 48, no. 1, pp. 95-117, 2016.
- [31] A. Azfar, K.-K. R. Choo, and L. Liu, "An android social app forensics adversary model", in *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 2016, pp. 5597-5606.

Spinor Q-Equations in Lorentzian 3-space \mathbb{E}_1^3

Doğan ÜNAL^{1*}

¹Kırklareli University, Faculty of Engineering, Department of Software Engineering, Kırklareli, Turkey

(ORCID: [0000-0001-5480-2998](https://orcid.org/0000-0001-5480-2998))



Keywords: Clifford Algebras, Hyperbolic Spinors, Q-Frame, Lorentz Space.

Abstract

In this paper, hyperbolic spinor representations of space curves are studied according to the q-frame in \mathbb{E}_1^3 . The spinor formulations of curves are calculated for the q-frame according to the spacelike and timelike tangent vector cases of the curves in \mathbb{E}_1^3 . Moreover, the relationships of spinor equations between q-frame and Frenet frame in Lorentz space are expressed. The results are supported with some theorems.

1. Introduction

Spinors, as two-component complex column vectors, were discovered by E. Cartan during his researches on linear representations of groups in 1910 [1]. A geometrical interpretation of spinors is based on 3-dimensional Cartesian space with three complex-valued components. The usage of geometrical notions in physics seems clearly in particular physics so that bosons and fermions are described by spinors while bosons are only characterized by tensors [2]. $Spin(2)$, and $Spin(3) = SU(2)$ as special cases of special unitary groups are composed by spinors algebra and the Pauli matrices admit to present a clearer characterization of three-dimensional real space rotation rather than the classic definition [3].

Geometrical notions such as curves, and surfaces represented by spinors are available in literature. In particular, spinor modelling of curves was firstly put forward by Castillo et al. by means of Frenet frame vectors in Euclidean 3-space [4]. Then from the point of view of Bishop frame called also as alternative frame, spinor representation was examined in the study [5]. Spinor analysis of Darboux frame on oriented a surface and its relationship with some types of tetrads such as Frenet and Darboux frames were studied in [6].

Lorentz space is a great important setting in which the relativity theory is established in physics. Geometrical studies of the notion spinors were taken into consideration as in the following

works. By means of hyperbolic spinor representation stemmed from the different structure of Lorentz 3-space, non-null regular curves were characterized in the research [7]. The spinor analysis of Darboux frame for non-null curves lying in non-degenerate surface was given in the same space by the work [8].

The quasi-normal vector of a space curve was defined for construction of three-dimensional offset curves by Coquillart [9]. The definition of the quasi-normal vector is as follows: for each point of the curve, the vector lies in the plane perpendicular to the tangent of the curve at this point [10]. The q-frame along a space curve was proposed in Euclidean 3-space by means of the quasi-normal vector [11]. The quasi frame fields along space curves were also studied in Lorentz 3-space in the work [12]. Some advantages of using the q-frame are related to curves to be lines, that is, their first curvatures vanish, in this condition, the q-frame can be constructed, and also the q-frame does not change even though curves to be unit or non-unit speed ones.

The motivation of our study is to characterize hyperbolic spinor representations of space curves in 3-dimensional Lorentz space according to q-frame and to research the differences between q-frame and Frenet frame from the spinor point of view. Accordingly, our investigation consists of two parts occurred because of the causal characters of space curves in Lorentz space. The derivative formulas of q-frame

*Corresponding author: doganunal@klu.edu.tr

Received: 12.11.2021, Accepted: 7.01.2022

in terms of hyperbolic spinors are provided to represent the oriented triad of q-frame. The relationship between Frenet and q-frame formulas have been obtained with respect to the hyperbolic rotation angles relative to each frame by using hyperbolic spinors representations of Frenet and q-frames. Thus, it is aimed to use the advantages of q-frame in future studies.

2. Preliminaries

The Lorentzian space is equipped with the standard metric that is

$$g(u, v) = u_1v_1 + u_2v_2 - u_3v_3, \tag{1}$$

where $u = (u_1, u_2, u_3)$ and $v = (v_1, v_2, v_3)$ are two arbitrary vectors in \mathbb{E}_1^3 . If $g(u, u) > 0$ or $u = 0$, $g(u, u) < 0$ and $g(u, u) = 0$ ($u \neq 0$), the vector $u \in \mathbb{E}_1^3$ is called spacelike, timelike and lightlike (null) vectors, respectively. From the Eq. (1) the norm of the vector $u \in \mathbb{E}_1^3$ is obtained like as below,

$$\|u\|_L = \sqrt{|g(u, u)|}. \tag{2}$$

For the same vectors u, v , Lorentzian cross product is defined by

$$u \wedge_L v = \begin{bmatrix} e_1 & e_2 & -e_3 \\ u_1 & u_2 & u_3 \\ v_1 & v_2 & v_3 \end{bmatrix}, \tag{3}$$

where $e_1 \wedge e_2 = e_3, e_2 \wedge e_3 = -e_1, e_3 \wedge e_1 = -e_2$, [13]. The tangent vector $\alpha'(s)$ of a space curve $\alpha(s)$ can be spacelike, timelike or null (lightlike) so the curve is called with these names [14]. If $\langle \alpha'(s), \alpha'(s) \rangle = \mp 1$, a non-null curve α is parameterized by arc-length parameter s [15].

The Frenet frame $\{t, n, b\}$ of a non-null curve in Lorentz space is given by

$$t = \alpha', \quad n = \frac{\alpha''}{\|\alpha''\|}, \quad b = \varepsilon_b(t \wedge n). \tag{4}$$

Additionally, the Frenet derivative formulas are expressed as

$$\begin{bmatrix} t' \\ n' \\ b' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \kappa & 0 \\ \varepsilon_b \kappa & 0 & \tau \\ 0 & \varepsilon_t \tau & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ n \\ b \end{bmatrix}, \tag{5}$$

where $\varepsilon_t = g(t, t)$, $\varepsilon_b = g(b, b)$ and κ, τ are the Lorentzian curvature and torsion functions, respectively [16].

The q-frame is an alternative way to defining a moving frame of a space curve with three orthonormal basis which are the unit tangent vector t , the quasi-normal n_q and the quasi-binormal vector b_q . The q-frame $\{t, n_q, b_q, k\}$ is expressed by,

$$t = \frac{\alpha'}{\|\alpha'\|}, \quad n_q = \frac{t \wedge k}{\|t \wedge k\|}, \quad b_q = t \wedge n_q, \tag{6}$$

where k is the projection vector which is chosen as $(0,1,0)$ spacelike or $(0,0,1)$ timelike. The q-frame has many dominances from other frames (Frenet, Bishop, Sabban) for characterizing a space curve. Such that the q-frame can be defined even when Lorentzian curvature vanished (along a line) and the space curve does not need to has unit speed for characterizing [12].

The q-frame derivative formulation in Lorentz space must be handled for two different cases which are the tangent vector of space curve is spacelike or timelike, seperately. In the case of tangent vector is spacelike (so quasi-normal or quasi-binormal is timelike), the derivative formulas of q-frame are expressed by

$$\begin{bmatrix} t' \\ n_q' \\ b_q' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \varepsilon_{n_q} k_1 & \varepsilon_{b_q} k_2 \\ -k_1 & 0 & \varepsilon_{b_q} k_3 \\ -k_2 & \varepsilon_{b_q} k_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ n_q \\ b_q \end{bmatrix}, \tag{7}$$

where $\varepsilon_{n_q} = \langle n_q, n_q \rangle$, $\varepsilon_{b_q} = \langle b_q, b_q \rangle$ and Lorentzian q-curvatures are

$$\begin{aligned} k_1 &= \kappa \cosh \theta, \quad k_2 = -\kappa \sinh \theta, \\ k_3 &= \varepsilon_{b_q}(d\theta + \tau). \end{aligned} \tag{8}$$

Also, the rotation matrix between Frenet frame and q-frame of a spacelike curve in Lorentz space can be given by the hyperbolic angle θ which is between the principal normal n and the quasi-normal n_q as follows:

$$\begin{bmatrix} t \\ n_q \\ b_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cosh \theta & \sinh \theta \\ 0 & \sinh \theta & \cosh \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ n \\ b \end{bmatrix}, \tag{9}$$

and

$$\begin{bmatrix} t \\ n \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cosh \theta & -\sinh \theta \\ 0 & -\sinh \theta & \cosh \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ n_q \\ b_q \end{bmatrix}, \quad (10)$$

where the projection vector $k = (0,1,0)$ is spacelike [17]. With this transformation, timelike vectors turn into timelike vectors, spacelike vectors turn into spacelike vectors [18]. Moreover, the Euler formula is expressed by

$$e^{j\theta} = \cosh \theta + j \sinh \theta, \quad (11)$$

for the hyperbolic rotation [19].

In the case that the curve has timelike tangent vector, the derivation formulation does not depend on projection vector being timelike or spacelike. Then the derivative formulas of q-frame are obtained by

$$\begin{bmatrix} t' \\ n_q' \\ b_q' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & k_1 & k_2 \\ k_1 & 0 & k_3 \\ k_2 & -k_3 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ n_q \\ b_q \end{bmatrix}, \quad (12)$$

where Lorentzian q-curvatures are defined by

$$k_1 = \kappa \cos \theta, k_2 = -\kappa \sin \theta, k_3 = d\theta + \tau, \quad (13)$$

where θ is the angle between the vectors which are the principal normal n and the quasi-normal n_q . Also, the rotation matrix between Frenet frame and q-frame of a timelike curve in Lorentz space is

$$\begin{bmatrix} t \\ n \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t \\ n_q \\ b_q \end{bmatrix}, \quad (14)$$

[12].

The group $U(n, \mathbb{H})$ is said to be hyperbolic unitary group which is established by Hermitian $n \times n$ matrices set. The subgroup $SO(1, 3)$ is a special Lorentzian group which is composed by Lorentzian transformation whose determinant is +1 [20]. The relation between the groups $SO(1, 3)$ and $SU(2, \mathbb{H})$ is a special one called as homomorphism. By means of this homomorphism, Hermitian matrices of the group $SU(2, \mathbb{H})$ serve as hyperbolic spinors while the elements of the subgroup $SO(1, 3)$ express vectors in Lorentz space [21].

A hyperbolic spinor can be defined as

$$\Psi = \begin{pmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \end{pmatrix}, \quad (15)$$

by means of three vectors $a, b, c \in \mathbb{E}_1^3$ such that

$$a + jb = \Psi^t \sigma \Psi, \quad c = -\widehat{\Psi}^t \sigma \Psi, \quad (16)$$

where $j^2 = 1$ and $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ is a vector whose cartesian components are the hyperbolic symmetric 2×2 matrices

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad \sigma_2 = \begin{pmatrix} j & 0 \\ 0 & j \end{pmatrix}, \\ \sigma_3 &= \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (17)$$

which are the products of the matrix

$$K = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (18)$$

by the Pauli matrices employed in physics [22].

If hyperbolic spinor $\widehat{\Psi}$ be the mate and $\bar{\Psi}$ be the conjugation of hyperbolic spinor Ψ . Then,

$$\begin{aligned} \widehat{\Psi} &= -\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \bar{\Psi} = -\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \bar{\Psi}_1 \\ \bar{\Psi}_2 \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} -\bar{\Psi}_2 \\ \bar{\Psi}_1 \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (19)$$

If it is chosen as $a + jb = (x_1, x_2, x_3)$, it is obtained from the Eq. (17) and (19)

$$\begin{aligned} x_1 &= \Psi^t \sigma_1 \Psi = \Psi_1^2 - \Psi_2^2, \\ x_2 &= \Psi^t \sigma_2 \Psi = j(\Psi_1^2 + \Psi_2^2), \\ x_3 &= \Psi^t \sigma_3 \Psi = -2\Psi_1 \Psi_2, \end{aligned}$$

where superscript t means transposition of hyperbolic spinor Ψ . Then,

$$\begin{aligned} a + jb &= \Psi^t \sigma \Psi \\ &= (\Psi_1^2 - \Psi_2^2, j(\Psi_1^2 + \Psi_2^2), -2\Psi_1 \Psi_2), \end{aligned} \quad (20)$$

is obtained. Likewise, it can be seen

$$\begin{aligned} c &= (c_1, c_2, c_3) \\ &= (\Psi_1 \bar{\Psi}_2 + \bar{\Psi}_1 \Psi_2, i(\Psi_1 \bar{\Psi}_2 - \bar{\Psi}_1 \Psi_2), |\Psi_1|^2 - |\Psi_2|^2). \end{aligned}$$

The norms $\|a\|_L = \|b\|_L = \|c\|_L = \bar{\Psi}^t \Psi$ are obtained by using the vector $a + jb$ which is an isotropic one, that is, $g(a + jb, a + jb) = 0$.

The equality $\bar{\Psi}^t \Psi' = \bar{\Psi}^t \Psi$ is satisfied for the equation $\Psi' = U\Psi$ such that a matrix $U \in$

$SU(2, \mathbb{H})$. It means that the norms of the vectors a', b', c' are equal to the ones of the vectors a, b, c , so that these two sets of the vectors correspond to Ψ' , and Ψ , respectively. Thus, all transformations from the orthogonal basis of \mathbb{E}_1^3 to another orthogonal basis of the same space are the elements of $SU(2, \mathbb{H})$.

The elements U , and $-U$ of $SU(2, \mathbb{H})$ match the same ordered set of \mathbb{E}_1^3 . This occurs because the transformation from $SU(2, \mathbb{H})$ to $SO(1, 3)$ is a two-to-one homomorphism. On the other hand, the sets $\{a, b, c\}$ performs to the spinor Ψ . So it can be expressed that the different ordered sets of \mathbb{E}_1^3 represent to the different hyperbolic spinors. But the same set can be shown by the spinors Ψ , and $-\Psi$. Then, the equalities below are satisfied for hyperbolic spinors ϕ and Ψ

$$\begin{aligned} \overline{\phi^t \sigma \Psi} &= -\hat{\phi}^t \sigma \hat{\Psi}, \\ a\overline{\phi} + b\overline{\Psi} &= \bar{a}\hat{\phi} + \bar{b}\hat{\Psi}, \\ \hat{\Psi} &= -\Psi, \end{aligned} \tag{21}$$

where a and b are hyperbolic numbers [23]. Moreover, the ordered sets $\{a, b, c\}, \{b, c, a\}, \{c, a, b\}$ represent different hyperbolic spinors. The following equation is satisfied for any pair of hyperbolic spinors ϕ and Ψ

$$\phi^t \sigma \Psi = \Psi^t \sigma \phi, \tag{22}$$

where the matrices σ (given by the Eq. (17)) are symmetric.

3. Spinor Q-Equations in \mathbb{E}_1^3

In this section of the study, it is obtained that the hyperbolic spinor representations of spacelike and timelike curves according to q-frame and the relationships of these representations between q-frame and the Frenet frame of the spacelike and timelike curves in \mathbb{E}_1^3 , separately.

3.1. Hyperbolic Spinor Q-Equations of Spacelike Curves

Let $\alpha: I \rightarrow \mathbb{E}_1^3$ be a spacelike curve and $\{n, b, t\}$ be Frenet vector fields in \mathbb{E}_1^3 . It is known that

$$n + jb = \Psi^t \sigma \Psi, \quad t = -\hat{\Psi}^t \sigma \Psi, \tag{23}$$

equations of Frenet frame are obtained as

$$\frac{d\Psi}{ds} = \frac{1}{2} (-j\tau\Psi + \varepsilon_b \kappa \hat{\Psi}), \tag{24}$$

where Ψ is a hyperbolic spinor which is represent Frenet frame, $\bar{\Psi}^t \Psi = 1$ and κ, τ is Lorentzian curvature and torsion of the spacelike curve α , respectively [24].

On the other hand, it is chosen that the q-frame $\{n_q, b_q, t\}$ of the spacelike curve in \mathbb{E}_1^3 corresponds to the hyperbolic spinor ϕ . Then, it can be written as

$$n_q + jb_q = \phi^t \sigma \phi, \quad t = -\hat{\phi}^t \sigma \phi, \tag{25}$$

where $\bar{\phi}^t \phi = 1$. If $\frac{d\phi}{ds}$ means the change of the q-frame along the spacelike curve, differentiating the first equation in the Eq. (25) and considering the Eq. (7), it is obtained

$$\begin{aligned} -k_1 t + \varepsilon_{b_q} k_3 b_q + j(-k_2 t + \varepsilon_{b_q} k_3 n_q) \\ = \left(\frac{d\phi}{ds}\right)^t \sigma \phi + \phi \sigma \left(\frac{d\phi}{ds}\right). \end{aligned} \tag{26}$$

Since the set $\{\phi, \hat{\phi}\}$ composes a basis for the hyperbolic spinors, the following equation

$$\frac{d\phi}{ds} = f\phi + g\hat{\phi}, \tag{27}$$

is achieved where f and g are two arbitrary hyperbolic functions. Then, considering the Eqs. (25), (26) and (27), it is obtained

$$f = -\frac{j}{2} \varepsilon_{b_q} k_3, \quad g = \frac{1}{2} (k_1 + j k_2). \tag{28}$$

Thus, the following theorem can be given with the aid of the Eq. (27) and (28).

Theorem 1. Let the hyperbolic spinor ϕ represents the q-frame $\{n_q, b_q, t\}$ of the spacelike curve α in Lorentz space \mathbb{E}_1^3 . The q-frame derivative equations are given via a hyperbolic spinor as

$$\frac{d\phi}{ds} = -\frac{j}{2} \varepsilon_{b_q} k_3 \phi + \frac{1}{2} (k_1 + j k_2) \hat{\phi}, \tag{29}$$

where k_1, k_2 and k_3 are q-curvatures of the spacelike curve.

Other than this, if it is approached the relationship between the spinors Ψ and ϕ , considering the Eq. (9), it is obtained

$$\begin{aligned} t &= t \\ n_q &= n \cosh \theta + b \sinh \theta, \\ b_q &= n \sinh \theta + b \cosh \theta \end{aligned}$$

and

$$n_q + j b_q = (n + j b)(\cosh \theta + j \sinh \theta). \quad (30)$$

From the Eqs. (23), (25) and (30), it can be seen that

$$\begin{aligned} \phi^t \sigma \phi &= e^{j\theta} (\Psi^t \sigma \Psi), \\ t &= t. \end{aligned} \quad (31)$$

Then, it is given by the following theorem:

Theorem 2. The relationships of the hyperbolic spinor formulas between q-frame and Frenet frame of the spacelike curve are

$$\begin{aligned} \phi^t \sigma \phi &= e^{j\theta} (\Psi^t \sigma \Psi), \\ t &= t. \end{aligned}$$

where $e^{j\theta} = \cosh \theta + j \sinh \theta$ and the spinors Ψ and ϕ represent the Frenet frame $\{n, b, t\}$ and q-frame $\{n_q, b_q, t\}$, respectively.

Lemma 1. Let $\alpha: I \rightarrow \mathbb{E}_1^3$ be a spacelike curve in Lorentz space \mathbb{E}_1^3 and the angle θ be hyperbolic rotation angle between the triads $\{n, b, t\}$ and $\{n_q, b_q, t\}$. Then, the hyperbolic rotation angle is also same between the hyperbolic spinors $\Psi^t \sigma \Psi$ and $\phi^t \sigma \phi$. Furthermore, the hyperbolic rotation angle is equal to $\theta/2$ between the hyperbolic spinors Ψ and ϕ .

Proof. For the isotropic vector $n + j b = (1, j, 0)$, the following equation can be written from the Eq. (20)

$$\begin{aligned} n + j b &= (a_1, a_2, a_3) = \Psi^t \sigma \Psi \\ &= (\Psi_1^2 - \Psi_2^2, j(\Psi_1^2 + \Psi_2^2), -2\Psi_1 \Psi_2), \end{aligned} \quad (32)$$

and

$$\Psi_1 = \mp \sqrt{\frac{a_1 + j a_2}{2}}, \quad \Psi_2 = \mp \sqrt{\frac{-a_1 + j a_2}{2}}, \quad (33)$$

are obtained. Then, it can be calculated the hyperbolic spinor Ψ corresponds to the triad $\{n, b, t\}$ as $\Psi = (\Psi_1, \Psi_2) = (\pm 1, 0)$. So, the triad

$\{n, b, t\}$ is rotated with the hyperbolic angle θ . From the Eq. (9), it can be written

$$\begin{aligned} n_q &= n \cosh \theta + b \sinh \theta, \\ b_q &= n \sinh \theta + b \cosh \theta. \end{aligned}$$

with the aid of the Eq. (30), since the hyperbolic spinor Ψ rotates to the hyperbolic spinor ϕ when the Frenet frame $\{n, b, t\}$ rotates to the q-frame $\{n_q, b_q, t\}$, it is obtained

$$\begin{aligned} n_q + j b_q &= (n + j b) e^{j\theta} \\ &= (a_1, a_2, a_3) e^{j\theta} = \phi^t \sigma \phi \\ &= (\phi_1^2 - \phi_2^2, j(\phi_1^2 + \phi_2^2), -2\phi_1 \phi_2) \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \mp e^{j\theta/2} \sqrt{\frac{a_1 + j a_2}{2}}, \\ \phi_2 &= \mp e^{j\theta/2} \sqrt{\frac{-a_1 + j a_2}{2}}. \end{aligned} \quad (34)$$

Then, it can be written

$$\phi_1 = \mp e^{j\theta/2}, \quad \phi_2 = 0.$$

and

$$\begin{aligned} \phi &= (\phi_1, \phi_2) = (\mp e^{j\theta/2}, 0) \\ &= e^{j\theta/2} (\mp 1, 0) = e^{j\theta/2} \Psi. \end{aligned} \quad (35)$$

So, the hyperbolic rotation angle is equal to $\theta/2$ between the hyperbolic spinors Ψ and ϕ .

3.2. Hyperbolic Spinor Q-Equations of Timelike Curves

Let $\alpha: I \rightarrow \mathbb{E}_1^3$ be a timelike curve and $\{n_q, b_q, t\}$ be the q-frame of timelike curve in Lorentz space. Then, for the hyperbolic spinor λ which represents q-frame $\{n_q, b_q, t\}$, it is written

$$n_q + j b_q = \lambda^t \sigma \lambda, \quad t = -\hat{\lambda}^t \sigma \lambda$$

where $\bar{\lambda}^t \lambda = 1$. Differentiating the first part of last equation and from the equation of $\frac{d\lambda}{ds} = m\lambda + n\hat{\lambda}$, it can be obtained

$$(k_1 + jk_2 + 2n)t - (jk_3 + 2m)n_q + (k_3 - j2m)b_q = 0 \quad (36)$$

and

$$m = -\frac{jk_3}{2}, \quad m = \frac{jk_3}{2}, \quad n = -\frac{k_1 + jk_2}{2}.$$

where m, n are two hyperbolic functions. In this case, it can be seen as $m = 0$ and so $k_3 = 0$. From here, it can be given with the following theorem:

Theorem 3. Let the hyperbolic spinor λ represents q-frame triad $\{n_q, b_q, t\}$ of the timelike curve in Lorentz space \mathbb{E}_1^3 . The q-frame derivative equations are given via a hyperbolic spinor as

$$\frac{d\lambda}{ds} = -\frac{1}{2}(k_1 + jk_2)\hat{\lambda} \quad (37)$$

where $k_3 = 0$. Then, q-frame $\{n_q, b_q, t\}$ turns into the Bishop frame [24].

Remark 1. If a timelike space curve represents by hyperbolic spinor via q-frame in Lorentz space \mathbb{E}_1^3 has a vanishing of third q-curvature k_3 , then the q-frame turns into the Bishop frame.

4. Conclusion

The spinors play an important role in Mathematics and Physics. These two-component complex column vectors render possible to describe some notions like as fermions. Spinors are characterized by a projective representation of the rotation group in Geometry. It is seemed to increase also the

studies on spinors from many different fields recently. The representations of this notion can also be used to give the characterizations of space curves according to Frenet and Bishop frames in Euclidean and Lorentz 3-spaces.

In this study, we handled the spinor representation of a space curve according to q-frame in \mathbb{E}_1^3 , so this is a hyperbolic spinor representation. This frame can be defined even when Lorentzian curvature vanished (along a line) and the space curve does not need to have unit speed for characterization. We firstly defined the q-frame $\{n_q, b_q, t\}$ of the spacelike curve in \mathbb{E}_1^3 which corresponds to the hyperbolic spinor ϕ . Then, we obtained the q-frame derivative equations which correspond to a hyperbolic spinor equation. Also, the relations of spinor formulations between q-frame and Frenet frame of the spacelike curve are given with the aid of Euler formula. The hyperbolic rotation angle between Ψ and ϕ is achieved as $\theta/2$ where hyperbolic spinors Ψ and ϕ represent the Frenet frame $\{n, b, t\}$ and the q-frame $\{n_q, b_q, t\}$ of the spacelike curve, respectively. On the other hand, in the case that the space curve has timelike tangent vector, we investigated the derivative formulas of q-frame, but the third q-curvature k_3 vanished and the frame turned into Bishop frame. As a result, our findings can be used for future works on this subject. It is clearly seen that there is a wide study area for spinor representations along space curves according to q-frame.

Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

References

- [1] E. Cartan, The Theory of Spinors. Paris: Hermann, 1966 (Dover, New York, reprinted 1981).
- [2] C. W. Misner, K. S. Thorne and J. A. Wheeler, Gravitation. San Francisco CA: W. H. Freeman and Company, 1973.
- [3] B. W. Montague, "Elementary Spinor Algebra for Polarized Beams in Storage Rings", *Particle Accelerators*, vol. 11, pp. 219-231, 1981.
- [4] G. F. Torres del Castillo and G. S. Barrales, "Spinor Formulation of the Differential Geometry of Curve", *Rev. Colombiana Mat.*, vol. 38, pp. 27-34, 2004.
- [5] D. Unal, I. Kisi and M. Tosun, "Spinor Bishop Equation of Curves in Euclidean 3-Space", *Adv. Appl. Cliff. Algebr.*, vol. 23, pp. 757-765, 2013.
- [6] I. Kisi and M. Tosun, "Spinor Darboux Equations of Curves in Euclidean 3-Space", *Math. Morav*, vol. 19, pp. 87-93, 2015.
- [7] T. Erisir, M. A. Güngör and M. Tosun, "Geometry of the Hyperbolic Spinors Corresponding to Alternative Frame", *Adv. Appl. Cliff. Algebr.*, vol. 25, pp. 799-810, 2015.

- [8] Y. Balci, T. Erisir and M. A. Güngör, “Hyperbolic Spinor Darboux Equations of Spacelike Curves in Minkowski 3-Space”, *J. Chungcheong Math. Soc.*, vol. 28, pp. 525-535, 2015.
- [9] S. Coquillart, “Computing Offsets of B-spline Curves”, *Computer-Aided Design*, vol. 19, pp. 305-309, 1987.
- [10] H. Shin, S. K. Yoo, S. K. Cho and W. H. Chung, “Directional Offset of a Spatial Curve for Practical Engineering Design”, *International Conference on Computational Science and its Applications, ICCSA*, 2003, Montreal, Canada, May 18–21, 2003, Proceedings, Part II, pp. 711-720.
- [11] M. Dede, C. Ekici and A. Görgülü, “Directional q-Frame along A Space Curve”, *IJARCSSE*, vol. 5, pp. 775-780, 2015.
- [12] C. Ekici, M. B. Göksel and M. Dede, “Smarandache Curves According to q-Frame in Minkowski 3-Space”, *17th International Geometry Symposium*, 2019, Erzincan, Turkey, 19-22 June, 2019, Proceedings, pp. 110-118.
- [13] B. O’Neill, *Semi-Riemannian Geometry, with Applications to Relativity*. New York: Academic Press, 1983.
- [14] W. Kuhnel, *Differential Geometry: Curves – Surfaces – Manifolds*. Weisbaden: Braunschweig, 1999.
- [15] T. Otsuki, *Differential Geometry (Japanese)*. Tokyo: Asakura Shoten, 1961.
- [16] T. Ikawa, “On Curves and Submanifolds in an Indefinite-Riemannian Manifold”, *Tsukuba J. Math.*, vol. 9, pp. 353–371, 1985.
- [17] C. Ekici, M. Dede and H. Tozak, “Timelike Directional Tubular Surfaces”, *Journal of Mathematical Analysis*, vol. 8, pp. 1-11, 2017.
- [18] G. S. Birman and K. Nomizu, “Trigonometry in Lorentzian Geometry”, *Ann. Math. Mont.*, vol. 91, pp. 534–549, 1984.
- [19] G. Sobczyk, “The Hyperbolic Number Plane”, *College Math. J.*, vol. 26, pp. 268–280, 1995.
- [20] M. Carmel, *Group Theory and General Relativity, Representations of the Lorentz Group and their Applications to the Gravitational Field*. New York: McGraw- Hill, Imperial College Press, 1977.
- [21] D. H. Sattinger and O. L. Weaver, *Lie Groups and Algebras with Applications to Physics, Geometry and Mechanics*. New York: Springer, 1986.
- [22] G. F. Torres del Castillo, *3-D Spinors, Spin-Weighted Functions and their Applications*. Boston: Birkhauser, 2003.
- [23] Z. Ketenci, T. Erisir and M. A. Gungor, “Spinor Equations of Curves in Minkowski Space”, *V. Congress of the Turkic World Mathematicians*, 2014, Issyk, Kyrgyzstan, 5-7 June, 2014, Proceedings, pp. 41.
- [24] M. K. Saad and R. A. Abdel-Baky, “On Ruled Surfaces According to Quasi-Frame in Euclidean 3-Space”, *Aust. J. Math. Anal. Appl.*, vol. 17, pp. 16, 2020.

Failure-Based Maintenance Planning Using Bayesian Networks: A Case Study Hydraulic Turbine

Gökhan KAHRAMAN¹, Melih YÜCESAN^{2*}

¹ *Munzur University Engineering Faculty Mechanical Engineering Department Tunceli, Turkey*

² *Munzur University, Department of Emergency Aid and Disaster Management, Tunceli, Turkey (ORCID: [0000-0002-8365-2447](https://orcid.org/0000-0002-8365-2447)) (ORCID: [0000-0001-6148-4959](https://orcid.org/0000-0001-6148-4959))*



Keywords: Bayesian network, hydraulic turbine, maintenance

Abstract

The assessment of existing infrastructures in the energy sector is of great economic importance for the world. The extension of the power generation life of hydroelectric power plants depends on decisions regarding the maintenance and renewal of the equipment. For this purpose, a Bayesian network (BN) has been applied to evaluate the failures in the hydraulic turbine to calculate the failure of the turbine. Forty-six nodes have been identified that will affect the operation of the system. Preventive measures have been established for failures with the highest posterior probability. By creating four different cases, failure probabilities and the change of the main fault have been calculated. How much savings could be made in each case is determined. This proposed framework will be guided in determining the maintenance strategies for hydroelectric power plant operators.

1. Introduction

An increase in production facilities is necessary for the development of the economy. The increase in production brings many problems, especially environmental ones. Environmental impacts of non-renewable energy, countries need to use renewable energy sources to plan a low carbon future and ensure environmental quality [1]. 24.5% of the energy produced worldwide is produced from renewable energy sources, and 16.6% is composed of hydraulic energy. The rest comprises wind, bio-gas, solar, and other energy sources [2]. The fact that hydraulic energy has such great importance among renewable energy sources increases the importance of scientific studies to increase the efficiency of hydroelectric power plants, eliminate failures and increase the residence time quickly.

Unexpected failures, wasting time, loss of production, and higher maintenance costs are essential problems in any process plant [3]. All

equipment of the hydroelectric power plant units may fail. It can be graded according to the damages caused by the failures caused by the hydroelectric power plant units and the cost they create.

Failures in hydroelectric power plants are usually related to cavitation, erosion, operational errors, and material defects. Due to high water pressures, pressure changes, and high-water speeds, serious problems can occur in hydroelectric power plants. Furthermore, if adequate preventive maintenance and clearly defined revision procedures are implemented in hydroelectric power plants, the occurrence of failures is significantly reduced [4-5]. Due to the combination of hydraulic, mechanical and electrical systems and complex interactions, it is challenging for decision-makers to estimate the number and quality of different factors that may cause equipment failure [6-7].

Regular and predictive maintenance can be performed where significant faults occur. With the complexity of bureaucratic procedures, high costs,

* Corresponding author: melihyucesan@munzur.edu.tr

Received: 12.11.2021, Accepted: 06.02.2022

and the need for a lot of repair time, the maintenance activities of hydroelectric power plants are pretty tiring and costly for enterprises [8-10].

Maintenance in businesses is essential. Production equipment in most enterprises makes up the majority of the investment.

The malfunctions in the facilities increase the costs and cause significant losses to the investor [11].

Reduces costs, and extends the system's life cycle [12]. A well-organized maintenance strategy increases system security. The performance of quantitative assessment is more detailed than the qualitative assessment process. The expert system and process information are prerequisites for starting the evaluation process. This expert knowledge is acquired through system information, event, process information, knowledge of normal and abnormal conditions, accident operation procedures, and specific failure information research. Various methods have been proposed in the literature to assess the risk and safety of processes [13]. These drawbacks are mainly due to these classical techniques' static structure and ineffectiveness in dealing with uncertainties. More complex techniques such as BN have been proposed [14].

BN presents a graphic illustration of any complex system that uses basic and conditional probabilities for system inputs. For subsystems and interactions, one of the main advantages of BNs is that they can combine all types of data (social, environmental, technical, etc.) into a single unified representation. The main challenge is to find information to improve BN and predict system failures due to multiple factors [15]. This method is an effective tool for risk analysis, developing accident prevention strategies, and taking preventive measures [16]. BN is probabilistic technique for reasoning under uncertainty. The main improvement of BN is its ability to update probability [17].

In the hydroelectric field, BN has been used quite frequently. Studies in this area have generally focused on weather forecasting [18-21]. A diagnostic model based on Bayesian networks has been proposed in the study to assess the risks in energy generation in hydroelectric power plants [22].

This study aims to determine the most important failures in hydroelectric power generation units considering the usability and human safety criteria and to create a framework for

the practitioners and decision-makers. In addition, BN has been updated for different cases, and it has been predicted how much money can be saved for new cases.

The organization of the study is as follows. In section 2 of the study, BN is defined. In Section 3, the failures in the hydroelectric power plant are identified, and a BN network is established. In Section 4, the most probable failures are explained in detail and discussed how to prevent these failures. In addition, maintenance recommendations are given based on the calculations from BN. The conclusion part summarizes the study and evaluates its contributions to the literature.

2. Material and Method

Bayesian network is the Thomas Bayes theorem, which connects the conditional probabilities of two events that condition each other [23-25]. BN is a commonly used graphical inference probability method. Due to its flexible structure and ability to represent large systems, the use of BN is very common in subjects such as risk analysis. [26].

A BN is a directed acyclic graph, where the nodes represent the variables $U = \{A_1, \dots, A_n\}$. Moreover, the directed links between them indicate the relationship among the nodes. BN specifies a unique joint probability distribution of all nodes $P(U) = P(A_1, \dots, A_n)$ given by the product of all conditional probability tables specified in BN [27].

$$P(U) = \prod_{i=1}^n P(A_i | pa(A_i)) \quad (1)$$

Where $pa(A_i)$ are parents of node A_i and $P(A_i | pa(A_i))$ specifies a conditional probability distribution. The calculations are based on Bayesian theory, where the probability of event A at the condition of event B is expressed as:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)} \quad (2)$$

In which $P(A)$ is the prior probability of A, $P(B|A)$ is the probability of B under the condition of a known event A [26]. $P(B)$ is prior probability of B. Probabilistic relationship between nodes given in Figure 1.

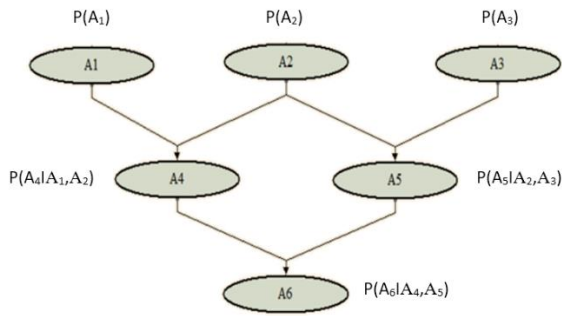


Figure 1. Probabilistic relationship between nodes [26]

3. Methodology

Hydroelectric power plants are composed of dam body, penstock, volute, adjusting blades, turbine part, shaft, bearings, generator part, warning system, switchyard, and auxiliary types of equipment (speed regulator system, oil, air cooling system, pumps, etc.). Failures to occur in any of this equipment will prevent the system's operation and disrupt energy production.

3.1. Defining The System and Collecting Information

Francis turbines. The annual average energy production is 6 billion kilowatt-hours. The dam is predominantly stone filling and concrete. The crest elevation is 848 meters. Storage capacity is 31000 hm³. The turbine speed is 166.7 rpm. The net head

of the turbine is 145 meters. The flow is 135 m³ / h [28].

Information about all processes in the hydroelectric power plant is collected. The dam is located 45 kilometers northwest of Elazığ. The dam capacity is 1330 MW. The potential energy of water is used to generate electricity in a hydropower plant. This potential energy is transmitted to the turbines via forced tubes. In the turbine, the potential energy of water is converted to kinetic energy (mechanical energy) and then to electrical energy by the rotation of the generator motor connected to the turbine wheel. The operating principle scheme of a hydroelectric power plant is shown in Figure 2. Figure 2. Process principle scheme of a hydroelectric power plan

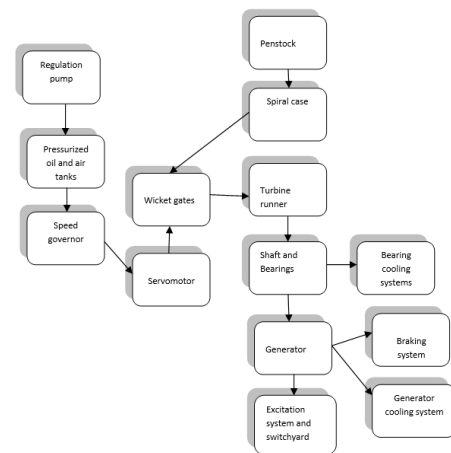


Figure 2. Process principle scheme of a hydroelectric power plant

Table 1. Failure Name and Explanation

Code	Name	Explanation
H1	Failures that may occur in the turbine-generator unit during power generation	Many failures can occur when the turbine-generator unit generates energy. These failures can have many causes. These reasons are given below in failure codes H1 to H60.
H2	Not enough water pressure in forced pipe	H3 failure may have arisen
H3	Forced pipe inlet cover closed	Forced pipe seal changes or any maintenance such as sandblasting to the forced pipe is performed. The forced pipe cover is closed. Before the turbine generator unit is commissioned for power generation, it is necessary to fully open the penstock inlet cover by equalizing the water pressure on the reservoir and the turbine side of the penstock.
H4	Generator brakes solenoid valve failure	Generator brakes operate with 7 bar compressed air. The solenoid valve controls compressed air. The brakes do not start if there is a failure in the solenoid valve.
H5	The low bearing oil film pressure	When the carrier-bearing oil pump unit is first started, it must generate sufficient oil film pressure between the bearing socket and the ring. The unit will not operate if the oil pressure is too low.
H6	Adjustment wing locks do not open	H8 and H9 failures may have arisen
H7	Speed governor regulation pumps are not working	H59 and H60 failures may have arisen

H8	Control wing locks solenoid valve failure	The adjustment is controlled by a solenoid valve in the pressure oil speed regulator that controls the wing locks. If the solenoid valve is faulty, the adjustment flaps will not be opened, and as a result, the adjustment flaps will not be opened and the water required for generating the turbine energy will not come.
H9	Relay failure energizing control wing lock solenoid valve	The solenoid valve does not work if the relay that energizes the regulator wing solenoid valve is faulty.
H10	Pressure oil tank isolating valve failure	The speed regulator receives the pressure oil from the pressure oil tank, which it sends to control the servomotor. The solenoid valve located at the bottom of the pressurized oil tank is energized with the start of the unit. It sends the pressurized oil to the speed regulator main distribution valve. If there is a failure in the solenoid valve, the speed regulator cannot send pressurized oil to the servo motors, the wing is not opened, and the unit does not start.
H11	Generator brake failure	H4 and H12 failures may have arisen
H12	Compressed air seal gasket failure of generator brake pads	The generator brakes are activated by compressed air and disengaged with a spring's aid when the compressed air is released. If there is any deformation in the compressed air sealing gaskets, the brakes will not be activated since the sealing cannot be achieved. This fault does not cause problems while the unit is operating, but it cannot be stopped when it is intended to be stopped.
H13	Low amount of pressurized oil driving the adjustment wing lock	The timing lock mechanism must be released when commissioning the unit. If the lock is released with pressurized oil and is not sent, the lock is applied using leaf springs. If enough pressure oil does not come to the lock locks, the lock cannot be opened so that the unit cannot generate energy.
H14	Breakage of leaf springs inside the adjustment wing locks mechanism	If the leaf springs in the timing lock mechanism break, the unit cannot generate energy because the adjustment wing locks do not move.
H15	No energization of the bearing pressure oil pump	If the pump does not operate due to lack of energy to the bearing pressure oil pump, the unit shaft will not rotate and generate energy because there will be no oil film between the bearing and ring.
H16	Winding or bearing failure in bearing pressurized oil pump motor	In the case of winding or bearing failure in the bearing pressure oil pump motor, the bearing pump does not start and consequently, the situation in the H15 failure occurs.
H17	Cooling water pump failure	H18, H19, and H20 failures may have arisen
H18	Cooling water pump shaft bearings failure	The generator windings and bearings cannot be cooled as the coolant pump will not start. Therefore, the unit cannot generate energy.
H19	Winding insulation perforation in the coolant pump motor	The generator windings and bearings cannot be cooled as the coolant pump will not start. Therefore, the unit cannot generate energy.
H20	Cooling water pump valve failure	The generator windings and bearings cannot be cooled as the coolant pump will not start. Therefore, the unit cannot generate energy.
H21	Electrical voltage failure	H22, H26 and H56 failures may have arisen
H22	Insulation resistance weakness in generator stator windings	Generator stator winding isolations may weaken over time due to external factors (such as oil mist and dust). A short circuit of the current passing over the insulation weakness causes a failure.
H23	Thrust and guide bearing heat exchanger cooling water output flowmeter failure	The carrier and guide-bearing heat exchanger have a flowmeter to control the flow at the cooling water outlet. The unit cannot be commissioned if this flow meter does not indicate water flow.
H25	Stator-ground fault	H26 and H56 failures may have arisen
H26	Current flow to the ground as a result of weakening of the stator windings	H22 failure arises
H27	Generator differential failure	H28 failure may have arisen
H28	Phase-to-phase short circuit fault	An electrical short circuit occurs between phases.
H29	Unit differential failure	H30 failure may have arisen
H30	Short circuit between generator output busbar and transformer entrance	Failure occurs due to short circuit between generator output busbar and transformer entrance.

H33	Rotor-ground fault		H34 failure may have arisen
H34	Current flow to the ground due to weakening of the insulation of the windings of the rotor poles		Insulation of the rotor poles may be weakened, or conductive material (such as welding slag) may enter between the rotor poles.
H35	Warning current fault		H36 failure may have arisen
H36	Short circuit between rotor poles		A short circuit between the rotor poles may fail.
H41	No breaker information	open	H42 failure may arise
H42	Sending information Failure	Relay	The sending information relay may fail over time. Relays must be tested periodically.
H44	No Separator information	open	H42 failure may arise
H50	Warning system and switchyard failures		It depends on H35, H41, H44, and H55 failures.
H51	Generator failures		It depends on H11, H21, H25, H27, H29, and H33 failures.
H52	Turbine failures		It depends on H5 and H58 failures.
H53	Speed regulator failure		It depends on H6, H7, H8, H10 failures.
H54	Failures caused by forced pipe section		It depends on H2 and H3 failures.
H56	Overheating of generator windings		It depends on H57 failure.
H57	Flowmeter failure in generator radiators		The generator heat exchanger has a flow meter to control the flow at the cooling water outlet. If this flow meter does not indicate water flow, the unit cannot be started.
H58	Thrust and guide bearing failures		It depends on H17 and H23 failures.
H59	Regulation pump motor winding insulation puncture		Since the regulating pump will not start and cannot send oil to the pressurized oil tank, the unit will not start.
H60	Regulation pump bearing failure		Since the regulating pump will not operate, the unit cannot send oil to the pressurized oil tank, and the unit does not start.

Table 2. Probability of Independent Nodes

Failure modes	Yes		No		
	Failure modes	Yes	No	Failure modes	
H59	0.0017	0.9983	H18	0.009	0.991
H60	0.002	0.998	H19	0.008	0.992
H3	0.9995	0.0005	H20	0.01	0.99
H9	0.03	0.97	H4	0.03	0.97
H10	0.03	0.97	H12	0.01	0.99
H8	0.03	0.97	H36	0.007	0.993
H13	0.07	0.93	H42	0.012	0.988
H14	0.008	0.992	H34	0.003	0.997
H15	0.005	0.995	H30	0.004	0.996
H16	0.003	0.997	H28	0.004	0.996

Hydroelectric power plants are composed of dam body, penstock, volute, adjusting blades, turbine part, shaft, bearings, generator part, warning system, switchyard, and auxiliary types of equipment (speed regulator system, oil, air cooling

system, pumps, etc.). Failures to occur in any of this equipment will prevent the system's operation and disrupt energy production.

3.2. Failure Identification

The failures that occurred in the turbine-generator unit were examined. A BN network scenario was realized to prevent the operation of the system. The failure codes and explanations are given to them are given in Table 1.

3.3. Model development

The objective at this stage is to develop a quantitative computational model. In general, when the probability of input events is uncertain due to data expertise or limited information for a system, evidence theory is used to gather the information of multiple experts into probabilities. The probability values in the study were evaluated based on the knowledge and translations of the experts. In Table 2, the probabilities of independent events are given. "Yes" and "No" are used for failure modes.

3.4. Failure Analysis

The failure assessment begins with identifying the major potential hazards (most important events) that each failure scenario can cause. The error data for the basic events of the subsystem is used to estimate the probability of a subsystem failure.

Result analysis is used to measure the impact of the emergence of each failure scenario. The probability of failure of the top event and the final state results is calculated with the BN model.

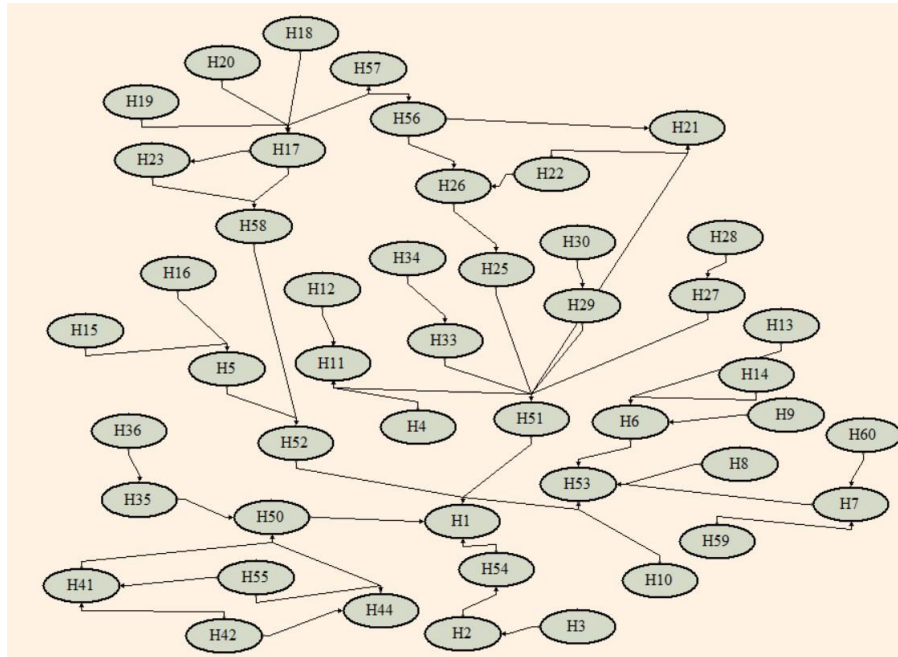


Figure 3. The Bayesian network of the fault diagnosis of the Hydroelectric power plant

The calculation was carried out and the probability values in Table 3 were obtained. The four most frequent failure modes are H51, H21, H25 and H26, respectively.

Table 3. Probability of Failures

Failure modes	Yes	No
H51	0.7129	0.2871
H21	0.7002	0.2998
H25	0.6231	0.3769
H26	0.6231	0.3769

Failures related to error types and the failures affecting these failures are plotted in Microsoft Research’s Bayesian network authoring and evaluation tool (MSBNx) [29], as shown in Figure 3. Independent events were identified in the program, and their probabilities were entered. Afterward, Conditional probability tables (CPT) were determined by the brainstorming of experts. Due to space constraints, CPTs are not included here.

3.5. Comparative Study

In the previous section, the Bayesian network was created by considering the relationships of the failure modes with each other, and the final probabilities of the failure modes were calculated with the help of the probabilities of the independent and dependent events. In this section, MCDM, which is widely used in risk analysis, is used [30,31]. While determining the failure modes weights, the Best worst method recommended by Rezaei [32], which is a popular method especially in recent years, has been used. BWM requires less comparison matrices than other methods such as AHP. In this respect, it saves time for decision-makers [33-34]. First of all, a new hierarchy was created for failure modes and presented in Figure 4. Later on, Best and Worst criteria are determined. Using expert opinions, the best-to-other vector is determined by comparing the best criterion with other criteria. Then, the Others-to-worst criterion is determined by comparing the worst criterion with

the other criteria. A mathematical model is created with the determined vectors [32].

Due to the hierarchical structure; Firstly, the weights of Governor (w1), Bearing (w2), Generator (w3), Auxiliary equipment (w4), Turbine (w5), and Electrical fault (w6) will be calculated via experts' opinion. The weights are calculated using the following mathematical model.

$$\begin{aligned}
 & \min \xi \\
 & s. t. \\
 & \left| \frac{w_3}{w_1} - 4 \right| \leq \xi, \left| \frac{w_3}{w_2} - 5 \right| \leq \xi, \left| \frac{w_3}{w_4} - 2 \right| \leq \xi, \left| \frac{w_3}{w_5} - 7 \right| \leq \xi, \\
 & \left| \frac{w_3}{w_6} - 3 \right| \leq \xi, \left| \frac{w_1}{w_5} - 3 \right| \leq \xi, \left| \frac{w_2}{w_5} - 2 \right| \leq \xi, \left| \frac{w_4}{w_5} - 5 \right| \leq \xi, \\
 & \left| \frac{w_6}{w_5} - 4 \right| \leq \xi, \\
 & \sum_{i=1}^6 w_i = 1 \quad (i = 1, \dots, 6) \\
 & w_i \geq 0 \text{ for all } i
 \end{aligned}$$

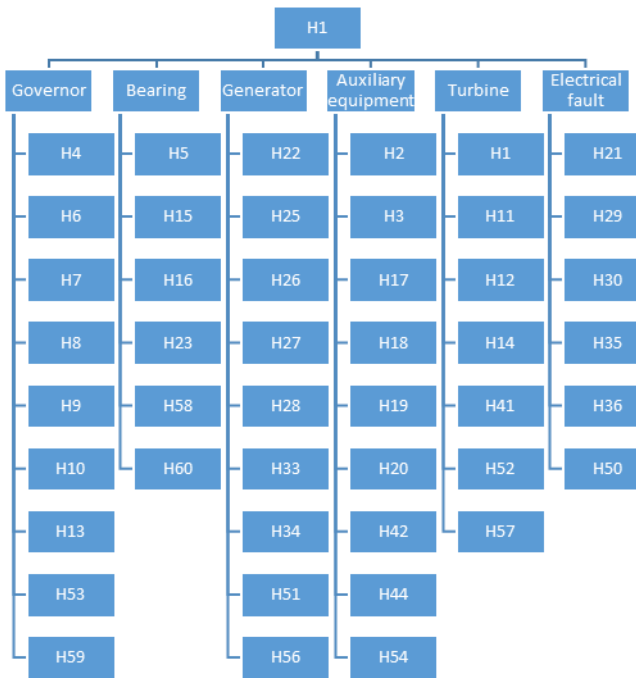


Figure 4. Hierarchy of failure Modes

Due to space constraints, other mathematical models could not be included. All the results obtained are presented in Table 4.

When the probabilities of occurrence of the faults are examined in Table 4, the four highest probabilities were H33, H17, H34 and H56 faults. In this new method for benchmarking with the other calculation method, the interaction of the faults with each other is neglected. When the independent methods are compared, the probability of H51, H21, H25, H26 faults in the first method and H33, H17, H34, H56 faults in the second

method is high. In fact, all of these failures are explained as generator failures. For example, while the weakening of the stator windings (H26) stands out in the first method, the weakening of the rotor windings (H33) stands out in the second method. This shows that both methods give correct results. The calculated results show how important the generator part is in hydroelectric power plants.

4. BN-Based Maintenance Advice

The highest frequency H51, H21, H25, H26 failures ,calculated with BN, have been examined in detail. Preventive measures have been proposed to minimize the probability of occurrence of failures and the effect of elimination of these failures on the main failure has been examined.

4.1 Generator failures (H51)

Hydroelectric power plant units consist of two main parts: turbine and generator. The generator part can fail more frequently than the turbine part. The generator part has a more complex structure than the turbine part. The effects of temperature increases and tensile forces caused by the passage of electric current in the generator part are effective. In hydroelectric power plant units, the generator part is where mechanical energy is converted into electrical energy. According to Faraday law, a current is generated by moving a magnet in a closed circuit. This effect is called electromagnetic induction. Electromagnetic induction forms the basis of converting mechanical energy into electrical energy in hydroelectric power plants. Figure 5 shows the arrangement of the generator stator windings in a hydroelectric power plant.



Figure 5. Generator stator windings

The failures that may occur in the generator section are listed below.

• **Short-circuits in the rotor poles** These failures occur by short-circuiting substances such as welding slag at the rotor poles. To reduce the frequency of this failure, the unit must be unplugged and cleaned. Electrical tests are performed every 20.000 hours.

• **Failures due to magnetic imbalance;** If the air gaps between the stator and rotor poles of the generator are disproportionate, excessive shaft

oscillations are generated in the rotating mass caused by magnetic short circuits. To reduce the frequency of this failure, the stator windings must be reassembled after the stator sheets have been redesigned. If preventive measures are applied, this fault will almost disappear.

Table 4. Criterion Weights

Parameter	Local Weight	Global Weight	Parameter	Local Weight	Global Weight
Governor (w1)	0.1064		Auxiliary equipment (w4)	0.2609	
H4	0.2283	0.0243	H2	0.0589	0.0154
H6	0.1791	0.0191	H3	0.0589	0.0154
H7	0.0242	0.0026	H17	0.1930	0.0504
H8	0.1004	0.0107	H18	0.1750	0.0457
H9	0.0697	0.0074	H19	0.0848	0.0221
H10	0.0697	0.0074	H20	0.1514	0.0395
H13	0.1004	0.0107	H42	0.0180	0.0047
H53	0.2070	0.0220	H44	0.1750	0.0457
H59	0.0213	0.0023	H54	0.0848	0.0221
Bearing (w2)	0.0817		Turbine (w5)	0.0459	
H5	0.2008	0.0164	H1	0.3312	0.0152
H15	0.0372	0.0030	H11	0.0678	0.0031
H16	0.1637	0.0134	H12	0.0298	0.0014
H23	0.1637	0.0134	H14	0.0678	0.0031
H58	0.3936	0.0322	H41	0.2716	0.0125
H60	0.0410	0.0034	H52	0.0563	0.0026
Generator (w3)	0.3528		H57	0.1755	0.0081
H22	0.0406	0.0143	Electrical fault (w6)	0.1523	
H25	0.1118	0.0395	H21	0.4835	0.0736
H26	0.2192	0.0773	H29	0.0641	0.0098
H27	0.0911	0.0322	H30	0.2466	0.0376
H28	0.0207	0.0073	H35	0.1098	0.0167
H33	0.1560	0.0550	H36	0.0504	0.0077
H34	0.1347	0.0475	H50	0.0456	0.0069
H51	0.0911	0.0322			
H56	0.1347	0.0475			

4.2. Electrical voltage failures caused by voltage regulator (H21)

Such failures can often be caused by failure of the voltage regulator electronic boards. In order to reduce the frequency of this failure, voltage regulator electronic boards must be removed, cleaned and tested monthly.

4.3. Heating problem in stator windings (H25)

The problem of heating in the stator windings occurs when the cooling radiators become dirty, the heat transfer surface areas of the radiators are insufficient, or the cooling water flow is insufficient. To reduce the frequency of this failure,

it can be improved by cleaning the radiators during monthly maintenance and maintaining the cooling water system. If the problem is not solved in this way, it should be redesigned by increasing the heat transfer surface area of the radiators.

4.4. Insulation Weakening Problem In Stator Windings (H26)

The problem of insulation of the stator windings can lead to major problems and disrupt the power generation of the unit for long periods. Figure 6 shows the failure of the stator windings due to the insulation weakness problem.



Figure 6. Fault in generator stator windings due to insulation weakening

The fault in the figure is caused by current flowing from the stator windings to the ground due to insulation weakness. Important faults occur if the stator-ground faults are not detected by the protective relay, as shown in Figure 5. The regeneration of the stator windings may take between 5 to 200 days according to the number of damaged faults. To reduce the frequency of occurrence of this fault, stator winding insulation tests should be performed periodically. Stator windings where insulation weakness is detected should be replaced. While the unit generates energy, stator winding temperatures should be recorded hourly and any temperature rise should be monitored.

4.5. Failure Analysis in Cases Where Preventive Measures Are Considered

It is aimed to determine how the main fault will be affected if we can prevent the most frequent faults. Four cases have been determined for this purpose. Case 0 is the case where no preventive measures are applied. In Case 1, H51 failure was prevented.

In Case 2, H21 failure was prevented. In Case 3, H25 failure was prevented. Since faults H25 and H26 are linked, it is assumed that both faults are avoided. In Case 4, it is assumed that all these failures were prevented. The Bayesian network for each case was updated, and the new values are presented in Table 5 and Figure 7. According to the calculations, the preventive studies on the nodes will significantly reduce the main fault.

Table 5. Failure probability changes for cases

Cases	H51	H21	H25	H26	Change probability of failure (%)
Case 1	0	0.0134	0.0134	0.0134	0.2717
Case 2	0.0549	0	0.0139	0.0139	0.2509
Case 3	0.2483	0.2157	0	0	0.1772
Case 4	0	0	0	0	0.2718
Case 0	0.7129	0.7002	0.6231	0.6231	

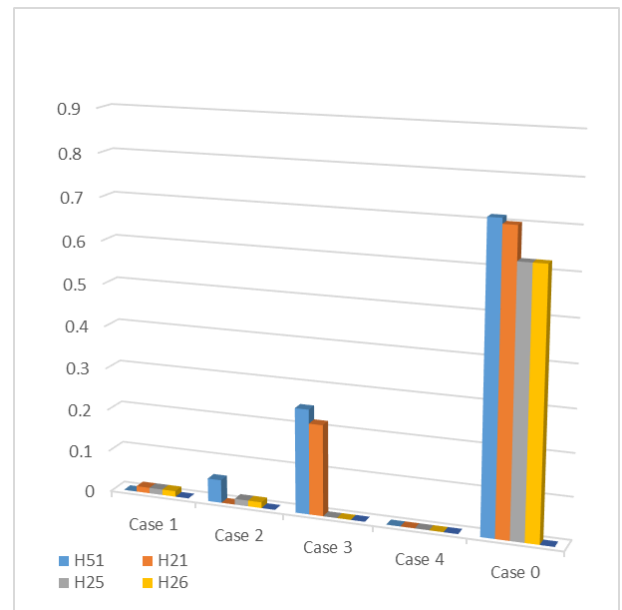


Figure 7. Failure probabilities for each case

According to the data of the last ten years in a hydroelectric power plant, which has 8 Francis turbines with 150 MW of energy production, the current leakage to the ground due to the weakening of the stator windings isolation causes (H26) a mandatory stoppage of 720 hours in an average annual turbine. These are 30 hours generator’s top part disassembly and 10 hours test to detect defective winding, 200 hours defective winding removal, 250 hours new winding assembly, 200 hours other windings assembly, 30 hours generator upper part assembly. By taking the price of

electricity 0.029 \$/kWh, when the precautions in case 3 are taken for this failure, when we reduced the occurrence period of the fault by 17.72%, the cost graph is shown in Figure 8.

As seen in Figure 7, when the failure rate is reduced by 17.72%, approximately 500000 dollars of energy is produced annually. Considering this saving for all hydroelectric power plants will make significant contributions to the economy.

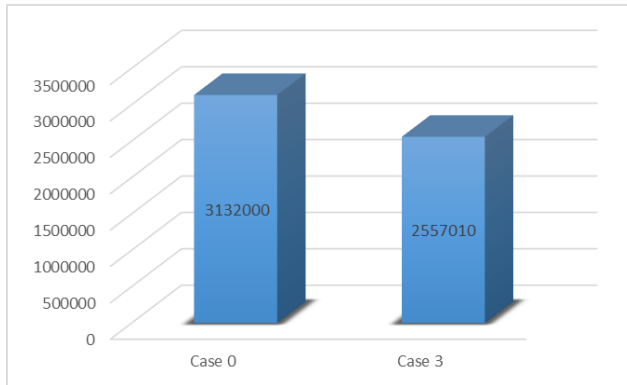


Figure 8. Energy loss cost Case 0 and Case 3

5. Conclusions

The importance of hydraulic energy among renewable energy sources necessitates the rapid elimination of failures by increasing the efficiency of hydroelectric power plants and taking preventive measures before failures occur. In this study, a fault detection methodology is proposed for hydroelectric power plants. Forty-six nodes and the relationship among these nodes were determined, and a Bayesian network was established. Bayesian networks are effective tools for risk and availability analysis of power generation units. They provide basic information in deciding on maintenance, possible repairs, and replacements of turbine components. The main purpose of this study is to provide a framework for determining the operation and maintenance strategy of hydroelectric power plants.

The proposed methodology consists of 4 stages. These stages consist of defining the system and collecting the necessary information, defining faults, model development and fault analysis, respectively. The Bayesian network was established by determining the relationship of 45 nodes and the main fault. The likelihood of independent events and conditional probabilities is based on past recordings and expert experience. In addition, the applied method was compared with a different method. According to the calculations, generator failures are the most important factor stopping electricity production in hydroelectric power plants. Solving this error alone can improve the system approximately 27%. Cases, where four other important faults have been eliminated have been created. For each case, the Bayesian network was recalculated to determine the probability of the main event.

Dam safety and sustainability are critical for dam operators. The different proposed cases will guide decision-makers in defining dam operation scenarios and determining maintenance strategies. Although this study provides a comprehensive framework for identifying failures and preventive measures in hydroelectric power plants, it has some shortcomings. The authors intend to develop a maintenance procedure that includes failures and preventive costs in their following research.

Contribution of the Authors

All authors contributed equally.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were complied with in the study

References

- [1] M. Topcu and C. T. Tugcu, “The impact of renewable energy consumption on income inequality: Evidence from developed countries,” *Renew. Energy*, vol. 151, pp. 1134–1140, 2020.
- [2] “International Hydropower, A. Hydropower Status Report: Sector Trends and Insights; IHA: London, UK, 2018.”
- [3] L. Krishnasamy, F. Khan, and M. Haddara, “Development of a risk-based maintenance (RBM) strategy for a power-generating plant,” *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 18, no. 2, pp. 69–81, 2005.
- [4] B. Xu et al., “Priority analysis for risk factors of equipment in a hydraulic turbine generator unit,” *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 58, pp. 1–7, 2019.
- [5] L. A. Teran et al., “Failure analysis of a run-of-the-river hydroelectric power plant,” *Eng. Fail. Anal.*, vol. 68, pp. 87–100, 2016.
- [6] B. A. Akash, R. Mamlook, and M. S. Mohsen, “Multi-criteria selection of electric power plants using analytical hierarchy process,” *Electric Power Syst. Res.*, vol. 52, no. 1, pp. 29–35, 1999.
- [7] S. Ahmad and R. M. Tahar, “Selection of renewable energy sources for sustainable development of electricity generation system using analytic hierarchy process: A case of Malaysia,” *Renew. Energy*, vol. 63, pp. 458–466, 2014.
- [8] V. Selak et al., “Effect of fixed dose combination treatment on adherence and risk factor control among patients at high risk of cardiovascular disease: randomised controlled trial in primary care,” *BMJ*, vol. 348, no. may27 11, p. g3318, 2014.
- [9] W. Tang, Z. Li, and Y. Tu, “Sustainability risk evaluation for large-scale hydropower projects with hybrid uncertainty,” *Sustainability*, vol. 10, no. 2, p. 138, 2018.
- [10] E. Vassoney, A. Mammoliti Mochet, and C. Comoglio, “Use of multicriteria analysis (MCA) for sustainable hydropower planning and management,” *J. Environ. Manage.*, vol. 196, pp. 48–55, 2017.
- [11] A. Sarkar and D. K. Behera, “Development of risk based maintenance strategy for gas turbine power system,” *International Journal of Advanced Research in Engineering and Applied Sciences*, vol. 1, no. 2, pp. 20–38, 2012.
- [12] A. W. Dawotola, T. B. Trafalis, Z. Mustaffa, P. H. A. J. M. van Gelder, and J. K. Vrijling, “Risk-based maintenance of a cross-country petroleum pipeline system,” *J. pipeline syst. eng. pract.*, vol. 4, no. 3, pp. 141–148, 2013.
- [13] L. T. Ostrom and C. A. Wilhelmsen, *Risk assessment: tools, techniques, and their applications*. USA: John Wiley & Sons, 2019.
- [14] J. Ren, I. Jenkinson, J. Wang, D. L. Xu, and J. B. Yang, “An offshore risk analysis method using fuzzy Bayesian network,” *J. Offshore Mech. Arct. Eng. Trans. ASME*, vol. 131, no. 4, p. 041101, 2009.
- [15] A. El-Awady, K. Ponnambalam, T. Bennett, A. Zielinski, and A. Verzobio, “Bayesian Network approach for failure prediction of Mountain Chute dam and generating station,” in *Sustainable and Safe Dams Around the World*, CRC Press, 2019, pp. 2518–2530.
- [16] N. Khakzad, F. Khan, and P. Amyotte, “Quantitative risk analysis of offshore drilling operations: A Bayesian approach,” *Saf. Sci.*, vol. 57, pp. 108–117, 2013.
- [17] Y. Chang, G. Chen, X. Wu, J. Ye, B. Chen, and L. Xu, “Failure probability analysis for emergency disconnect of deepwater drilling riser using Bayesian network,” *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 51, pp. 42–53, 2018.
- [18] A. S. Cofino, R. Cano, C. Sordo, and J. M. Gutierrez, “Bayesian networks for probabilistic weather prediction,” in *15th European Conference on Artificial Intelligence (ECAI)*, Amsterdam Netherlands, 2002.
- [19] U. Petry, Y. Hundedcha, M. Pahlow, and A. Schumann, “Generation of severe flood scenarios by stochastic rainfall in combination with a rainfall runoff model”, in *Proceedings of the 4th International Symposium on Flood Defense*, 2008, pp. 6–8.
- [20] S. Hellman, A. McGovern, and M. Xue, “Learning ensembles of Continuous Bayesian Networks: An application to rainfall prediction,” in *2012 Conference on Intelligent Data Understanding*, 2012.
- [21] L. Garrote, M. Molina, and L. Mediero, “Probabilistic forecasts using Bayesian networks calibrated with deterministic rainfall-runoff models,” in *NATO Science Series, Dordrecht: Springer Netherlands*, 2007, pp. 173–183.

- [22] X. Zhang, H. Zhao, Y. Xie, and Z. Yin, "Bayesian network model for fault diagnosis of hydropower equipment," *Journal-Northeastern University Natural Science*, vol. 27, no. 3, 2006.
- [23] S. Q. Wang, M. F. Dulaimi, and M. Y. Aguria, "Risk management framework for construction projects in developing countries," *Constr. Manage. Econ.*, vol. 22, no. 3, pp. 237–252, 2004.
- [24] M. Yucesan, M. Gul, and E. Celik, "A holistic FMEA approach by fuzzy-based Bayesian network and best–worst method," *Complex intell. syst.*, vol. 7, no. 3, pp. 1547–1564, 2021.
- [25] M. Yucesan, M. Gul, and A. F. Guneri, "A Bayesian network-based approach for failure analysis in weapon industry," *J. Therm. Eng.*, pp. 222–229, 2021.
- [26] B. Cai, H. Liu, and M. Xie, "A real-time fault diagnosis methodology of complex systems using object-oriented Bayesian networks", *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 80, pp. 31–44, 2016.
- [27] H. J. P. Marvin et al., "Application of Bayesian networks for hazard ranking of nanomaterials to support human health risk assessment", *Nanotoxicology*, vol. 11, no. 1, pp. 123–133, 2017.
- [28] M. Yucesan and G. Kahraman, "Risk evaluation and prevention in hydropower plant operations: A model based on Pythagorean fuzzy AHP", *Energy Policy*, vol. 126, pp. 343–351, 2019.
- [29] "MSBNx." [Online]. Available: <https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=52299>.
- [30] G. Kou, Y. Peng, and G. Wang, "Evaluation of clustering algorithms for financial risk analysis using MCDM methods", *Inf. Sci. (Ny)*, vol. 275, pp. 1–12, 2014.
- [31] S. A. Jozi, M. T. Shoshtary, and A. R. K. Zadeh, "Environmental risk assessment of dams in construction phase using a multi-criteria decision-making (MCDM) method", *Hum. Ecol. Risk Assess.*, vol. 21, no. 1, pp. 1–16, 2015.
- [32] J. Rezaei, "Best-worst multi-criteria decision-making method", *Omega*, vol. 53, pp. 49–57, 2015.
- [33] E. Celik, M. Yucesan, and M. Gul, "Green supplier selection for textile industry: a case study using BWM-TODIM integration under interval type-2 fuzzy sets," *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.*, vol. 28, no. 45, pp. 64793–64817, 2021.
- [34] M. Gul, M. Yucesan, and E. Celik, "A modified risk prioritization approach using best–worst method", in *Industrial Ecology and Environmental Management*, Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 53–74.

Kükürt Bazlı Miksotrofik Denitrifikasyon Prosesinde Azot/Fosfor (A/F) Oranının Nitrat Giderimine Etkisi

Arzu ÖZTÜRK^{1*}

¹Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kimya Teknolojileri Bölümü, Aksaray
(ORCID: [0000-0002-4029-7852](https://orcid.org/0000-0002-4029-7852))



Anahtar Kelimeler:

İçme suyu,
Miksotrofik
denitrifikasyon,
Azot/fosfor oranı

Öz

Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de tarımsal sulama, yoğun gübreleme, atıksuların uygunsuz deşarjı gibi nedenlerle sularda nitratın arttığı görülmektedir. Sağlığa zararları nedeniyle nitratın giderimi için pek çok arıtma teknolojileri geliştirilmiştir. Bu çalışmada mevcut nitrat giderim yöntemlerine alternatif, etkin ve avantajlı bir yöntem olan mikso-trofik denitrifikasyon kullanılmıştır. Bu yöntem ototrofik ve heterotrofik denitrifikasyonun birlikte kullanılması esasına dayanır. Bu çalışmada mikso-trofik denitrifikasyonun etkin bir şekilde gerçekleşmesi için gerekli optimum A/F oranının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kurulan laboratuvar ölçekli kolon reaktörlerde elektron vericinin kükürt ve metanol, elektron alıcının nitrat olduğu bir sistem kurulmuştur. Literatür incelenerek 5/1, 5/0,5, 5/0,25, 5/0,1 A/F oranları seçilmiş ve bu oranlarda reaktörler işletilmiştir. İşletme koşullarının belirlenmesinde motivasyon, besine eklenecek fosfat miktarı için optimum mikso-trofik koşulları sağlayacak minimum miktarın tespiti olmuştur. Reaktör sıcaklığının 20±5 C⁰ olduğu koşullarda mikso-trofik denitrifikasyonun ÇOK/NO₃-N 0,66 oranında gerçekleştiği bulunurken, optimum A/F oranının 5/0,5 olarak bulunmuştur. Böylece hem ÇOK/NO₃-N oranı hem de A/F oranı literatürde bildirilen değerlerden daha düşük olduğu halde mikso-trofik denitrifikasyonun başarılı bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür.

The Effect of Nitrogen / Phosphorus (N/F) Ratio on Nitrate Removal in Sulfur Based Mixotrophic Denitrification Process

Keywords:

Drinking water,
Mixotrophic denitrification,
Nitrogen/phosphorus ratio

Abstract

As in the whole world, nitrate is increasing in water resources in Turkey. Many treatment technologies have been developed for nitrate removal due to their health hazards. In this study, mixotrophic denitrification, which is an effective and advantageous alternative to existing nitrate removal methods, was used. This method is based on the combined use of autotrophic and heterotrophic denitrification. In this study, it was aimed to determine the optimum N/P ratio required for mixotrophic denitrification. For this purpose, a system in which the electron donor is sulfur and methanol and the electron acceptor is nitrate has been established. According to the literature, 5/1, 5/0,5, 5/0,25, 5/0,1 N/P ratios were selected and reactors were operated at these ratios. The motivation in determining the operating conditions was the determination of the minimum amount of phosphate to be added to the food. While mixotrophic denitrification was found to occur at a ratio of DOC/NO₃-N of 0,66, the optimum N/P ratio was found to be 5/0,5. Although these values were lower than the values reported in the literature, it was observed that the mixotrophic denitrification was successful.

*Sorumlu yazar: arzukilic@aksaray.edu.tr

Geliş Tarihi: 15.11.2021, Kabul Tarihi: 10.02.2022

1. Giriş

İçme sularında bulunan ve sağlık açısından sakıncalı görülen nitrat iyonunun sınır değeri, EPA, WHO ile dünyada 10 mg NO₃-N/L, TS 266 standardı ile Türkiye’de 11,3 NO₃-N/L olarak belirlenmiştir [1]. Nitrat, bir kirletici olarak yer altı sularında ve içme sularında, tarımsal faaliyetler, atıksuların araziye deşarjı gibi nedenlerle karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu alanlarda yüksek nitrat konsantrasyonları gözlenmektedir. Pek çok çalışma, birçok ülkede yeraltı suyunda nitrat konsantrasyonunda artış olduğunu göstermektedir. Amerika’da içme suyu kaynağı olan kuyuların %10-25’inde nitrat konsantrasyonlarının sınır değerlerin oldukça üstüne çıktığı bildirilmektedir [2]. Avrupa’da ise tarım alanı olarak kullanılan bölgelerde bulunan yeraltı sularında nitrat konsantrasyonlarının yükseldiği ifade edilmektedir [3].

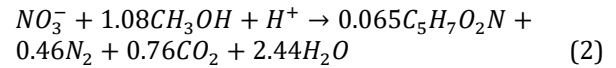
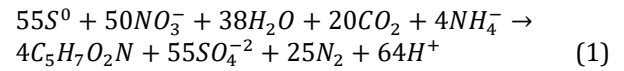
Türkiye’de de pek çok bölgede yapılan çalışmalarda yüksek nitrat konsantrasyonlarına rastlanmıştır [4]-6]. Harran ovasında yapılan bir çalışmada bölgede bulunan su kuyularının bazılarında nitrat konsantrasyonunun 180 mg/L NO₃⁻-N’ye kadar yükseldiği ortalama nitrat konsantrasyonunun ise 35 mg/L NO₃-N olduğu bildirilmiştir. Aksaray ili ve çevresinde bazı bölgelerde nitrat konsantrasyonunun sınır değerleri aştığı görülmektedir [7]. Aksaray ili içme suyu kaynaklarında yapılan başka bir çalışmada Bağlıköy ve Helvadere yeraltı sularında yüksek oranda nitrite rastlanmıştır. Melendiz, Karasu çayları ile bu kaynaklardan beslenen Mamasun barajında da nitrit ve amonyum değerleri oldukça yüksek bulunmuştur [6].

Nitratin insan sağlığı üzerine bilinen en yaygın toksik etkisi bebeklerde meydana getirdiği methemoglobinemi ve nitrat, nitrit alımının meydana getirebileceği kanser oluşumudur [8, 9]. Bu nedenle içme suyu olarak kullanılan sulardan nitratin giderilmesi gerekmektedir. Ucuz olması ve kolay bulunabilmesi nedeniyle kükürt, nitrat içeren suların denitrifikasyonu için oldukça iyi bir alternatiftir. Ayrıca, elementel kükürt toksik olmaması, yanıcı ve patlayıcı olmaması, kolay taşınabilmesi, suda çözünmemesi, stabil olması ve yan ürün olarak oluşabilmesi nedeniyle daha avantajlıdır. Bu proses in-situ (yerinde arıtım) ve sabit yataklı veya akışkan yataklı reaktörlerde ex-situ olarak kullanılabilir. Dolayısıyla, elementel kükürtün elektron verici olarak kullanıldığı ototrofik denitrifikasyon prosesi, yer altı sularından

nitrat giderimi için iyi bir alternatiftir. Ototrofik denitrifikasyon kullanımı ile diğer (fiziko-kimyasal prosesler ve heterotrofik denitrifikasyon) nitrat giderimi için kullanılan proseslerin pek çok dezavantajı elimine edilebilmektedir. Bu dezavantajların en önemlilerinden birkaçına değinilecek olursa bunlar; 1) çıkış suyunda organik madde kalıntılarının bulunması, 2) bakteri büyümesinin fazla olmasından dolayı çıkış suyunda bakteri kaçağı problemlerinin yaşanması, 3) elektron verici olarak kullanılan maddelerden dolayı ekonomik olmamasıdır [10].

Bununla birlikte kükürt bazlı ototrofik denitrifikasyonun da bazı dezavantajları vardır. Bunlar asit ve sülfat üretimidir [11]. Asit üretimi giriş suyuna eklenecek bikarbonat ilavesi ile dengelenebilmektedir. Ancak proses sonrası çıkış sülfat değerleri izin verilen sınır değer üzerine çıkabilmektedir. Kükürt bazlı ototrofik denitrifikasyonun dezavantajı olan asit üretimi ve sülfat üretimini ortadan kaldıracak çözüm ise miksotrofik denitrifikasyondur [12].

Miksotrofik denitrifikasyon, aynı reaktör içerisinde ototrofik denitrifikasyon ile heterotrofik denitrifikasyonun birlikte gerçekleştirilmesidir. Ototrofik denitrifikasyon sonucu asit üretilirken (Denklem 1), heterotrofik denitrifikasyon sonucunda alkalinite (Denklem 2) üretilmektedir. Ayrıca, heterotrofik denitrifikasyon prosesi oldukça hızlı ve ototrofik denitrifikasyon prosesindeki gibi sülfat üretimi söz konusu değildir. Her iki prosesin avantajları birleştirilerek dezavantajlarını elimine etmek mümkün olabilmektedir. Heterotrofik denitrifikasyon ile üretilen alkalinite ototrofik denitrifikasyon için kullanılabilir.



Ayrıca, nitratin heterotrofik yolla giderileceği miktar K/A oranıyla ayarlanmak suretiyle çıkış sülfat konsantrasyonu da sınır değerlerin altında tutulabilir.

Heterotrofik denitrifikasyon ve ototrofik denitrifikasyonun birlikte kullanıldığı, her iki prosesin avantajlarından bir arada yararlanılabilen bu proses ile hem giriş alkalinite ihtiyacı ortadan kaldırılabilir, hem sülfat konsantrasyonu kontrol altına alınabilir, hem de düşük A/F oranı kullanılarak ilave kimyasal maliyeti düşürülebilir

[1]. Stekiyometrik eşitliklerden yola çıkarak hesaplama yapıldığında mikstotrofik denitrifikasyon ile sülfatın sınır değerlerin altına düşürülmesi için nitratın yaklaşık %40'ının heterotroflar ve %60'nın da ototroflar tarafından giderilmesi gerektiği ortaya konmuştur.

Heterotrofik denitrifikasyon ve ototrofik denitrifikasyonun birlikte kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde prosese etki eden faktörlerin K/A oranı, nitrat giderim hızı, A/F oranı, HBS, sıcaklık, alkalinite ve pH olduğu bildirilmiştir [9, 13-17]. Prosesi etkileyen faktörler üzerine literatürde pek çok çalışma bulunmaktadır ancak fosforun etkisinin incelendiği çalışmaların oldukça az olduğu görülmüştür. Fan vd., (2018) yaptıkları çalışmada fosfor ilave edilmediği durumlarda nitrat giderim veriminin %60 seviyelerinde kaldığını, aralıklı yapılan fosfat ilavelerinin bile nitrat giderim verimini %91'e kadar yükselttiğini bildirmiştir.

Gerçek ölçekli membran biyoreaktörlerin ve aktif biyolojik filtrelerin kullanıldığı bir başka çalışmada ise denitrifikasyonun gerçekleştirilebilmesi için gerekli minimum nitrat ve fosfat konsantrasyonu farklı fosfat değerleri çalışılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Çalışmada $PO_4\text{-P}/NO_3\text{-N}$ oranının 0,0086 mg/L daha az olduğu durumlarda denitrifikasyonun sınırlandığı bildirilmiştir [18].

Hem içme sularında hem atıksularda nitrat gideriminde denitrifikasyon prosesinde fosfatın etkinliği üzerine pek çok bilgiye ulaşılabilir. Ancak heterotrofik denitrifikasyon ve ototrofik denitrifikasyonun birlikte kullanıldığı proseslerde fosfatın sınırlayıcı etkisinin ve A/F oranının optimum değerinin ne olduğu konusunda literatürde bir boşluk olduğu görülmüştür.

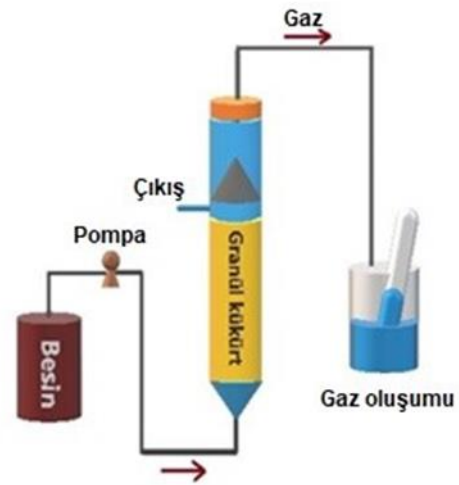
Bu nedenle çalışmada mikstotrofik denitrifikasyonun gerçekleşmesinde önemli olduğu görülen A/F oranının optimum değerinin belirlenmesi ve kimyasal kullanımının minimum düzeyde tutularak sistemin en ekonomik düzeyde işletilebilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Kolon reaktör kurulumu

Çalışmada kullanılan cam malzemeden yapılmış reaktör şekil 1'de gösterildiği şekilde tasarlanmıştır. Boş yatak hacmi (empty bed volume) 500 mL, çapı ise yaklaşık 5,5 cm olacak şekilde dizayn edilen reaktör yukarı akışlı olarak işletilmiştir. Besin bir peristaltik pompa (MINGYI,

CHINA) yardımıyla reaktöre verilmiştir. Reaktörde kullanılan dolgu malzemesi elementel granül kükürttür (1-4 mm) (Köseoğlu Ak Kükürt/Mersin) (Şekil 1). Granül kükürt reaktörün içerisinde 500 mL'lik hacim kaplayacak miktarda yerleştirilmiştir. HBS (Hidrolik bekleme süresi) 18 saat olarak belirlenmiş ve Nitrat Yükleme hızı 0,066 g $NO_3\text{-N}/(L.gün)$ de tutulmuştur. Çalışma süresince reaktör sıcaklığının ($20\pm 5C^0$) olması sağlanmıştır Reaktör sıcaklığı cam kolon üzerine yapılandırılan termometre ile ölçülmüştür. Anoksik şartların sağlanması amacıyla giriş besine 10 dk süreyle azot gazı verilmiş ve buzdolabında tutulmuştur.



Şekil 1. Deneysel çalışmalarda kullanılan kolon reaktör sistemi

2.2. Deneysel prosedür

Çalışmada öncelikli olarak bir kolon reaktörde ototrofik denitrifikasyon koşulları sağlanması için gerçek ölçekli bir arıtma tesisinin havalandırma havuzundan alınan bakteriler ile aşılama yapılmıştır. Sistemde elektron verici olarak granül kükürt kullanılmıştır. Kükürt ayrıca bakteriler için de bir büyüme ortamı oluşturmaktadır. Ototrofik denitrifikasyon koşullarının sağlanması amacıyla reaktör nitrat kaynağı olarak 50 mg/L $NO_3\text{-N}$, alkalinite kaynağı olarak 250 mg/L $NaHCO_3$ ve 10 mg/L $PO_4\text{-P}$ içeren musluk suyu ile beslenmiştir. Bu koşullar bakterilerin adaptasyonunun sağlanması için yaklaşık 2 ay süreyle devam ettirilmiştir. Bu süreçte çıkış suyunda alkalinite, nitrat, nitrit, sülfat ve pH takibi yapılmıştır.

Tablo 1. Musluk suyu analiz sonuçları.

Parametre	Birim	Analiz Sonucu
pH		7,47
Florür (F ⁻)	mg/L	0,285
Klorür (Cl ⁻)	mg/L	64,238
Nitrat (NO ₃ ⁻ -N)	mg/L	2,921
Sülfat (SO ₄ ²⁻)	mg/L	48,745
Sodyum (Na ⁺)	mg/L	49,41
Potasyum (K ⁺)	mg/L	0,049
Magnezyum (Mg ⁺²)	mg/L	22,52
Kalsiyum (Ca ⁺²)	mg/L	45,61

Çıkışta nitratın tükendiği nitrit oluşumunun gözlenmediği ve çıkış sülfat değerlerinin teorik sülfata yakın değerlere ulaştığı gözlemlendiğinde adaptasyonun süreci sonlandırılmış deneysel çalışmalara başlanmıştır. Bakteri adaptasyonunun sağlanması, ototrofik koşulların oluşması ve nitrat gideriminin gözlenmesinin ardından mikсотrofik denitrifikasyon koşullarının oluşması için besine metanol ilave edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan kolon reaktörün işletme parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.

2.3. Analizler

Tablo 2. Kolon reaktörün işletme parametreleri

Aşama	1	2	3
Gün	0-60	61-150	150-221
Nitrat Yükleme hızı g NO ₃ ⁻ -N/(L.gün)	0,066	0,066	0,066
Metanol (mg/L)	-	50 75 85 100	85
A/F oranı	5/1	5/1	5/1 5/0,5 5/0,25 5/0,1
Bikarbonat (mg/L)	250	250	250
Debi (mg/L.gün)	660	660	660

Besinin hazırlanmasında musluk suyu kullanılmış, içerisine işletme koşullarına uygun şekilde belirli konsantrasyonlarda nitrat, fosfat ve alkalinite kaynağı ilave edilmiştir. Kullanılan musluk suyu analiz sonuçları Tablo 1’de verilmiştir. Çalışma süresince hem besinde hem de çıkış suyunda nitrat, nitrit, sülfat, fosfat, çözünmüş organik karbon (ÇOK), alkalinite ve sertlik analizleri yapılmıştır. Nitrat, nitrit, sülfat ve fosfat

iyonlarının analizinde DIONEX 3000 iyon kromatografi cihazı kullanılmıştır. Sonuçlarda fosfat P, nitrat ve nitrit ise N cinsinden verilmiştir. ÇOK, toplam organik karbon (TOK) Ölçüm Cihazı (Teledyne Tekmar) ile analiz edilmiştir. Alkalinite metil oranj indikatör yöntemi ile standart metotlara göre ölçülmüştür [19]. Sertlik analizleri standart metotlara göre EDTA titrasyon metodu ile analiz edilmiştir [19].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Kükürt dolgulu kolon reaktörde denitrifikasyon

Çalışmanın 1. aşamasında kurulan kolon reaktörde denitrifikasyon koşullarının oluşturulması amaçlanmıştır. Ototrofik denitrifikasyonda electron alıcı olan nitrat 50 mg/L NO₃-N olarak ortama verilmiştir. HBS’nin 18 saat olduğu işletme koşullarında, pH’ın dengelenmesi amacıyla alkalinite kaynağı olarak sisteme NaHCO₃ verilmiştir. Adaptasyon süresince çıkış suyunda ortalama 75 mg/L CaCO₃ civarında alkalinite ölçüldüğünden, giriş suyu alkalinitesi yaklaşık 250 mg/L CaCO₃ olacak şekilde ayarlanmıştır. pH’ın istenilen aralıkta tutulabilmesi için 250 mg/L CaCO₃ alkalinitenin yeterli geldiği görülmüştür. Ototrofik denitrifikasyon koşullarının oluşması ve adaptasyonun sağlanması için 60 gün boyunca reaktörler (20 ±5 C⁰)’de belirtilen koşullarda çalıştırılmıştır (Tablo 2). 1. Aşamının sonunda nitratın yaklaşık %99 verimle giderildiği gözlenmiş ve 2. Aşamaya geçilmiştir (Şekil 2A). 2. aşamada mikсотrofik denitrifikasyon koşullarının oluşması için reaktöre 50 mg/L metanol verilmeye başlanmıştır.

Başlangıç metanol konsantrasyonu farklı mikсотrofik denitrifikasyon çalışmalarında belirlenen miktarlar değerlendirilerek seçilmiştir [9, 16, 20]. Heterotrofik bakterilerin çoğalarak heterotrofik denitrifikasyonun oluşması ile alkalinite üretimi başlamıştır. Mikсотrofik koşulların oluştuğunun göstergesi ototrofik denitrifikasyonda ihtiyaç duyulan alkalinite ihtiyacının ortadan kalkmasıdır. Heterotrofik bakterilerin ürettiği alkalinite, ototrofik bakterilerin ihtiyacını karşılayacak duruma geldiğinde yani giriş alkalinite değeri ile çıkış alkalinite değeri eşitlendiğinde NaHCO₃ verilmesi durdurulmuştur. Mikсотrofik denitrifikasyonda metanol konsantrasyonunun belirlenmesi için sülfat değeri de takip edilmiştir (Şekil 2B). Çıkış sülfat konsantrasyonunun izin verilen değerin (250

mg/L) altına düştüğü görülene kadar metanol konsantrasyonu kademeli olarak artırılmıştır (Tablo 2). 100 mg/L metanol konsantrasyonunda, 200 mg/L'ye kadar sülfat konsantrasyonunun düştüğü görülmüştür. Tekrar 85 mg/L metanol verilmeye başlanmış ve sülfat konsantrasyonu 250 mg/L altında sabit tutulmaya çalışılarak mikсотrofik denitrifikasyon koşulları korunmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada mikсотrofik koşulların 0,64 ÇOK/NO₃-N oranında gerçekleştiği ortaya konmuştur. Zhou ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bu değeri 0,75 olarak elde etmişlerdir [21]. Her 3 aşamada da nitrit birikimi gözlenmemiştir.

Şahinkaya ve Dursun mikсотrofik denitrifikasyonda sülfat eliminasyonu çalışmalarında ÇOK/NO₃-N oranını 0,74 olarak bulmuşlardır [9]. Benzer çalışmalar incelendiğinde bu çalışmada daha düşük metanol konsantrasyonu ile mikсотrofik koşulların oluşturulabildiği görülmüştür. Mikсотrofik denitrifikasyonun koşullarının oluşturulmasında farklı metanol konsantrasyonları ve optimum değerin belirlenmesi ÇOK analizi ile takip edilmiştir (Şekil 2D).

ÇOK grafiği (Şekil 2D) ve SO₄ grafiği (Şekil 2B) birlikte incelendiğinde sisteme girişte 100 mg/L metanol ilave edildiğinde çıkışta organik madde miktarının yükseldiği ve yine çıkışta SO₄ konsantrasyonunun 250 mg/L'nin oldukça altına düştüğü görülmüştür. Bu nedenle metanol konsantrasyonu tekrar 85 mg/L'ye düşürülmüştür. Metanol konsantrasyonları artsa da (50-100 mg/L) girişte ilave edilen metanolün kullanıldığı ve çıkışta dikkate değer organik madde görülmediği ortaya konmuştur (Şekil 2D). Kolon reaktöre uygulanan denitrifikasyon koşullarında optimum metanol konsantrasyonunun 85 mg/L olduğu belirlenmiştir. Böylece hem heterotrof bakterilerin ürettiği alkalinite ile ototrof bakterilerin ihtiyacı karşılanmış hem de çıkışta artan sülfat konsantrasyonu elimine edilebilmiştir.

3.2. Kükürt bazlı kolon reaktörde azot/fosfor (A/F) oranının etkisi

Mikсотrofik denitrifikasyonda heterotrof bakteriler elektron verici olarak metanolü kullanırken, ototrofik bakteriler kükürdü kullanmaktadır (Denklemler 1 ve 2).

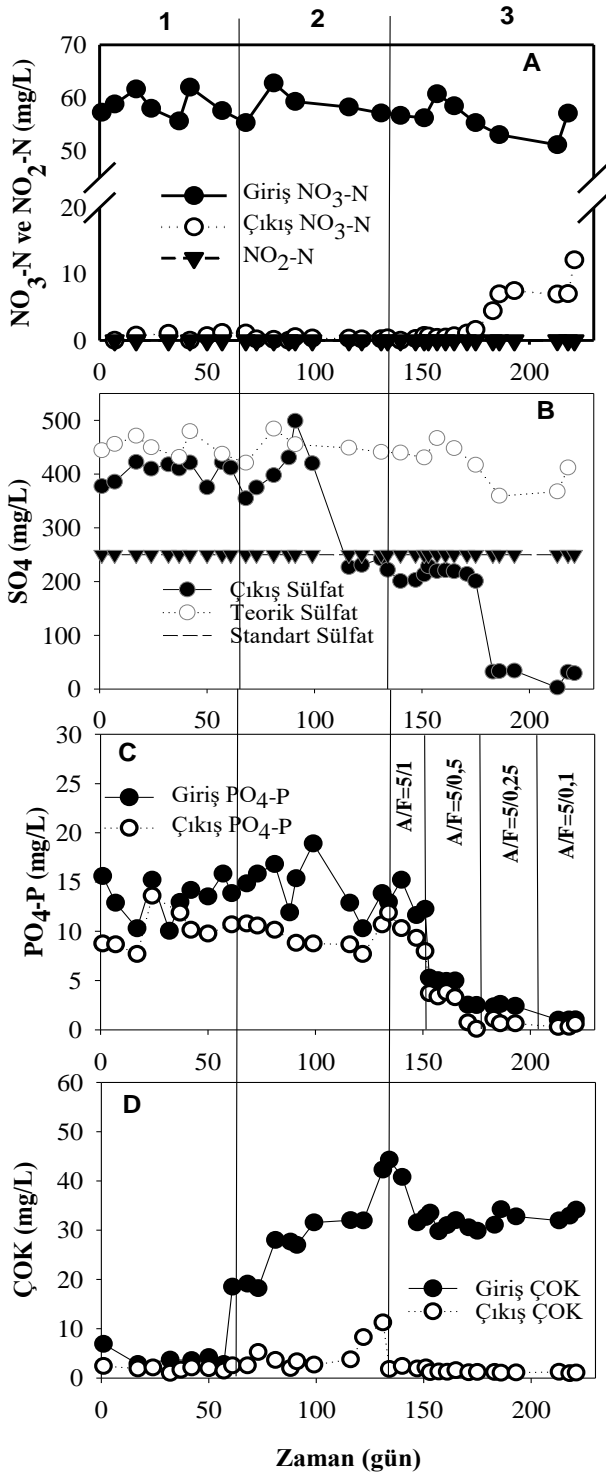
Fosfat denitrifikasyonda bakteri büyümesi için gerekli olan önemli bir makro elementtir ancak içme sularında fosfat içeriği oldukça düşüktür. Bu nedenle içme veya yeraltı sularının arıtımında

fosfat ilavesi yapmak gerekmektedir. Kimyasal ilavesi işletme maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle prosesin etkin bir şekilde işletilebildiği minimum fosfat miktarını belirlemek için 3. aşamaya geçilmiştir (Şekil 2C). Bu bölümde farklı A/F oranlarının denitrifikasyona etkisi araştırılmıştır. Benzer çalışmalarda çoğunlukla A/F oranı için 5/1 değeri baz alınırken daha düşük veya daha yüksek konsantrasyonlarda fosfat ilavesi yapan çalışmalara da rastlanmıştır [17]-[22]. Bu çalışmada mikсотrofik denitrifikasyonun gerçekleşmesi için gerekli optimum A/F oranı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla girişte NO₃-N konsantrasyonu sabit kalırken, farklı PO₄-P konsantrasyonları ile çıkışta NO₃-N giderimi takip edilmiştir.

Şekil 3'de verilen NO₃-N ve PO₄-P grafikleri birlikte incelendiğinde A/F oranının 5/1 ve 5/0,5 olduğu durumda nitratın neredeyse tamamının giderildiği denitrifikasyon veriminin yaklaşık %99 olduğu görülmektedir. Fosfat miktarı azaltılarak A/F oranı 5/0,25 olduğunda çıkışta nitrat konsantrasyonunun yükseldiği görülmektedir. Bu aşamada denitrifikasyon verimi %86'ya düşmüştür. Sonraki aşamada fosfat miktarı düşürülmüş ve A/F oranı 5/0,1 çalışılmıştır. Oldukça düşük konsantrasyonda fosfat ilavesinin yapıldığı bu aşamada çıkışta nitrat konsantrasyonunun arttığı, görülmektedir. Bu koşullarda denitrifikasyon verimi %76'ya düşmüştür. Görülmektedir ki giriş nitrat konsantrasyonunun ortalama 50 mg/L olduğu durumlarda 10 mg/L fosfat ilavesi yapmak yerine bu değer yarı yarıya düşürüldüğünde de denitrifikasyon başarılı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 2A ve 2C).

Fan vd., [17] yaptıkları çalışmada suda ki fosfor miktarının mikсотrofik denitrifikasyonda etkili olduğunu ve denitrifikasyon verimini artırdığını ifade etmişlerdir [17].

İçme sularında nitrat gideriminde oldukça etkin olan mikсотrofik denitrifikasyonda girişte organik madde ve fosfat ilavesi yapılması, sistemin elverişli olmakla birlikte, maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Biyolojik arıtım uygulamalarında makro element olarak fosfat ilavesi gereklidir. Aynı zamanda fosfat giderilmesi gereken önemli bir kirleticidir. Bu nedenle gereğinden fazla fosfat ilavesi yapmak yerine nitratın tamamının giderilebildiği durumda optimum fosfat gereksinimi ortaya konarak sistemin uygulanabilirliğinin yanı sıra ekonomik olduğu koşulların da ortaya konması önemli görülmüştür.



Şekil 2. Kolon reaktörde $\text{NO}_3\text{-N}$ (A), SO_4 (B), $\text{PO}_4\text{-P}$ (C) ve ÇOK (D) değerleri

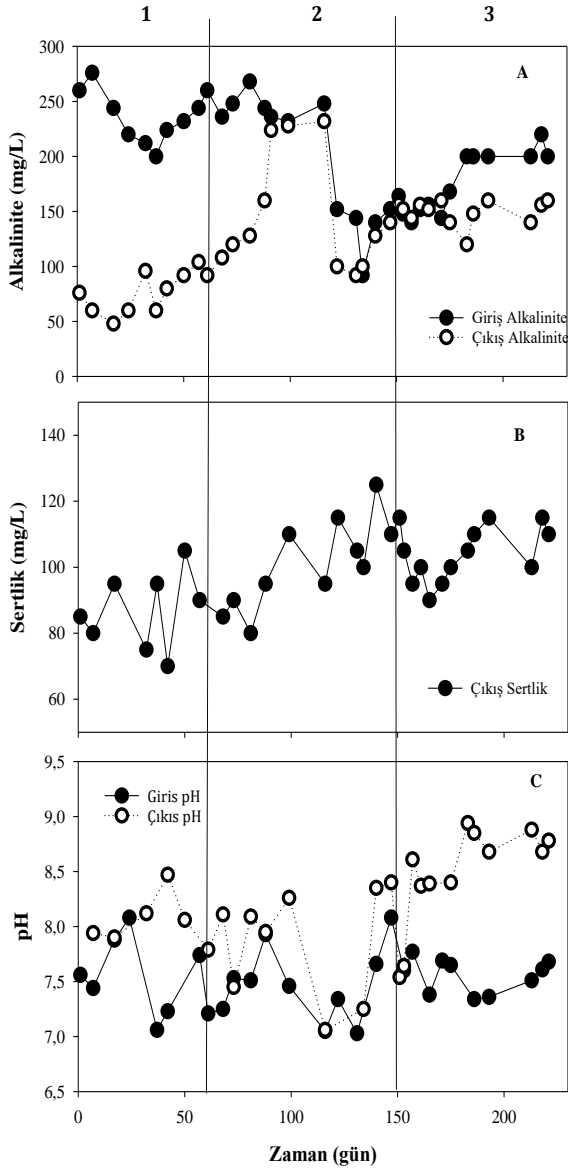
3.3. Kükürt bazlı kolon reaktörde alkalinite, sertlik ve pH Değişimleri

Miksotrofik denitrifikasyonda alkalinite oldukça önemlidir. Kararlı hal koşullarının oluşumu ve pH

kontrolünün yanı sıra aynı zamanda heterotrofik ve ototrofik denitrifikasyon arasında bir köprü görevi görür. Denitrifikasyon bakterilerinin aktivitesini etkileyerek denitrifikasyon verimini de yükseltir [23]. Bu nedenle alkalinite hem giriş hem de çıkışta düzenli olarak takip edilmiştir. 1. aşamada girişte ilave edilen alkalitenin %70'nin kullanıldığı görülmektedir (Şekil 3A). Reaktöre metanol ilave edildiği 2. aşamadan sonra çıkış alkalinite miktarının yükselmeye başladığı tespit edilmiştir.

Miksotrofik koşulların oluştuğunun görülmesinde alkalinite parametresi oldukça önemli bir göstergedir. Heterotrof bakterilerin ürettiği alkalinite, ototrof bakterilerin ihtiyacını karşılar duruma geldiğinde yani giriş alkalinite ve çıkış alkalinite miktarları eşitlendiğinde miksotrofik koşulların oluştuğu kabul edilmiştir (Şekil 3A). Denitrifikasyonun %99'a yakın bir verimle gerçekleştiği aşamada giriş ve çıkış alkalinite eşitliği devam etmiştir. Son aşamada A/F oranının yükselmesiyle denitrifikasyon verimindeki düşüş alkaliniteye de yansımış ve heterotrof bakterilerin ürettiği alkalinite ihtiyacı karşılayamamıştır. İçme sularının arıtımında sertlik parametresi de önemli olduğu için çalışma süresince sertlik analizleri de yapılmıştır. Sertliğin değişen koşullardan etkilenmediği ve içme suları için izin verilen en yüksek değer olan 250 mg/L'yi geçmediği görülmüştür (Şekil 3B).

Çalışma süresince takip edilen bir diğer parametrede pH'dır. Hem ototrofik bakteriler hem de heterotrofik bakterilerin büyümesi için gerekli olan optimum pH aralığı 5-9'dur [24]. 1. ve 2. aşamada giriş ve çıkış pH değerleri 7-8 aralığında dengede kalmıştır (Şekil 3C). 3. aşamada değişen A/F oranları pH'da değişimlere neden olmuştur. Nitrat gideriminin düşmesiyle girişte eklenen alkalinite kullanılmadığından pH, 9 değerine kadar yükselmiştir. 3. aşamada değişen sadece fosfat konsantrasyonu olmakla birlikte, nitrat giderimi, alkalinite ve pH arasında oldukça önemli bir ilişki olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Kolon reaktörde Alkalinite (A), Sertlik (B) ve pH (C) değerleri

4. Sonuç ve Öneriler

Kaynaklar

- [1] A. Öztürk, E. Şahinkaya and Ö. Çınar, "Sulfur-Based Mixotrophic Denitrification Process for Drinking Water Treatment and Community Fingerprinting," *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management*, 25-27 October, Denizli, 2018, pp. 1173-1180.
- [2] Y. Liu, H.H. Ngo, W. Guo, J. Zhou, L. Peng, D. Wang, X. Chen, J. Sun, B.J. Ni, "Optimizing sulfur-driven mixotrophic denitrification process: System performance and nitrous oxide emission", *Chemical Engineering Science*, vol.172, pp. 414-422, November 2017.
- [3] K.A. Karanasios, I.A. Vasiliadou, S. Pavlou, D.V. Vayenas, "Hydrogenotrophic denitrification of potable water: A review", *Journal of Hazardous Materials*, vol.180, pp. 20-37, August 2010.
- [4] I. Yesilnacar, E. Sahinkaya, M. Naz, B. Ozkaya, "Neural network prediction of nitrate in groundwater of Harran Plain, Turkey", *Environ. Geol.*, vol. 56 pp. 19-25, November 2007.

Bu çalışma biyolojik arıtım çalışmalarında oldukça önemli bir makro element olan fosfatın mikсотrofik denitrifikasyona etkisini belirlemek, nitrat giderim verimini etkileyecek optimum fosfat miktarını belirlemek amacıyla 3 aşamada yapılmıştır. 1. aşamada kolon reaktörde ototrofik denitrifikasyonun gerçekleştirilmesi hedeflenmiş ve yaklaşık %99 nitrat giderimi sağlanmıştır. 2. aşamada aynı reaktörde mikсотrofik denitrifikasyon koşullarının oluşturulması amaçlanmıştır. Bu sistemle, ototrofik denitrifikasyonun dezavantajları olan alkalinite ihtiyacı ve sülfat artışı elimine edilebilmiştir. 3. aşama çalışmanın asıl amacını oluşturan optimum A/F oranının belirlenmesidir. Bu aşamada elde edilen sonuçlara göre A/F oranının 5/0,5 ve üzeri olduğu durumda denitrifikasyon %99 verimle giderilebilirken daha düşük fosfat konsantrasyonlarında denitrifikasyon veriminin oldukça düşük olduğu görülmüştür (5/0,25, 5/0,1). Elde edilen optimum A/F oranı ile içme sularında kükürt bazlı denitrifikasyon uygulamalarında, fosfat ilaveleri nedeniyle oluşan gereksiz maliyet önlenebilecektir.

Teşekkür

Bu çalışma Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2019/025 proje no ile destek almıştır. Yazar ASÜ BAP birimi ve çalışmanın yürütüldüğü Bilimsel ve Teknolojik Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne teşekkür eder.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

- [5] S. Uçmaklıoğlu, “Aydın'da İçme Suyu Nitrit ve Nitrat Düzeylerinin Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisi (YBSK) ile Belirlenmesi,” Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, 2011.
- [6] M. Hınıs, “Aksaray İli İçme Suyu Kaynaklarının Arıtma Öncesi Organik Madde Miktarı Bakımından İncelenmesi ve Değerlendirilmesi”, Yüksek lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2007.
- [7] M. Kavurmacı, L. Altaş, Y. Kurmaç, M. Işık, H. Elhatip, “Tuz Gölü'nün Aksaray ili yeraltı sularına etkisinin coğrafi bilgi sistemi kullanılarak değerlendirilmesi”, *Ekoloji*, vol.19(77), pp. 29-33, Haziran 2010.
- [8] C.D. Rocca, V. Belgiorno, S. Meriç, “Heterotrophic/autotrophic denitrification (HAD) of drinking water: prospective use for permeable reactive barrier”, *Desalination*, vol. 210, pp. 194–204, June 2007.
- [9] E. Sahinkaya, N. Dursun, “Sulfur-oxidizing autotrophic and mixotrophic denitrification processes for drinking water treatment: Elimination of excess sulfate production and alkalinity requirement”, *Chemosphere*, vol.89, pp.144-149, September 2012.
- [10] R. Sierra-Alvarez, R. Beristan-Cardoso, M. Salazar, J. Gomez, E. Razo-Flores, A. Field, “Chemolithotrophic denitrification with elemental sulfur for groundwater treatment”, *Water Research*, vol. 41, pp. 1253- 1262, March 2007.
- [11] C. Zhang, “Development of sulfur-limestone autotrophic denitrification processes for treatment of nitrate-contaminated groundwater in small communities”, *Department of Civil Engineering, University of Nebraska-Lincoln, Omaha, USA, Project report*, August 2004.
- [12] E. Oh, B. Yoo, C. Young, S. Kim, “Effect of organics on sulfur-utilizing autotrophic denitrification under mixotrophic conditions”, *Journal of Biotechnology*, vol. 92, pp. 1-8, November 2001.
- [13] E.W. Kim, J.H. Bae, “Alkalinity requirements and the possibility of simultaneous heterotrophic denitrification during sulfur-utilizing autotrophic denitrification”, *Water science and technology*, vol. 42(3-4), pp. 233-238, August 2000.
- [14] J. Carrera, T. Vicent, F.J. Lafuente, “Influence of temperature on denitrification of an industrial high-strength nitrogen wastewater in a two-sludge system”, *Water Sa.*, vol. 29(1), pp. 11-16, August 2004.
- [15] J. F. Su, J.X. Shi, T.L. Huang, F. Ma, J.S. Lu, S.F. Yang, “Effect of nitrate concentration, pH, and hydraulic retention time on autotrophic denitrification efficiency with Fe (II) and Mn (II) as electron donors”, *Water science and technology*, vol. 74(5), pp. 1185-1192, September 2016.
- [16] S. Demirel, S. Uyanık, A. Yurtsever, H. Çelikten, D. Uçar, “Simultaneous Bromate and Nitrate Reduction in Water Using Sulfur-Utilizing Autotrophic and Mixotrophic Denitrification Processes in a Fixed Bed Column Reactor”, *CLEAN–Soil, Air, Water*, vol. 42(9), pp. 1185-1189 September 2014.
- [17] C. Fan, P. Wang, W. Zhou, S. Wu, S. He, J. Huang, L. Cao, “The influence of phosphorus on the autotrophic and mixotrophic denitrification”, *Science of the Total Environment*, vol. 643, pp. 127-133, December 2018.
- [18] P. Boltz, E. Morgenroth, G.T. Daigger, C. DeBarbadillo, S. Murthy, K.H. Sørensen, B. Stinson, “Method to identify potential phosphorus rate-limiting conditions in post-denitrification biofilm reactors within systems designed for simultaneous low-level effluent nitrogen and phosphorus concentrations”, *Water Research*, vol. 46(19), pp. 6228-6238, December 2012.
- [19] W. E. Federation, “Standard methods for the examination of water and wastewater”, *American Public Health Association (APHA), Washington DC, USA*: 21, 2005.
- [20] E. Sahinkaya, N. Dursun, A. Kilic, S. Demirel, S. Uyanık, O. Cinar, “Simultaneous heterotrophic and sulfur-oxidizing autotrophic denitrification process for drinking water treatment: control of sulfate production”, *Water research*, vol. 45(20), pp. 6661-6667, December 2011.
- [21] W. Zhou, B. Sun, Y. Zhan, M. Huang, T. Miyanaga, Z. Zhang, “Autotrophic denitrification for nitrate and nitrite removal using sulfur-limestone”, *Journal of Environmental Sciences*, vol. 23(11), pp. 1761-1769, November 2011.
- [22] E. Sahinkaya, A. Kilic, B. Calimlioglu, Y. Toker, “Simultaneous bioreduction of nitrate and chromate using sulfur-based mixotrophic denitrification process”, *Journal of hazardous materials*, vol. 262, pp. 234-239, November 2013.
- [23] L. Tang, J. Li, Y. Li, X. Zhang, X. Shi, “Mixotrophic denitrification processes based on composite filler for low carbon/nitrogen wastewater treatment”, *Chemosphere*, vol. 286 (2), 131781, January 2022.

- [24] S. Georg, D. Antoine, “Denitrification potential of a salt marsh soil: effect of temperature, pH and substrate concentration”, *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 14(2), pp. 117-125, November 1982.

Zemin Altı Otopark Yol Yüzeylerinde Buzlanma Önleyici Sistemin Hidronik Isıtma Kaplaması Kullanılarak Sayısal Olarak Modellenmesi

Nurullah KAYACI*

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ
(ORCID: [0000-0002-8843-8191](https://orcid.org/0000-0002-8843-8191))



Anahtar kelimeler: Yol güvenliği, Hidronik ısıtmalı Kaplama, Zemin altı otopark, Kar-buz oluşumu, MATLAB.

Öz

Metropol kentlerde yüksek katlı binalar veya rezidansların kış aylarında zemin altı otoparklarının giriş ve çıkış alanlarında oluşan kar veya buz nedeniyle araçların otoparka giriş ve çıkışları ciddi bir sorun teşkil etmektedir. Bir yol yüzeyindeki kaygan koşulları azaltmak için kimyasal tuz veya kar küreme gibi mekanik olan bazı konveksiyonel yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerin gerek yol altyapılarına gerekse çevresel sorunlara neden olduğundan daha çevreci ve alternatif bir yöntem olan Hidronik Isıtmalı Kaplama (HHP) yönteminin kullanılması ön plana çıkmaktadır. HHP yöntemi araçların geçtiği yolun altına yerleştirilmiş ve içinden sıcak akışkan geçen borulardan oluşmaktadır. Bu çalışmada, zemin altı otopark giriş ve çıkış yollarında oluşacak kar veya buzu önlemek amacıyla HHP sistemi için yeni bir model geliştirilmiştir. Önerilen modelin özgünlüğü ise, ısı kaynağı olarak kazan veya ısı pompası gibi ek bir ısıtma sistemi uygulamak yerine binanın merkezi ısıtma sisteminden faydalanılmasıdır. MATLAB programında geliştirilen yeni bir kod sayesinde, meteorolojik veriler kullanılarak, zemin otopark giriş ve çıkış alanının altına yerleştirilen PEX borularıyla araç yolunun ısıtılmasının zamana bağlı üç boyutlu olarak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Zemin otopark giriş ve çıkış yollarında buz ve kar oluşmaması için borular arası mesafe, gömme derinliği, hava sıcaklığı ve akışkan giriş sıcaklığının etkileri incelenmiştir. Ek olarak, farklı hava sıcaklıklarına göre hidronik ısıtma borularının yerleşiminin ve akışkan giriş sıcaklığının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir.

Numerical Modelling of Anti-icing System on Underground Car Park Road Surfaces Using Hydronic Heating Pavement

Keywords: Road safety, Hydronic heating pavement, Underground car park, Snow-ice formation, MATLAB.

Abstract

In winter months, it is serious problem for vehicles to enter and exit the car park due to snow or ice formed on the road surface of underground car park of high-rise buildings or residences in metropolitan cities. In order to reduce slippery conditions on a road surface, some conventional methods are used that are mechanical, such as chemical salt sprinkling or snow plowing. Since these methods cause both road infrastructures and environmental problems, the use of Hydronic Heating Pavement (HHP) method, which is a more greener and alternative method, comes to the fore. The HHP method consists of PEX pipes placed under underground car park road surfaces and hot fluid passing through them. In this study, a new model has been developed for the HHP system in order to prevent snow or ice formed on the underground car park road surfaces. However, the novelty of proposed model is that instead of implementing an additional heating system such as a boiler or heat pump as the heat source, the

*Sorumlu yazar: nkayaci@nku.edu.tr

Geliş Tarihi: 15.11.2021, Kabul Tarihi: 21.02.2022

central heating system of the building is used. Thanks to a new code developed in MATLAB, using meteorological data, transient 3-D temperature distribution is simulated in the heating of the road surface with PEX pipes placed under the surface of underground car park. The effects of distance between pipes, burial depth, air temperature and fluid inlet temperature on preventing ice and snow formed on road surface of the underground car park are examined. In addition to this, an optimization study is carried out for the placement of PEX pipes and fluid inlet temperature according to different air temperatures.

1. Giriş

Kış aylarında araç veya yaya olarak seyahat ederken yollardaki soğuk hava ve kar yağışının etkisiyle sürtünme katsayısının düşmesi birçok kazaları beraberinde getirmekte ve bu kazalar birçok kere oldukça yıkıcı sonuçlar doğurmaktadır [1]-[3]. Devletler vatandaşlarının yol güvenliğini sağlamak amacıyla düşük maliyetleri ve yüksek verimlilikleri nedeniyle kar ve buz çözücü tuzlar hala yaygın olarak uygulanmaktadır. Yapılan akademik çalışmalar ve projeler, bu tuzların yollara zarar verdiğini, bitki örtüsünü ve toprağı kirlettiğini göstermektedir [4]-[6]. Bir başka geleneksel kar temizleme yöntemi ise kar küreme makineleri ve süpürücüler gibi mekanik ekipmanların kullanılmasıdır. Mekanik ekipmanlar, yanlış kullanıldığında yol yüzeyine zarar vermekte ve bakım maliyetlerini artırmaktadır. Ayrıca mekanik ekipmanlar, yoğun kar yağışında çok daha fazla zaman ve iş gücü gerektirmektedir [7]. Bu iki kar kaldırma veya temizleme yöntemleri çevreci ve sürdürülebilir olmayan ve yıkıcı etkilere sahip olan yöntemler olduğu aşikârdır. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ve insanların çevreye olan duyarlılıkları, özellikle yenilenebilir enerji kullanım yöntemleri gibi çevre dostu ve sürdürülebilir teknikleri kullanıma sokmaya itmektedir. Bu yöntemlerden ön plana çıkan Hidronik Isıtımlı Kaplama (HHP) yöntemidir [8]. HHP sistemleri, kar ve buz oluşumunu engellemek amacıyla yolların altına yerleştirilen PEX borularının içinde sıcak akışkan dolaştırılarak uygulanmakta ve bu sıcak akışkanı elde etmek için atık ısı [9], jeotermal [10]-[12] veya güneş enerjileri [13],[14] gibi kullanılmaktadır.

HHP sistemlerinin yollarda uygulanması ilk olarak 1948'de ABD'nin Oregon eyaletinde uygulanmış ve bu sistemde enerji kaynağı olarak jeotermal sıcak su kullanılmıştır [15]. Kurulan diğer bir HHP sistemi, İsviçre'de 1994'te yenilenebilir enerjiler

kullanarak bir köprü yüzeyinin kar ve buzunu çözmek için SERSO adı verilen bir proje başarıyla uygulanmıştır [16]. 2002'de Japonya kurulan ısıtılmalı kaldırımlar ve 2005'te Almanya'da tren platformuna kurulan ısıtma sistemleri de başka örnekler olarak söylenebilir [8].

HHP sistemini analiz etmek için farklı sayısal çalışmalar geliştirilmiş ve bu çalışmalarda yüzeyde kar ve buz oluşumunun önüne geçmek için çözüm alanının 3-D sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Bunu gerçekleştirmek için bazı çalışmalarda hazır paket programları COMSOL [13], ANSYS FLUENT [17] vb. kullanılırken bazı çalışmalarda ise programlama dillerinde yeni bir kod geliştirilmiştir.

Bu çalışmada, zemin altı otopark giriş ve çıkış yollarında oluşacak kar ve buz önlemek amacıyla HHP sisteminin 3-boyutlu modellenmesi MATLAB programında geliştirilen yeni bir kod sayesinde gerçekleştirilmiştir. Zemin otopark giriş ve çıkış alanının altına PEX boruları yerleştirilerek hidronik olarak araç yolunun ısıtılarak kar ve buz oluşumunun önüne geçilmesi noktasında simülasyon çalışmaları yapılmıştır. Zemin otopark giriş ve çıkış yollarına uygulanan HHP sisteminde borular arası mesafe, gömme derinliği, hava sıcaklığı ve akışkan giriş sıcaklığının etkileri incelenmiştir. Ek olarak, farklı hava sıcaklıklarına göre HHP sistemine ait ısıtma borularının yerleşiminin ve akışkan giriş sıcaklığının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın özgünlüğü, (i) ısı kaynağı olarak kazan veya ısı pompası gibi ek bir ısıtma sistemi uygulamak yerine binanın merkezi ısıtma sisteminden faydalanılması, (ii) HHP sisteminde gerçekçi sınır koşullarına bağlı, meteorolojik verileri kullanarak, zamana bağlı 3-boyutlu sıcaklık dağılımını elde etmek için MATLAB programında yeni bir kod geliştirilmesidir.

2. Materyal ve Metot

2.1 Sayısal model

Zemin otopark giriş ve çıkış yollarında donatılı betona yerleştirilen boruların etrafındaki üç boyutlu sıcaklık dağılımını çözmek için, meteorolojik veriler kullanılarak gerçekçi sınır koşullarına sahip yeni bir model geliştirilmiştir. Donatılı ve donatısız betondaki ısı transfer denklemleri, su sıcaklığının çözüm alanına dâhil edilmesiyle dinamik sınır koşullarına sahip iki boyutlu geometride çözüm gerçekleştirilmiştir. Bunun nedeni, boru eksenini boyunca sıcaklık gradyanı çok küçük olduğu için ihmal edilebilir olmasıdır. İlk olarak, Denk. (1) tüm çözüm alanı için iki boyutlu olarak çözülmekte ve daha sonra çözüm, üç boyutlu çözümü elde etmek için boru uzunluğu boyunca genişletilmektedir.

$$\frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial y^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} \quad (1)$$

Sayısal problemi basitleştirmek için mevcut çalışmada bazı varsayımlar yapılmıştır. İlk varsayım, tüm yatay boruların donatılı beton ortamında aynı derinlikte gömülü olduğudur. İkinci olarak, su sıcaklığı y yönünde (boru eksenine dik) sabitken her boru için aynı akış hızı varsayılır. Üçüncü varsayım, hem kütle transferinin hem de kolektörlerin ısı transferi üzerindeki etkileri ihmal edilmiştir. Son olarak, ısı transfer ortamının (donatılı veya donatısız beton) homojen olduğu varsayılır; dolayısıyla termal özellikler (iletkenlik, difüzyon vb.) sabit değer olarak kabul edilir.

Zemin otopark giriş ve çıkış yollarında donatılı betona yerleştirilen yatay borular ve HHP sisteminin çözüm alanı Şekil 1'de görülmektedir. HHP sistemine ait geliştirilen modelde, L_p yatay paralel boruların uzunluğunu, B_p ise borular arası mesafeyi göstermektedir. Boruların gömüldüğü dikey mesafeye P_d , donatısız beton ve donatılı betonun dikey mesafeleri de sırasıyla S_p ve S_c 'dir. S_d ise simülasyon derinliğidir. Modelin alt sınır bölgesinden ($y=S_d$) izolasyon uygulandığında

dolayı alt sınır bölgesinden aşağıya doğru ısı transferi (q_a) olmadığı varsayılmıştır. q_t beton yüzeyinde meydana gelen tüm ısı akılarının toplamını ifade etmektedir. Çözüm alanı için problemin başlangıç ve sınır koşulları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır;

$$T_i = T(P_d, t) \Rightarrow t = 0 \quad (2)$$

$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=B_p/2} = 0 \quad (3)$$

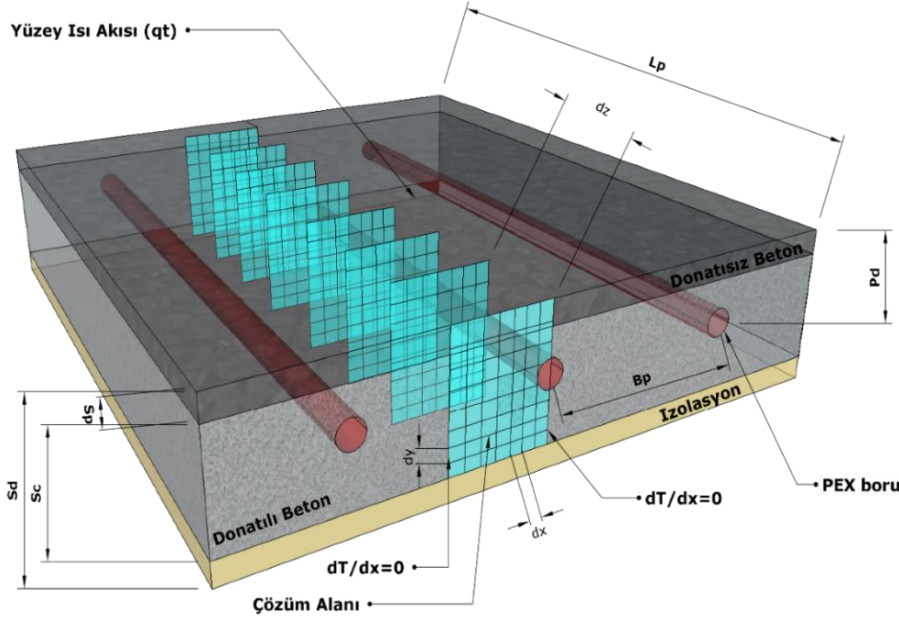
$$\left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} = 0 \quad (4)$$

$$q_a (W / m^2) = 0, \quad y = S_d \quad (5)$$

$$q_t (W / m^2), \quad y = 0 \quad (6)$$

Enerji denge denklemleri yazılarak yüzey ısı akıları, yüzey-ortam ısı etkileşimi mekanizmaları dikkate alınarak gerçekleştirilir. Donatısız beton yüzeyindeki meydana gelen ısı akıları Taşınım, Buharlaştırma, Gelen güneş radyasyonu, Giden ve Gelen uzun dalga radyasyonu olup, bunlara ait eşitlikler MATLAB'da geliştirilen modelin içerisine meteorolojiden alınan verilerle birlikte entegre edilmiştir [18],[19]. Bu veriler, Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün İstanbul istasyonunda ölçülen veriler olup, toprak yüzeyinde meydana gelen tüm ısı akıları hesaplanırken kullanılmıştır. İstanbul için ölçülen bu veriler şöyledir; aylık ortalama rüzgâr hızları, bağıl nemleri, en düşük ve en yüksek hava sıcaklıkları, güneş radyasyonları ve güneşlenme süreleridir.

Akışkan giriş ve çıkış sıcaklıklarını hesaplamak için borunun tamamını küçük parçalara ayırarak iki boyutlu çözüm alanları birbirlerine bağlanarak üç boyutlu donatılı betondaki sıcaklık profilleri elde edilmiştir. Geliştirilen modelde boru boyunca küçük bölümlere bölünen boruda, boru girişinden itibaren birinci bölümden çıkan akışkan sıcaklığı ikinci bölümün akışkan giriş sıcaklığı olarak alınmış ve bu boru boyunca gerçekleştirilerek üç-boyutlu sıcaklık profili elde edilmiştir. Akışkan çıkış sıcaklıkları, donatılı betonda boru ile çözüm alanı arasındaki enerji dengesi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır;



Şekil 1. HHP sistemi ve çözüm alanı

$$T_{f,o} = T_c - (T_c - T_{f,in}) e^{\frac{-k_{RC} L_p}{m_f C_{p,f}}} \quad (7)$$

$T_{f,in}$, $T_{f,o}$ ve T_c sıcaklıkları sırasıyla akışkan giriş, çıkış ve beton sıcaklıklarını ifade etmektedir. C_p ve m_f ise sırasıyla akışkanın özgül ısı ve kütleli debisini simgelemektedir. k_{RC} borunun yerleştirildiği donatılı betonun ısı iletim katsayısıdır.

2.2 Sayısal modelin çözümü

Donatılı betondaki ısı transferinin çözümünde Değişen Yönlü Kapalı Formülasyon (DYKF-Alternating direction implicit) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, birbirini izleyen iki zaman adımında satır ve sütunlar için ayrı ayrı fark formülleri yazılarak düğüm sıcaklıkları elde edilmiştir. DYKF yönteminde Denk. (1)'in sonlu fark formu (n+1)'inci zamanda şöyledir;

$$\frac{T_{i,j}^{n+1} - T_{i,j}^n}{\alpha \Delta t} = \frac{T_{i-1,j}^{n+1} - 2T_{i,j}^{n+1} + T_{i+1,j}^{n+1}}{(\Delta x)^2} + \frac{T_{i,j-1}^n - 2T_{i,j}^n + T_{i,j+1}^n}{(\Delta y)^2} \quad (8)$$

(n+2)'inci zamanda ise;

$$\frac{T_{i,j}^{n+2} - T_{i,j}^{n+1}}{\alpha \Delta t} = \frac{T_{i-1,j}^{n+1} - 2T_{i,j}^{n+1} + T_{i+1,j}^{n+1}}{(\Delta x)^2} + \frac{T_{i,j-1}^{n+2} - 2T_{i,j}^{n+2} + T_{i,j+1}^{n+2}}{(\Delta y)^2} \quad (9)$$

x ve y yönünde eşit aralık için;

$$\Delta x = \Delta y, \quad \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta x)^2} = \frac{\alpha \Delta t}{(\Delta y)^2} = r \quad (10)$$

Bu formüller, her bir zaman adımında bilinenleri ve bilinmeyenleri bir arada olacak şekilde aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir;

$$-r T_{i-1,j}^{n+1} + (1+2r) T_{i,j}^{n+1} - r T_{i+1,j}^{n+1} = r T_{i,j-1}^n + (1-2r) T_{i,j}^n + r T_{i,j+1}^n \quad (11)$$

$$-r T_{i,j-1}^{n+2} + (1+2r) T_{i,j}^{n+2} - r T_{i,j+1}^{n+2} = r T_{i-1,j}^{n+1} + (1-2r) T_{i,j}^{n+1} + r T_{i+1,j}^{n+1} \quad (12)$$

HHP sistemi için geliştirilen model incelendiğinde, donatılı ve donatısız olmak üzere iki farklı katman bulunmakta ve bu katmanların termofiziksel özellikleri farklı olduğundan dolayı geliştirilen modele ayrı ayrı tanımlanması gerekmektedir. Bundan dolayı, donatılı ve donatısız beton arayüzeyinde her bir düğüm etrafındaki kontrol hacmi için enerji dengesi yazılmıştır. Şekil 2, düğüm etrafındaki kontrol hacmi ve ısı akıları dikkate alınarak donatılı ve donatısız beton arasındaki katman ara yüzeyindeki bir düğüm için enerji dengesini göstermektedir. Enerji dengesi aşağıda verilmiştir:

$$q_1 - q_2 + q_3 - q_4 = (\rho C_p)_{ave} (\Delta x)(\Delta y) \frac{\partial T_{i,j}}{\partial t} \quad (13)$$

Burada;

$$(\rho C_p)_{ave} = \frac{(\rho C_p)_{RC} + (\rho C_p)_{PC}}{2}, k_{ave} = \frac{k_{RC} + k_{PC}}{2} \quad (14)$$

Isı akısı terimleri ise:

$$q_1 = k_{ave} \frac{T_{i-1,j}^n - T_{i,j}^n}{\Delta x} \quad (15)$$

$$q_2 = k_{ave} \frac{T_{i+1,j}^n - T_{i,j}^n}{\Delta x} \quad (16)$$

$$q_3 = k_{PC} \frac{T_{i,j-1}^n - T_{i,j}^n}{\Delta y} \Delta x \quad (17)$$

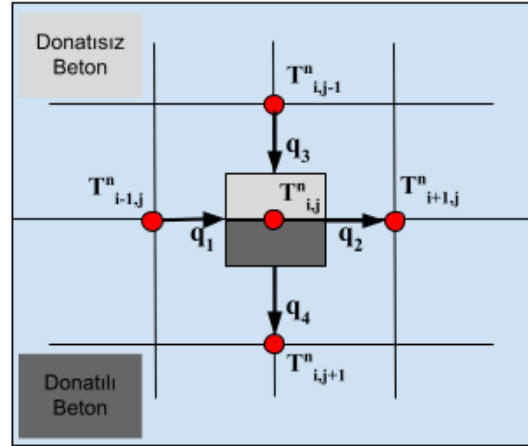
$$q_4 = k_{RC} \frac{T_{i,j+1}^n - T_{i,j}^n}{\Delta y} \Delta x \quad (18)$$

RC ve PC alt indisi sırasıyla donatılı ve donatısız betonu ifade etmektedir. C_p, ρ ve k sırasıyla katmanın özgül ısı, yoğunluk ve ısı iletim katsayısını simgelemektedir. DYKF yönteminin fark formülleri yeniden ele alınarak donatılı ve donatısız beton tabakasının üst ve alt arayüzey düğümleri için yeni fark formülleri elde edilmiştir. Denk. (19) ve (20) sırasıyla satırlar ve sütunlar için yeni ara yüzey formülleri olmuştur [20],[21].

$$-r_{ave} T_{i-1,j}^{n+1} + (1 + 2r_{ave}) T_{i,j}^{n+1} - r_{ave} T_{i+1,j}^{n+1} = r_{RC} T_{i,j-1}^n + (1 - r_{RC} - r_{PC}) T_{i,j}^n + r_{PC} T_{i,j+1}^n \quad (19)$$

$$-r_{RC} T_{i,j-1}^{n+2} + (1 + r_{RC} + r_{PC}) T_{i,j}^{n+2} - r_{PC} T_{i,j+1}^{n+2} = r_{ave} T_{i-1,j}^{n+1} + (1 - 2r_{ave}) T_{i,j}^{n+1} + r_{ave} T_{i+1,j}^{n+1} \quad (20)$$

DYKF denklemleri kullanılarak belirli bir zamanda donatılı ve donatısız betondaki sıcaklık dağılımı ardarda olarak çözülür. Sonuç matrisleri üç köşegenli olduğundan bu denklemler Thomas Algoritması kullanılarak çözülmüştür. DYKF sonlu fark denklemleri gerçekçi sınır koşulları ve meteorolojik verilerle birlikte MATLAB programına entegre edilerek çözülmüştür. MATLAB programında geliştirilen kodun çözüm algoritmasının akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Donatılı ve donatısız beton katmanlarının ara yüzeyindeki enerji dengesi

3. Simülasyon çalışması (İstanbul örneği)

Metropol kentlerde yüksek katlı binalar veya rezidansların kış aylarında zemin altı otoparklarının giriş ve çıkış alanlarında oluşan kar veya buz nedeniyle araçların otoparka giriş ve çıkışları neredeyse imkânsız hale gelmektedir. Bunun önüne geçmek için Hidronik Isıtımlı Kaplama (HHP) yönteminin kullanılması şüphesiz doğru bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, İstanbul'da zemin otopark giriş ve çıkış yollarında oluşacak kar veya buz önlemek amacıyla HHP sisteminin gerçekçi sınır koşulları ve meteorolojik verilerle MATLAB programında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. PEX boruların gömülü olduğu alana (8 m x 5 m) yatay ve paralel HHP sistemi yerleştirilerek otopark giriş ve çıkışlarında oluşacak kar veya buzun oluşmaması için simülasyon çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmanın özgünlüğü, MATLAB programında geliştirilen bir kod olması dışında, ısı kaynağı olarak kazan veya ısı pompası gibi ek bir ısıtma sistemi uygulamak yerine binanın merkezi ısıtma sisteminin ısısından faydalanılmasıdır. Şekil 4'de binanın ısıtma sistemine gidiş ve dönüş hatları ve zemin otoparkına giriş ve çıkış yollarının altına yani donatılı ve donatısız betona yerleştirilen PEX borularının şematik görünümü sunulmuştur.

Donatısız beton yüzeyindeki tüm ısı akıları yukarıda bahsedilen sayısal modele dahil edilirken Türkiye Meteoroloji Genel müdürlüğü İstanbul ofisinden alınan veriler MATLAB programına dahil edilerek simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmalarında kullanılan anahtar parametrelerin değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

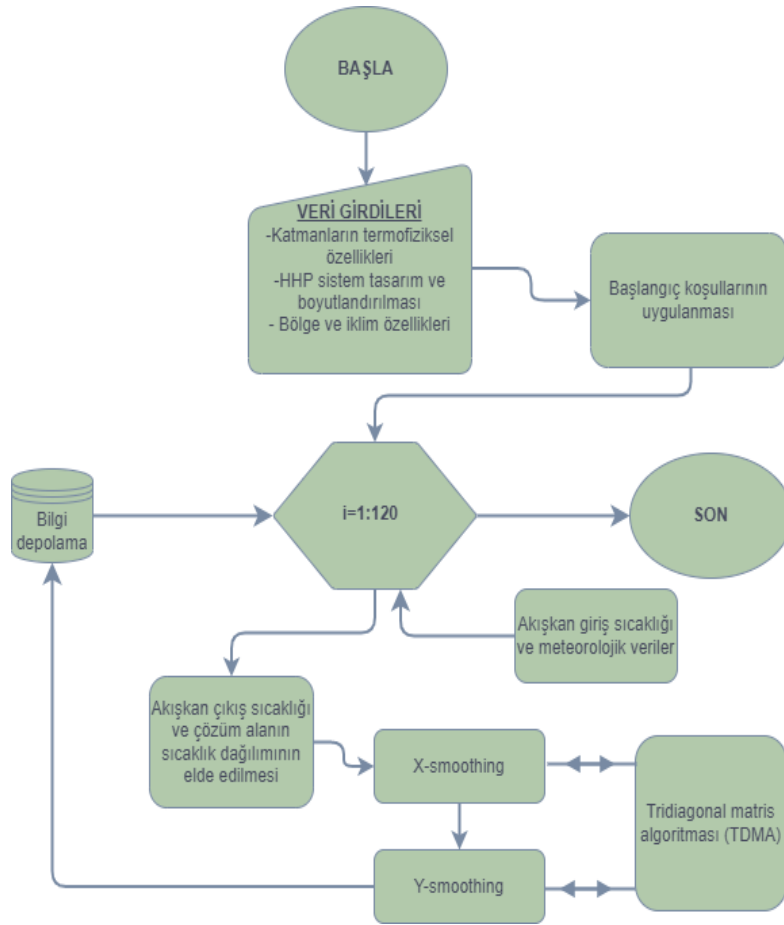
MATLAB programında geliştirilen HHP sistemine ait gerçekleştirilen simülasyon

çalışmalarının detayları Tablo 2’te verilmiştir. Simülasyonlar, İstanbul’da zemin otopark giriş ve çıkış yollarında oluşacak kar veya buzu önlemek amacıyla HHP sisteminin, 5 günlük süre boyunca gerçekçi sınır koşulları ve meteorolojik verilerle MATLAB programında modellenerek uygulanmıştır.

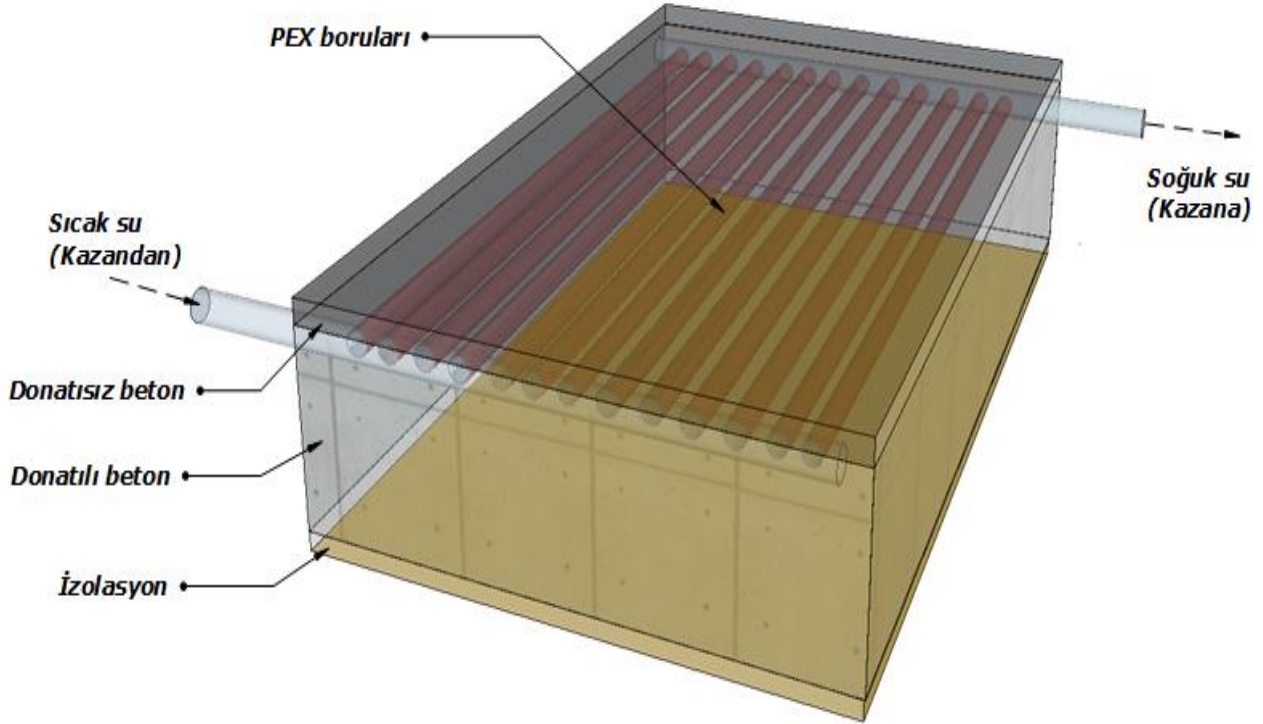
4. Bulgular ve Tartışma

Yüksek katlı binalar veya rezidansların zemin altı otoparklarının rampalı giriş ve çıkış alanlarında kış aylarında meydana gelen kar veya buz araçların otoparka giriş ve çıkışlarını oldukça zor bir durum haline getirmektedir. Bu çalışmada, İstanbul’da zemin otopark giriş ve çıkış yollarında oluşacak kar veya buzu önlemek amacıyla HHP sisteminin gerçekçi sınır koşulları ve meteorolojik verilerle MATLAB programında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışma kapsamında, bir binanın rampalı otopark giriş ve çıkış yollarının

altına yerleştirilen PEX boruları sayesinde otopark giriş ve çıkışlarında oluşacak kar veya buzun oluşmaması noktasında simülasyon çalışmaları yapılmıştır. HHP sisteminde, otopark giriş ve çıkış yollarının yüzeyine yerleştirilen sensörler yardımıyla sistem kontrolörü devreye girmekte ve kazandan su alınmakta ve akabinde sıcak su PEX borularında dolaşarak yüzeyde kar veya buzun oluşmasını engellemektedir. Yapılan simülasyon çalışmalarında, rampalı otopark giriş ve çıkış yollarında buz ve kar oluşmaması için gömme derinliği, akışkan giriş sıcaklığı, hava sıcaklığı ve borular arası mesafenin etkileri incelenmiştir. Ek olarak, farklı hava sıcaklıklarına göre hidronik ısıtma borularının yerleşiminin ve akışkan giriş sıcaklığının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 5, $T_{f,in}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$, $B_p=0.1\text{ m}$ ($N=50$) ve $T_{hava}=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerleri alınarak, farklı gömme derinliğine göre yüzeyden dikey mesafedeki ve boru merkezinden yatay mesafedeki sıcaklık dağılımını göstermektedir.



Şekil 3. Çözüm algoritmasının akış diyagramı



Şekil 4. Isıtma sisteminin PEX borularına bağlantısı ve sistem elemanlarının şematik görüntüleri

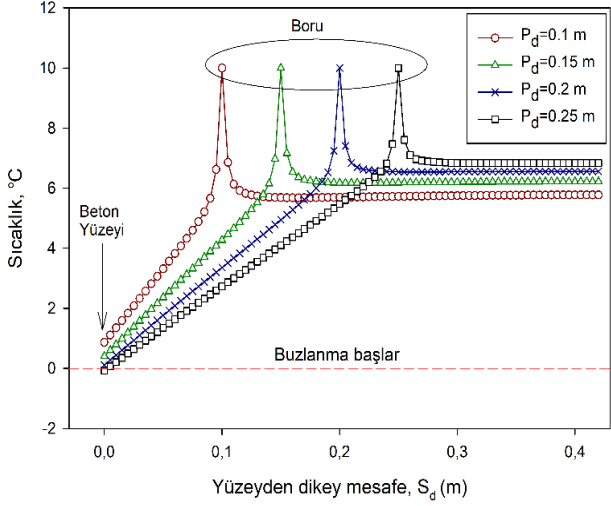
Tablo 1. Simülasyonda kullanılan parametrelerin değerleri

İş akışkanı	Su+Etilen Glikol, $Q_f= 1.143 \text{ m}^3/\text{h}$ ($N=50$)
Donatılı beton özellikleri	$k_{RC}=2.5 \text{ W/mK}$, $C_p=750 \text{ J/kgK}$, $\rho=2400 \text{ kg/m}^3$
Donatısız beton özellikleri	$k_{PC}=0.7 \text{ W/mK}$, $C_p=920 \text{ J/kgK}$, $\rho=2110 \text{ kg/m}^3$
Katmanlarındüşey uzunlukları	$S_c=0.36 \text{ m}$, $S_p=0.06 \text{ m}$
Boru özellikleri	PEX, $k_b=0.40 \text{ W/mK}$
Boru geometrisi	$L_p=8 \text{ m}$, $D_o/D_i = 15/10 \text{ mm}$
Borular arası mesafe	$B_p=0.05 \text{ m}$ ($N=100$) - $B_p=0.2 \text{ m}$ ($N=25$)
Gömme derinliği	$P_d= 0.1-0.25 \text{ m}$
Akışkan Sıcaklığı	$T_{f,in}=10 \text{ }^\circ\text{C}$ - $70 \text{ }^\circ\text{C}$
Dış Hava Sıcaklığı	$T_{hava}= -10 \text{ }^\circ\text{C}$, $- 5 \text{ }^\circ\text{C}$, $0 \text{ }^\circ\text{C}$

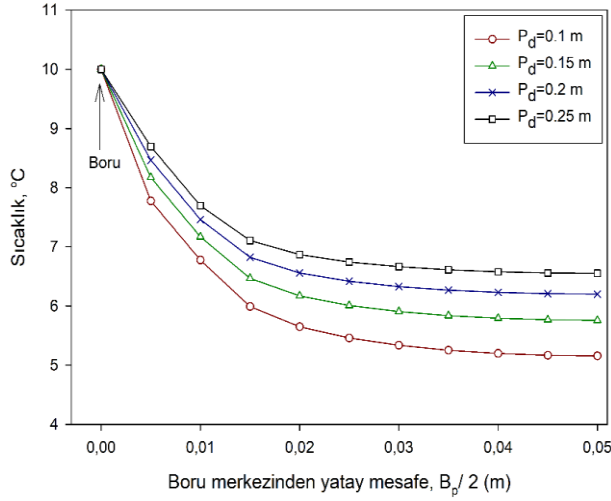
Tablo 2. Simülasyon çalışmasının detayları

Simülasyonlar	N	B_p	P_d	T_{fin}	T_{hava}
Sim.1	50	0.1	0.1	10 °C	0 °C
Sim.2	50	0.1	0.15	10 °C	0 °C
Sim.3	50	0.1	0.2	10 °C	0 °C
Sim.4	50	0.1	0.25	10 °C	0 °C
Sim.5	50	0.1	0.1	10 °C	0 °C
Sim.6	50	0.1	0.1	20 °C	0 °C
Sim.7	50	0.1	0.1	30 °C	0 °C
Sim.8	50	0.1	0.1	40 °C	0 °C
Sim.9	50	0.1	0.1	10 °C	-5 °C
Sim.10	50	0.1	0.1	20 °C	-5 °C
Sim.11	50	0.1	0.1	30 °C	-5 °C
Sim.12	50	0.1	0.1	40 °C	-5 °C
Sim.13	50	0.1	0.1	10 °C	-10 °C
Sim.14	50	0.1	0.1	20 °C	-10 °C
Sim.15	50	0.1	0.1	30 °C	-10 °C
Sim.16	50	0.1	0.1	40 °C	-10 °C
Sim.17	50	0.1	0.1	50 °C	-10 °C
Sim.18	100	0.05	0.1	10 °C	-5 °C
Sim.19	100	0.05	0.1	20 °C	-5 °C
Sim.20	100	0.05	0.1	30 °C	-5 °C
Sim.21	100	0.05	0.1	10 °C	-10 °C
Sim.22	100	0.05	0.1	20 °C	-10 °C
Sim.23	100	0.05	0.1	30 °C	-10 °C
Sim.24	100	0.05	0.1	40 °C	-10 °C
Sim.25	25	0.2	0.1	30 °C	-5 °C
Sim.26	25	0.2	0.1	40 °C	-5 °C
Sim.27	25	0.2	0.1	50 °C	-5 °C
Sim.28	25	0.2	0.1	60 °C	-5 °C
Sim.29	25	0.2	0.1	30 °C	-10 °C
Sim.30	25	0.2	0.1	40 °C	-10 °C
Sim.31	25	0.2	0.1	50 °C	-10 °C
Sim.32	25	0.2	0.1	60 °C	-10 °C
Sim.33	25	0.2	0.1	70 °C	-10 °C

Farklı gömme derinlikleri ($P_d=0.1$ m, $P_d=0.15$ m, $P_d=0.2$ m ve $P_d=0.25$ m) dikkate alınarak $S_d=0$ 'dan (beton yüzeyi) simülasyon derinliğine kadar dikey olarak sıcaklığın dağılımı Şekil 5a'da verilmiştir.



(a)



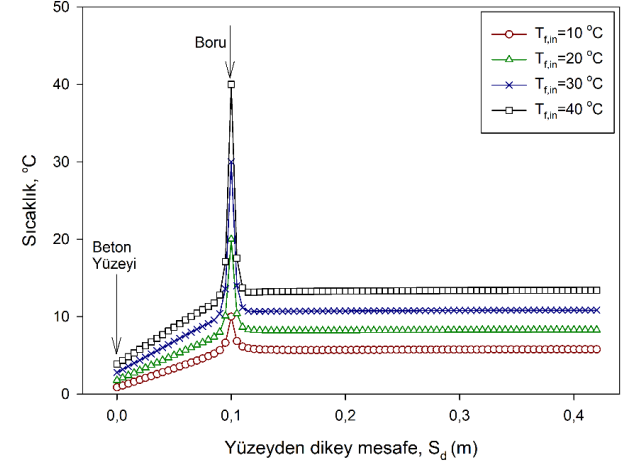
(b)

Şekil 5. Farklı gömme derinliğine göre dikey (a) ve yatay (b) sıcaklık dağılımı

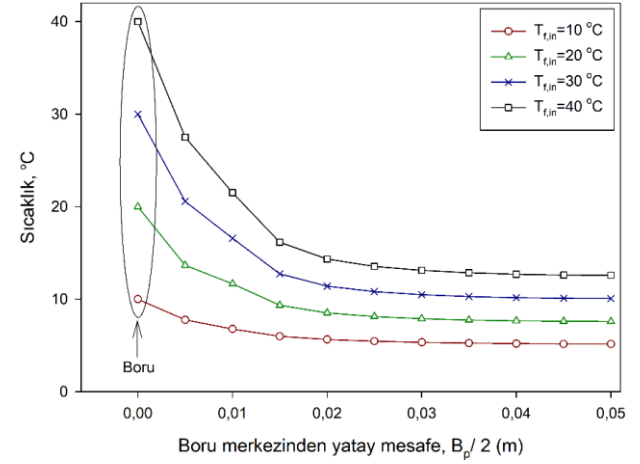
Buzlanma $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de başlamakta olup, $P_d=0.2\text{ m}$ 'den daha büyük gömme derinliğinde buzlanma probleminin başlaması gerçekleşmektedir. Gömme derinliğinin yüzeye en yakın olduğu yerde yani $P_d=0.1\text{ m}$ 'de en yüksek sıcaklık elde edilmiştir. PEX borularının yüzeye yakın olması kar veya buz oluşumunun engellenmesinde önemli bir sonuç olduğu söylenebilir. Ek olarak, borunun gömüldüğü derinlikte boru içerisinde $T_{f,in}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de akışkan sağlandığından dolayı tüm gömme derinliklerinde en yüksek sıcaklık o bölgede oluşurken daha derinlere doğru sıcaklık çok değişmemektedir. Şekil 5b'de borunun olduğu yerde $T_{f,in}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de akışkan sağlandığından dolayı sıcaklık en yüksek olurken borudan yatay olarak uzaklaştıkça sıcaklık düşmektedir. Gömme

derinliği arttıkça yüzeye ulaşan ısı transferi azalmakta yani sıcaklık farkı daha az olduğu Şekil 5b'de görülmektedir.

$P_d=0.1\text{ m}$, $B_p=0.1\text{ m}$ ($N=50$) ve $T_{hava}=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerleri alınarak, farklı akışkan sıcaklıklarına göre yüzeyden dikey mesafedeki ve boru merkezinden yatay mesafedeki sıcaklık dağılımları Şekil 6'da elde edilmiştir.



(a)

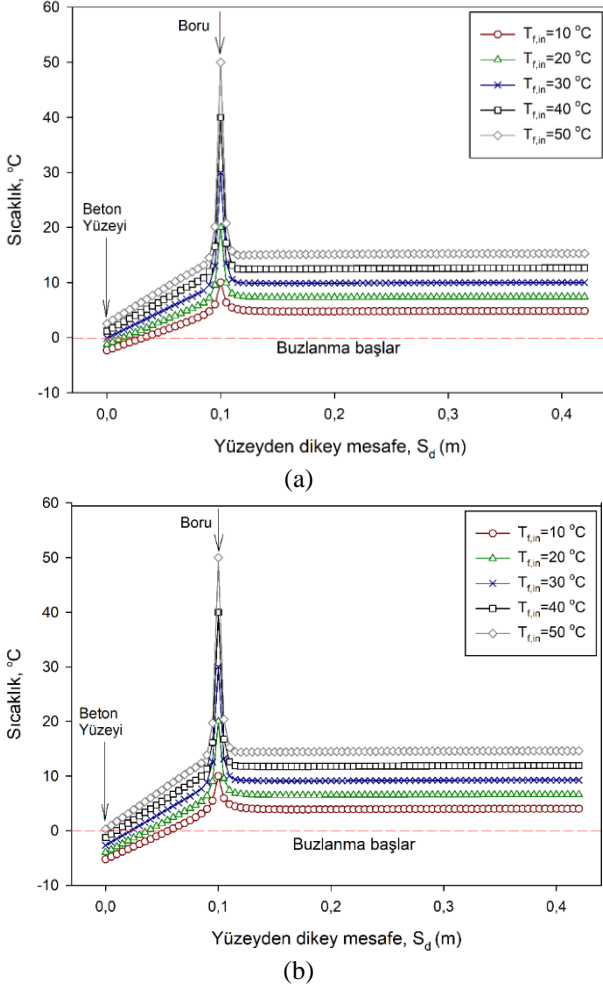


(b)

Şekil 6. Farklı akışkan sıcaklıklarına göre dikey (a) ve yatay (b) sıcaklık dağılımı

4 farklı akışkan sıcaklığı için yapılan analizler göstermiştir ki, yüzeyde en düşük akışkan sıcaklığı için bile herhangi bir kar ve buz oluşumu olmamakta ve akışkan sıcaklığı ne kadar fazla ise beton yüzeyinin sıcaklığı o kadar yüksek olurken kar ve buz oluşma ihtimali ise o kadar düşmektedir (Şekil 6a). Şekil 6b'de borunun olduğu yerde sıcaklık en yüksek olurken borudan yatay olarak uzaklaştıkça sıcaklık düşmektedir. Özetle, bu şartlar altında yani $P_d=0.1\text{ m}$, $B_p=0.1\text{ m}$ ($N=50$) ve $T_{hava}=0\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerlerinde, binanın merkezi ısıtma sisteminden $T_f=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerinde akışkan sağlanması kar ve buz oluşmaması için yeterli olduğu görülmüştür.

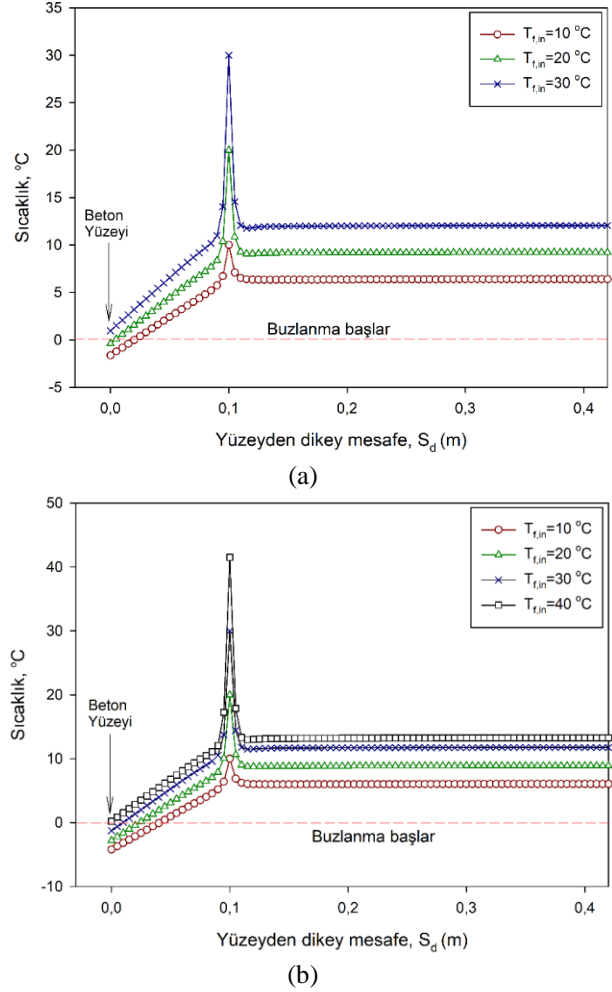
Şekil 7’de, $P_d=0.1$ m, $B_p=0.1$ m ($N=50$) değerlerinde, hava sıcaklığının -5 °C ve -10 °C’ye düştüğünde beton yüzeyinde kar ve buz oluşmaması için ısıtma kaynağından sağlanan farklı akışkan sıcaklıklarına göre yüzeyden dikey mesafedeki sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Şekil 7a’da, yüzeyde kar ve buz oluşmaması için akışkan sıcaklığının 30 °C’nin üstünde sağlanması gerektiği görülmektedir. Hava sıcaklığı -10 °C olduğunda ise, akışkan sıcaklığının 50 °C’nin altındaki tüm akışkan sıcaklıklarında ($T_{f,in}=10$ °C, $T_{f,in}=20$ °C, $T_{f,in}=30$ °C ve $T_{f,in}=40$ °C) otopark giriş ve çıkış yollarında kar ve buz oluştuğu Şekil 7b’de görülmektedir.



Şekil 7. $B_p=0.1$ m’de, $T_{hava}=-5$ °C (a) ve $T_{hava}=-10$ °C (b) için yüzeyden dikey mesafedeki sıcaklık dağılımı

Şekil 8’de, $P_d=0.1$ m, $B_p=0.05$ m ($N=100$) değerlerinde, hava sıcaklığının -5 °C ve -10 °C’ye düştüğünde beton yüzeyinde kar ve buz oluşmaması için binanın merkezi ısıtma kazanından sağlanan farklı akışkan sıcaklıklarına göre yüzeyden dikey mesafedeki sıcaklık dağılımlarını göstermektedir. Hava sıcaklığı -5 °C’ye düştüğünde, akışkan sıcaklığının 30 °C’nin

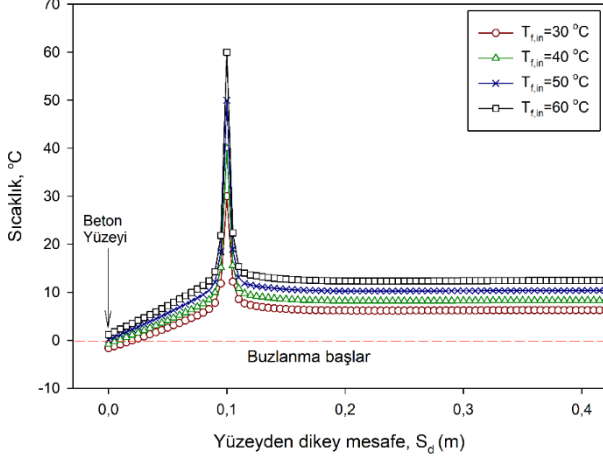
altındaki tüm akışkan sıcaklıklarında ($T_{f,in}=10$ °C ve $T_{f,in}=20$ °C) otopark giriş ve çıkış yollarında kar ve buz oluştuğu Şekil 8a’da görülmektedir.



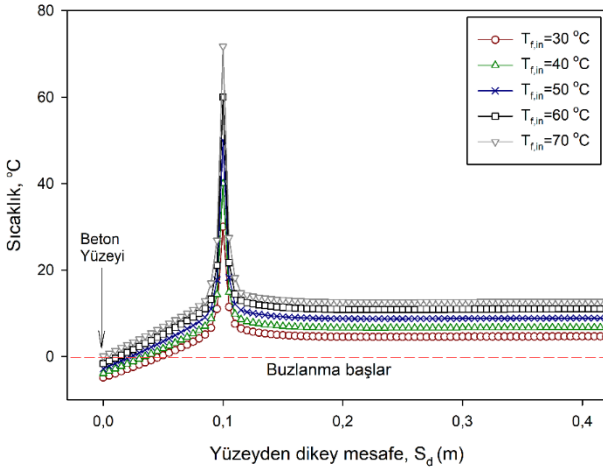
Şekil 8. $B_p=0.05$ m ($N=100$)’de $T_{hava}=-5$ °C (a) ve $T_{hava}=-10$ °C (b) için yüzeyden dikey mesafedeki sıcaklık dağılımı

Şekil 8b’de, beton yüzeyinde kar ve buz oluşmasını engellemek için akışkan sıcaklığının en az 40 °C olması gerektiği elde edilmiştir. 40 °C’nin altındaki akışkan sıcaklıklarında açık bir şekilde kar ve buz oluşumunun gerçekleştiği görülmüştür. Şekil 7’de borulararası mesafe 0.1 m ya da paralel boru sayısı 50 iken, Şekil 8’de borulararası mesafenin 0.05 m ya da paralel boru sayısının 100 olduğu görülmektedir. Otopark giriş ve çıkış yolunun genişliği sabit ve 5 m olduğundan Şekil 7’ye göre Şekil 8’de daha çok paralel boru olmakta ve bu borular daha sık yerleştirilmiştir. Bu durum yani Şekil 7’ye göre Şekil 8’de, daha fazla PEX boru yerleştirildiğinden dolayı akışkan sıcaklıkları daha düşük olup binanın merkezi ısıtma kazanından daha az ısıtma yükü çekilmektedir. Ancak daha fazla boru yerleştirilmesi ilk yatırım maliyetini artıracığına dikkat edilmelidir.

Şekil 9'da, $P_d=0.1$ m, $B_p=0.2$ m ($N=25$) değerlerinde, hava sıcaklığının -5 °C ve -10 °C'ye düştüğünde beton yüzeyinde kar ve buz oluşmaması için ısıtma kaynağından sağlanan farklı akışkan sıcaklıklarına göre yüzeyden dikey mesafedeki sıcaklık dağılımlarını göstermektedir.



(a)

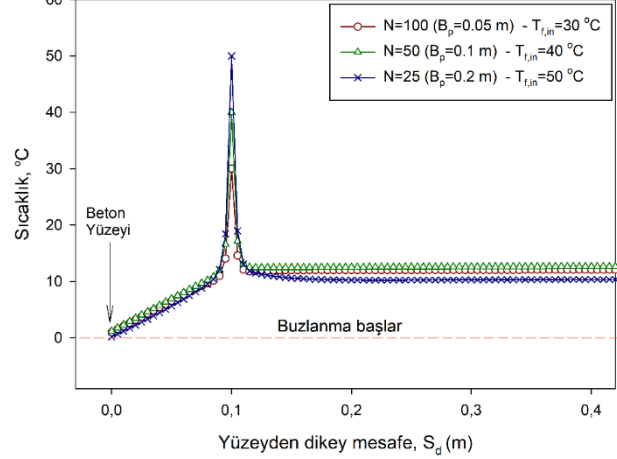


(b)

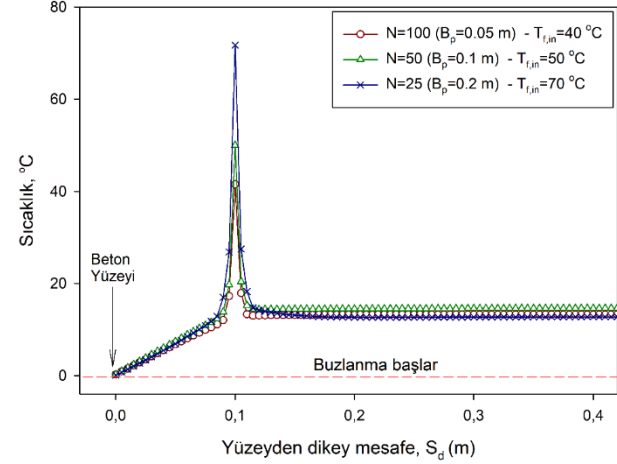
Şekil 9. $B_p=0.2$ m'de $T_{hava}=-5$ °C (a) ve $T_{hava}=-10$ °C (b) için yüzeyden dikey mesafedeki sıcaklık dağılımı

Şekil 9a'da, beton yüzeyinde kar ve buz oluşmaması için akışkan sıcaklığının 50 °C'nin üstünde sağlanması gerektiği görülmektedir. Hava sıcaklığı -10 °C olduğunda ise, akışkan sıcaklığının 70 °C'nin altındaki tüm akışkan sıcaklıklarında ($T_{f.in}=60$ °C, $T_{f.in}=50$ °C, $T_{f.in}=40$ °C ve $T_{f.in}=30$ °C) otopark giriş ve çıkış yollarında kar ve buz oluştuğu Şekil 9b'de görülmektedir. Borulararası mesafenin artması yani paralel boru sayısının azalması beton içerisine yerleştirilen PEX borularının içinde gezen akışkan sıcaklığının kar ve buz oluşmaması için daha yüksek sıcaklıklarda gönderilmesi gerektiği açıkça görülmektedir. Belirli bir alana daha geniş aralıklarla daha az boru

yerleştirilmesi binanın merkezi sisteminden sağlanan ısıtma yükünü arttırdığı ancak daha az boru yerleştirileceği için ilk yatırım maliyetini de düşüreceği söylenebilir. Isıtma yükü ile maliyet arasında o bölge şartlarına göre optimum tasarımın yapılması oldukça önem kazanmaktadır. Örneğin bazı bölgelerde kış boyunca yoğun kar yağışı bir kere gerçekleşirken bazı bölgelerde bu sayı beş ve üstü gerçekleşmektedir. Bundan dolayı, yapılan tasarım, bölgenin meteorolojik durumları referans alınarak optimum olanı seçilmelidir.



(a)



(b)

Şekil 10. $T_{hava}=-5$ °C (a) ve $T_{hava}=-10$ °C (b) için elde edilen optimizasyon sonuçları

Hava sıcaklığının -5 °C ve -10 °C'ye düştüğünde beton yüzeyinde kar ve buz oluşmaması için paralel boru sayısının ısıtma kaynağından sağlanan farklı akışkan sıcaklıklarına göre yüzeyden dikey mesafedeki sıcaklık dağılımları Şekil 10'da sunulmuştur. Şekil 10a'da, hava sıcaklığının -5 °C olduğu durum için, gerçekleştirilen optimizasyon neticesinde, $N=100$, $N=50$ ve $N=25$ değerlerinde belirlenen akışkan giriş sıcaklıkları sırasıyla 30 °C, 40 °C ve 50 °C'dir. Otopark giriş ve çıkış yollarına yerleştirilen Paralel PEX boru sayısı arttıkça ısıtma

kaynağında gönderilen akışkan sıcaklığı düştüğü elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre, İstanbul'da hava sıcaklığı -5 °C'ye kadar düşmesi durumunda otopark giriş ve çıkış yollarına belirli parametreler de dikkate alınarak yerleştirilmiş paralel boru sayısına göre hangi akışkan sıcaklığı gönderileceği açıkça görülebilir. Benzer şekilde, hava sıcaklığının -10 °C olduğunda, $N=100$, $N=50$ ve $N=25$ değerleri için Şekil 10b'de elde edilen akışkan giriş sıcaklıkları sırasıyla 40 °C, 50 °C ve 70 °C'dir. Paralel boru sayısının azalması yani borulararası mesafenin artması beton içerisine yerleştirilen PEX borularının içinde gezen akışkan sıcaklığının kar ve buz oluşmaması için daha yüksek sıcaklıklarda gönderilmesi gerektiği açıkça görülmektedir. Belirli bir alana daha geniş aralıklarla daha az boru yerleştirilmesi ısıtma kaynağından sağlanan ısıtma yükünü arttırdığı ancak daha az boru yerleştirileceği için ilk yatırım maliyetini de düşüreceği söylenebilir.

5. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, İstanbul'da zemin altı otopark giriş ve çıkış yollarında oluşacak kar veya buz oluşumunu önlemek için, HHP sisteminin gerçekçi sınır koşulları ve meteorolojik verilerle MATLAB programında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Sayısal çalışma kapsamında, bir binanın rampalı otopark giriş ve çıkış yollarının altına yerleştirilen PEX boruları sayesinde otopark giriş ve çıkışlarında kar veya buzun oluşmaması noktasında 33 adet simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmalarında, rampalı otopark giriş ve çıkış yollarına yerleştirilen PEX borularına ait gömme derinliği, akışkan giriş sıcaklığı, hava sıcaklığı ve borular arası mesafenin etkileri incelenmiştir. Ek olarak, farklı hava sıcaklıklarına göre PEX borularının yerleşiminin ve akışkan giriş sıcaklığının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- PEX borularının yüzeye yakın yerleştirilmesi yani gömme derinliğinin az olması kar veya buz oluşumunun engellenmesinde önemli bir sonuç olduğu görülmüştür.
- Borulararası mesafe az ya da paralel boru sayısı fazla olduğunda binanın merkezi ısıtma

kazanından daha az ısıtma yükü çekilmektedir. Bununla beraber, daha fazla boru yerleştirilmesi ilk yatırım maliyetini artıracığı da bilinmelidir.

- $P_d=0.1$ m, $B_p=0.1$ m ($N=50$) ve $T_{hava}=0$ °C değerlerinde, binanın merkezi ısıtma sisteminden $T_{f,in}=10$ °C değerinde akışkan sağlanması kar ve buz oluşmaması için yeterli olduğu görülmüştür.
- Hava sıcaklığının -5 °C ve -10 °C olduğunda, yüzeyde kar ve buz oluşmaması için, paralel boru sayılarının $N=100$, $N=50$ ve $N=25$ değerleri için akışkan giriş sıcaklıkları sırasıyla 30 °C, 40 °C, 50 °C ve 40 °C, 50 °C, 70 °C'dir. Paralel boru sayısının artması beton içerisine yerleştirilen PEX borularının içinde gezen akışkan sıcaklığının daha düşük sıcaklıklarda gönderileceği anlaşılmıştır.
- HHP sisteminin tasarımı yapılırken bölgeye ait meteorolojik veriler dikkate alınarak yerleştirilecek paralel boru sayısı yani borular arası mesafe optimize edilmelidir. Bu yerleşim sistemi bir kere yapılacağından dolayı değiştirilmesinin zor olduğu bilinmelidir. Ancak, yerleşim sistemine göre binanın merkezi ısıtma sisteminden çekilen ısı yükü farklı hava sıcaklıklarına göre de kontrol edileceğinden dolayı kar ve buz birikimi engellenmesi noktasında, bu yük kontrolörler yardımıyla arttırılabilir veya azaltılabilir olduğu açıkça ifade edilebilir.
- Bu sistemlerin uygulanma maliyetleri (ilk yatırım+işletme maliyetleri) araçlarda meydana gelebilecek maddi kazaların maliyetleriyle karşılaştırıldığında oldukça yatırım yapılabilir olduğu ifade edilebilir.

Gelecekte bu sistemlerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri ve Türkiye'nin 4 veya 5 farklı iklim bölgesi için uygulanması üzerine çalışmalar yapılacaktır. Diğer yandan, bu sistemlerin araç yollarının yanında yaya yollarında da uygulanması planlanmaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur

Kaynaklar

- [1] J. Norrman, M. Eriksson, and S. Lindqvist, "Relationships between road slipperiness, traffic accident risk and winter road maintenance activity," *Clim. Res.*, vol. 15, pp. 185–193, 2000.
- [2] A. K. Andersson, "Winter road conditions and traffic accidents in Sweden and UK: present and future climate scenarios," Göteborg University, Göteborg, 2010.
- [3] A. D. W. Nuijten, "Runway temperature prediction, a case study for Oslo Airport, Norway," *Cold Reg. Sci. Technol.*, vol. 125, pp. 72–84, 2016.
- [4] M. A. Equiza *et al.*, "Long-term impact of road salt (NaCl) on soil and urban trees in Edmonton, Canada," *Urban forestry & urban greening*, vol. 21, pp. 16–28, 2017.
- [5] N. Aghazadeh, M. Nojavan, and A. A. Mogaddam, "Effects of road-deicing salt (NaCl) and saline water on water quality in the Urmia area in northwest of Iran," *Arabian journal of geosciences*, vol. 5, pp. 565–570, 2012.
- [6] F. Li, Y. Zhang, Z. Fan, and K. Oh, "Accumulation of de-icing salts and its short-term effect on metal mobility in urban roadside soils," *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, vol. 94, no. 4, pp. 525–531, 2015.
- [7] M. Gholikhani, H. Roshani, S. Dessouky, and A. T. Papagiannakis, "A critical review of roadway energy harvesting technologies," *Appl. Energy*, vol. 261, no. 114388, p. 114388, 2020.
- [8] T. Ghalandari, N. Hasheminejad, W. Van den bergh, and C. Vuye, "A critical review on large-scale research prototypes and actual projects of hydronic asphalt pavement systems," *Renew. Energy*, vol. 177, pp. 1421–1437, 2021.
- [9] H. Wang, J. Zhao, and Z. Chen, "Experimental investigation of ice and snow melting process on pavement utilizing geothermal tail water," *Energy Convers. Manag.*, vol. 49, no. 6, pp. 1538–1546, 2008.
- [10] C. Han and X. (bill) Yu, "Feasibility of geothermal heat exchanger pile-based bridge deck snow melting system: A simulation based analysis," *Renew. Energy*, vol. 101, pp. 214–224, 2017.
- [11] A. Balbay and M. Esen, "Temperature distributions in pavement and bridge slabs heated by using vertical ground-source heat pump systems," *Acta scientiarum technology*, vol. 35, pp. 677–685, 2013.
- [12] W. Zhao, Y. Zhang, L. Li, W. Su, B. Li, and Z. Fu, "Snow melting on the road surface driven by a geothermal system in the severely cold region of China," *Sustainable energy technologies and assessments*, vol. 40, 2020.
- [13] R. Mirzanamadi, C.-E. Hagentoft, and P. Johansson, "Coupling a Hydronic Heating Pavement to a Horizontal Ground Heat Exchanger for harvesting solar energy and heating road surfaces," *Renew. Energy*, vol. 147, pp. 447–463, 2020.
- [14] P. Pascual-Muñoz, D. Castro-Fresno, P. Serrano-Bravo, and A. Alonso-Estébanez, "Thermal and hydraulic analysis of multilayered asphalt pavements as active solar collectors," *Appl. Energy*, vol. 111, pp. 324–332, 2013.
- [15] P. Pan, S. Wu, Y. Xiao, and G. Liu, "A review on hydronic asphalt pavement for energy harvesting and snow melting," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 48, pp. 624–634, 2015.
- [16] W. J. Eugster, "Road and bridge heating using geothermal energy. Overview and examples," in *European geothermal congress*, 2007.
- [17] D. S. N. M. Nasir, B. R. Hughes, and J. K. Calautit, "A study of the impact of building geometry on the thermal performance of road pavement solar collectors," *Energy (Oxf.)*, vol. 93, pp. 2614–2630, 2015.
- [18] F. Ling and T. Zhang, "A numerical model for surface energy balance and thermal regime of the active layer and permafrost containing unfrozen water," *Cold Reg. Sci. Technol.*, vol. 38, no. 1, pp. 1–15, 2004.
- [19] G. Mihalakakou, "On estimating soil surface temperature profiles," *Energy Build.*, vol. 34, no. 3, pp. 251–259, 2002.
- [20] D. J. Duffy, *Finite difference methods in financial engineering: A partial differential equation approach*, 1st ed. Nashville, TN: John Wiley & Sons, 2013.
- [21] T. J. Chung, *Computational Fluid Dynamics*, 2nd ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2014.

On Delta Sets of Some Pseudo-Symmetric Numerical Semigroups with Embedding Dimension Three

Meral SÜER^{1*}, Özkan ÇELİK²

¹ Batman University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Batman, Turkey.

² Batman University, Institute of Science, Department of Mathematics, Batman, Turkey.

(ORCID: [0000-0002-5512-4305](https://orcid.org/0000-0002-5512-4305)) (ORCID: [0000-0002-1570-6060](https://orcid.org/0000-0002-1570-6060))



Keywords: Betti element, Catenary degree, Delta set, Minimal presentation, Pseudo-symmetric numerical semigroup.

Abstract

Let S be a numerical semigroup. The catenary degree of an element s in S is a non-negative integer used to measure the distance between factorizations of s . The catenary degree of the numerical semigroup S is obtained at the maximum catenary degree of its elements. The maximum catenary degree of S is attained via Betti elements of S with complex properties. The Betti elements of S can be obtained from all minimal presentations of S . A presentation for S is a system of generators of the kernel congruence of the special factorization homomorphism. A presentation is minimal if it can not be converted to another presentation, that is, any of its proper subsets is no longer a presentation. The Delta set of S is a factorization invariant measuring the complexity of sets of the factorization lengths for the elements in S . In this study, we will mainly express the given above invariants of a special pseudo-symmetric numerical semigroup family in terms of its generators.

1. Introduction

There are many recent publications studying invariants of non-unique factorizations for finitely generated cancellative monoids. Many of these are particularly focused on numerical semigroups. Numerical semigroups provide particularly specific settings for studying these decomposition problems. One motivation for studying the factorization theory of numerical semigroups comes from its associated numerical semigroup rings. These rings usually give concrete examples of more general problems in commutative algebra [11]

The origin of factorization theory is to study the decomposition of natural numbers into their irreducible divisors. In this multiplicative monoid, the Fundamental Theorem of Arithmetic guarantees that such a decomposition is unique. By the Fundamental Theorem of Arithmetic, every positive integer greater than 1 has a prime factorization. Just as prime numbers are components that make up the natural number system using multiplication, they are generators

to the components of a numerical monoid. Unlike factorization in \mathbb{N}_0 , factorization in numerical semigroup may not be unique (where \mathbb{N}_0 is the set of non-negative integers)[19]. Some of the factorization invariants are length sets, delta sets and catenary degrees.

The catenary degree of the element of a numerical semigroup, which is a factorization invariant, defines the relationships between its different irreducible factorizations of the element. The catenary degree of the numerical semigroup is defined as the least upper bound of all catenary degrees of the elements in the numerical semigroup.

Calculating the Betti elements of a numerical semigroup is both complicated and difficult. It is well known that with the help of Betti elements, the maximum catenary degree of the numerical semigroup can be reached. Moreover, the numerical semigroup with embedding dimension three has at most three Betti elements [6].

Delta sets are also defined the sets of the minimum distances between any two

*Corresponding author: meral.suer@batman.edu.tr

Received: 15.11.2021, Accepted: 22.02.2022

factorizations with consecutive lengths. Although many research has been done on this problem, it is not an easy task to calculate the delta sets for a given numerical semigroup. Geroldinger presented the first results on Delta sets in [10]. Delta sets on numerical semigroups have been studied extensively in [3], [4], [5]. Also, the Delta set of monoids can be calculated using Euclid's greatest common divisor algorithm [8].

The structure of this paper is arranged as follows. In Section 2, we gather the background of numerical semigroups, necessary definitions, and notations that we use in the latter sections. In section 3, we obtained the formulas and the connections representing the Delta set, Betti elements, catenary degrees, graphs, and minimal presentation of the pseudo-symmetric numerical semigroup family.

2. Material and Method

Let $\mathbb{N} = \{1,2,3, \dots\}$ be the set of positive integers and let $\mathbb{N}_0 = \{0,1,2,3, \dots\}$ be the set of non-negative integers. If S is an additive submonoid of \mathbb{N}_0 , S is called a numerical monoid. We say that the integers $\{m_1, m_2, \dots, m_p\}$ generate S if $s = k_1m_1 + k_2m_2 + \dots + k_pm_p = \sum_{i=1}^p k_i m_i$ ($k_i \in \mathbb{N}_0, i = 1,2, \dots, p$) for $s \in S$, we denote it by $S = \langle m_1, m_2, \dots, m_p \rangle$. In terms of cardinality and set inclusion such a minimal set is the minimal generating set and it is unique. Thus, we assume that $m_1 < m_2 < \dots < m_p$.

A numerical monoid $S = \langle m_1, m_2, \dots, m_p \rangle$ is primitive whenever $gcd(m_1, m_2, \dots, m_p) = 1$ (where $gcd(a, b)$ denotes the greatest common divisor of integer a and b).

The integer p is called the embedding dimension of S , denoted by $e(S)$. Also, the integer $min(S \setminus \{0\}) = m_1$ is called the multiplicity of S , denoted by $m(S)$. We know that $e(S) \leq m(S)$. If $e(S) = m(S)$, S is said to have maximal embedding dimension.

If a non-empty subset S of \mathbb{N}_0 satisfy the following three conditions, S is called a numerical semigroup.

1. $0 \in S$.
2. $\forall s_1, s_2 \in S, s_1 + s_2 \in S$.
3. $\#(\mathbb{N}_0 \setminus S) < \infty$ (where $\#(A)$ denotes the number of elements in the set A)

Namely, a numerical semigroup is a submonoid of $(\mathbb{N}_0, +)$ satisfying the third condition.

A numerical semigroup S is said to be proper if $S \neq \mathbb{N}_0$. Let S be a proper numerical semigroup. We denote the complement of S in \mathbb{N}_0 by $G(S)$. The elements of $G(S)$ are called gaps of S . The genus of S is the number of gaps of S , denoted by $g(S)$. $F(S) = max(\mathbb{Z} \setminus S)$ is the Frobenius number of S . Note that $F(\mathbb{N}_0) = -1$. Henceforth, all numerical sets are proper.

Recall that a numerical semigroup S is symmetric if $F(S)$ is odd and $x \in \mathbb{Z} \setminus S \Rightarrow F(S) - x \in S$, and pseudo-symmetric if $F(S)$ is even and $x \in \mathbb{Z} \setminus S \Rightarrow x = F(S)/2$ or $F(S) - x \in S$.

For a numerical semigroup S and $s \in S \setminus \{0\}$, the Apéry set of S with respect to s is defined by $Ap(S, s) = \{x \in S | x - s \notin S\}$. It is well known that $Ap(S, s) = \{w_0 = 0, w_1, \dots, w_{s-1}\}$ and $w_i = min\{x \in S : x \equiv i(mods)\}$ for $i = \{0,1, \dots, s - 1\}$. Researchers can review the definitions and results given below in more detail in [1], [17].

Let $S = \langle m_1, m_2, \dots, m_p \rangle$. The set of factorizations of $s \in S$ is defined by

$$Z(s) = \{(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p) \in \mathbb{N}_0^p | \alpha_1 m_1 + \alpha_2 m_2 + \dots + \alpha_p m_p = s\}.$$

If a factorization has a positive entry in the p -tuple, the element can be said to be supported on the component corresponding to the generator. The length of $\alpha = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p\} \in Z(s)$ is $|\alpha| = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_p$. The length set of s is expressed by $L(s) = \{|\alpha| | \alpha \in Z(s)\}$.

Fix a numerical semigroup $S = \langle m_1, m_2, \dots, m_p \rangle$, and fix $s \in S$. Writing $L(s) = \{\ell_1 < \dots < \ell_p\}$, the delta set of s is the set $\Delta_S(s) = \{\ell_i - \ell_{i-1} | 2 \leq i \leq p\}$ of successive differences of factorization lengths of s , and $\Delta(S) = \cup_{s \in S} \Delta_S(s)$. For $\alpha = (x_1, x_2, \dots, x_p) \in \mathbb{N}_0^p$ and $\beta = (y_1, y_2, \dots, y_p) \in \mathbb{N}_0^p$, the greatest common divisor of α and β is $gcd(\alpha, \beta) = (min(x_1, y_1), \dots, min(x_p, y_p)) \in \mathbb{N}_0^p$. The distance between α and β is defined as $d(\alpha, \beta) = max\{|\alpha - gcd(\alpha, \beta)|, |\beta - gcd(\alpha, \beta)|\}$.

Given $x, y \in Z(s)$ and $M \geq 1$, an M -chain from x to y is a sequence $x_1, x_2, \dots, x_p \in Z(s)$ such that $x_1 = x, x_2, \dots, x_p = y$, and $d(x_j, x_{j+1}) \leq M$ for every $j \in \{1,2, \dots, i - 1\}$. The catenary degree of $s \in S$, $c(s)$ is the minimal $M \in \mathbb{N}_0 \cup \{\infty\}$ such that for any two

factorizations $x, y \in Z(s)$ there is an M -chain from x to y . The catenary degree of S , denoted by $C(S)$, is $C(S) = \sup\{c(s) \mid s \in S\}$.

Let $S = \langle m_1, m_2, \dots, m_p \rangle$ and $s \in S \setminus \{0\}$. Consider the graph G_s with vertex set given by its set of factorizations $Z(s)$ and an edge connecting $a, b \in Z(s)$ if a and b have disjoint support as vectors. That is, $a = (x_1, x_2, \dots, x_p)$ and $b = (y_1, y_2, \dots, y_p)$ are adjacent in G_s if for all i , x_i and y_i are never both non-zero. For each $s \in S \setminus \{0\}$, consider the graph G_s with vertex set $Z(s)$, where if $\gcd(a, b) \neq 0$, then two vertices $a, b \in Z(s)$ share an edge. An element $s \in S$ is called a Betti element if G_s is disconnected. The set of Betti elements of S is denoted by $Betti(S)$. Namely, the set of Betti elements of S is

$$Betti(S) = \{s \in S \mid G_s \text{ is disconnected}\}$$

Calculating the Betti elements of a numerical semigroup is quite complex. The maximum catenary degree of the numerical semigroup is achieved with the help of the Betti elements of it. It is also known that numerical semigroups with an embedding dimension three have at most three Betti elements [1], [2], [7], [15].

Let δ be a congruence on $Free(x_1, x_2, \dots, x_p)$ and ρ be a system of generators of δ . If the cardinality of ρ is the smallest in cardinalities of systems of generators of δ , then ρ is the minimum relation. Let $S = \langle m_1, m_2, \dots, m_p \rangle$ and let $A = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p\}$ with $\alpha_i \neq \alpha_j$ for all $i \neq j$. If ρ is a minimal relation of the kernel congruence of $\varphi: Free(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p) \rightarrow S, \varphi(\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_p x_p) = x_1 m_1 + x_2 m_2 + \dots + x_p m_p$, then ρ is called a minimal presentation.

δ is used to indicate the kernel congruence of φ . The expression set of $s \in S$ is defined as follows:

$$Z(s) = \varphi^{-1}(s) = \{\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_p x_p \mid x_1 m_1 + x_2 m_2 + \dots + x_p m_p = s\}.$$

For $x = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \dots + \alpha_p x_p \in Free(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p)$, $y = \alpha_1 y_1 + \alpha_2 y_2 + \dots + \alpha_p y_p \in Free(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p)$. Let the dot product of x and y be defined as $x \cdot y = x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_p y_p$. For $x, y \in Free(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_p)$, xRy if $x = y = 0$ or $n_1, \dots, n_l \in Z(s)$ for some $s \in S$ such that $n_1 = x$, $n_l = y$ and $n_i \cdot n_{i+1}$ for all $i \in \{1, \dots, l-1\}$. It can be easily seen that R has an

equivalence relation on $Z(s)$. The element of $Z(s)/R$ are called R -classes. It is known that every finitely generated semigroup S has a finite minimal presentation and that all minimal presentations of S have equal cardinality.

A graph $G = (V, E)$ consists of a set of objects V called vertices, and another set E , whose elements are called edges, such that edge $\{u, v\}$ is identified with an unordered pair by \overline{uv} , where $E \subseteq \{\{u, v\} \mid u, v \in V, u \neq v\}$. A path of length m is a sequence of edges of the form $\overline{v_1 v_2}, \overline{v_2 v_3}, \dots, \overline{v_m v_{m+1}}$. A graph $G = (V, E)$ is said to be connected if there is at least one path every pair vertices in $G = (V, E)$. Otherwise, $G = (V, E)$ is disconnected. A connected graph with m vertices includes in least $m - 1$ edges. Such connected graph is called a tree [14].

A subgraph $G' = (V', E')$ of a graph $G = (V, E)$ is a graph whose vertex set V' is a subset of the vertex set V , that is $V' \subseteq V$, and whose edge set E' is a subset of the edge set E that is $E' \subseteq E$. If G is a connected graph on m vertices, a generating tree for G is a subgraph of G that is a tree on m vertices.

Let $X \neq \emptyset$, γ a binary relation of X and $P = \{P_1, \dots, P_r\}$ a partition of X . If there exists $x \in P$ and $y \in P_j$ such that $(x, y) \in \gamma \cup \gamma^{-1}$, $G_\gamma = (P, E)$ is a graph associated to γ in connection with the partition P where $\overline{P_i P_j}$ with $i \neq j$.

Let $S = \langle m_1, m_2, \dots, m_p \rangle$ and R be an equivalence binary relation on $Z(s)$ for $s \in S$. And let $s \in S$ and P_1, \dots, P_k be different equivalence classes of R contained in $Z(s)$ for $i \in \{1, \dots, k\}$.

$$A_i = \{m_j \mid x_j \leq x \text{ for some } x \in X_i\}$$

The set of vertices of the different connected components of G_s is included in these sets. To show that we first need to prove that $\{A_1, \dots, A_k\}$ is a partition of V_s .

For $s \in S$ define the graph $G_s = (V_s, E_s)$, as $V_s = \{m_i \in \{m_1, m_2, \dots, m_p\} \mid s - m_i \in S\}$ and $E_s = \{\overline{m_i m_j} \mid s - (m_i + m_j) \in S, i \neq j\}$.

3. Results and Discussion

Studies on Frobenius number, gaps and some properties of this numerical semigroup are included in [12], [13]. Also, in this section we study on pseudo-symmetric numerical semigroups of the form $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ for $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$. We will obtain here some

invariants of such numerical semigroups. When $S = \langle m_1, m_2, m_3 \rangle$ is a numerical semigroup, for $i \in \{1, 2, 3\}$

$$c_i = \min\{k \in \mathbb{N} \mid km_i \in \langle \{m_1, m_2, m_3\} \setminus \{m_i\} \rangle\}$$

and there exist non-negative integers r_{ij}, r_{ik} for $\{i, j, k\} = \{1, 2, 3\}$ such that $c_i m_i = r_{ij} m_j + r_{ik} m_k$.

Proposition 1. ([18], Proposition 2.13) Let $m_1, m_2 \in \mathbb{N}$ with $\gcd(m_1, m_2) = 1$. There are the following equations:

- 1) $F(\langle m_1, m_2 \rangle) = m_1 m_2 - m_1 - m_2$.
- 2) $g(\langle m_1, m_2 \rangle) = \frac{m_1 m_2 - m_1 - m_2 + 1}{2}$.

Proposition 2. ([19], Proposition 4.1) Let $S = \langle m_1, m_2, m_3 \rangle$ be a numerical semigroup minimally generated. An element $\beta \in S$ is a Betti element if for some $i \in \{1, 2, 3\}$ $\beta_i = c_i m_i$ where $c_i = \min\{k \in \mathbb{N} \mid km_i \in \langle \{m_1, m_2, m_3\} \setminus \{m_i\} \rangle\}$.

Lemma 3. [1], [2], [15] For any finitely generated monoid S , we have

$$c(S) = \max C(S) = \max\{c(b) : b \in \text{Betti}(S)\}$$

and

$$\min C(S) = \min\{c(b) : b \in \text{Betti}(S)\}.$$

Then

$$c(S) = \max\{c(\beta) \mid \beta \in \text{Betti}(S)\}.$$

Lemma 4. ([18], Theorem 8.17) Let S be a numerical semigroup and let $s \in S \setminus \{0\}$. The number of connected components of G_s is equal to the number of R -classes in $Z(s)$.

Proposition 5. ([18], Proposition 31.) Let $S = \langle m_1, m_2, \dots, m_p \rangle$ be a numerical semigroup. S is a numerical semigroup with maximal embedding dimension if and only if $Ap(S, m_1) = \{0, m_2, \dots, m_p\}$.

Proposition 6. ([18], Theorem 8.19) Let $S = \langle m_1, m_2, \dots, m_p \rangle$ be a numerical semigroup and $s \in S \setminus \{0\}$. If G_s is disconnected, then $s = w +$

m_j with the nonzero $w \in Ap(S, m_1)$ for every $j \in \{2, \dots, p\}$.

Lemma 7. ([16], Theorem 7; [18], Lemma 4.27) The following conditions are equivalent.

1. $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ for $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$.
2. S is a pseudo-symmetric numerical semigroup with maximal embedding dimension 3

Theorem 8. The set of Betti elements of the pseudo-symmetric numerical semigroup $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ with $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$ is the set $\text{Betti}(S) = \{6 + 2s, 6 + 3s, 6 + 4s\}$.

Proof. Let $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ for $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$. Then

$$\begin{aligned} c_1 &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid 3k \in \langle 3 + s, 3 + 2s \rangle\} \\ &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid 3k \in \{0, 3 + s, 6 + 2s, \boxed{3(2 + s)}, 6 + 4s, \dots\}\} \\ &= 2 + s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_2 &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid k(3 + s) \in \langle 3, 3 + 2s \rangle\} \\ &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid k(3 + s) \in \{0, 3, 6, \dots, 3 + 2s, \boxed{2(3 + s)}, 9 + 2s, \dots\}\} \\ &= 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_3 &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid k(3 + 2s) \in \langle 3, 3 + s \rangle\} \\ &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid k(3 + 2s) \in \{0, 3, 3 + s, 6, 6 + s, 9, 6 + 2s, 9 + s, \dots, \boxed{2(3 + 2s)}, \dots\}\} \\ &= 2 \end{aligned}$$

(Note that the Frobenius number of $A = \langle 3, 3 + s \rangle$ is $F(A) = 3 + 2s$ by Proposition 1. So $k = 2, \dots$)

From Proposition 2, the Betti elements of S are

$$\begin{aligned} \beta_1 &= c_1 \cdot m_1 = (2 + s) \cdot 3 = 6 + 3s, \\ \beta_2 &= c_2 \cdot m_2 = 2 \cdot (3 + s) = 6 + 2s, \\ \beta_3 &= c_3 \cdot m_3 = 2 \cdot (3 + 2s) = 6 + 4s, \end{aligned}$$

and the set of Betti elements of S is

$$\text{Betti}(S) = \{6 + 2s, 6 + 3s, 6 + 4s\}.$$

Example 9. Let us consider the set S in Theorem 8. If $s = 5$, then $S = \langle 3, 8, 13 \rangle$. Let's find the Betti elements of the pseudo-symmetric

numerical semigroup S . First, let's find the numbers c_i for $i \in \{1, 2, 3\}$,

$$\begin{aligned}
 c_1 &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid 3k \in \langle 8, 13 \rangle\} \\
 &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid 3k \in \{0, 8, 13, 16, \boxed{21}, \dots\}\} \\
 &= 7 \\
 c_2 &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid 8k \in \langle 3, 13 \rangle\} \\
 &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid 8k \in \{0, 3, 6, 9, 12, 13, 15, \boxed{16}, \dots\}\} \\
 &= 2 \\
 c_3 &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid 13k \in \langle 3, 8 \rangle\} = \\
 &= \min\{k \in \mathbb{N} \mid 13k \in \{0, 3, 6, 8, 9, 11, 12, 14, 15, 16, 17, \\
 &\quad 8, 20, 21, 22, 24, 25, \boxed{26}, \dots\}\} = 2
 \end{aligned}$$

From Proposition 2, the Betti elements of S

$$\left. \begin{aligned}
 \beta_1 &= c_1 \cdot n_1 = 7 \cdot 3 = 21 \\
 \beta_2 &= c_2 \cdot n_2 = 2 \cdot 8 = 16 \\
 \beta_3 &= c_3 \cdot n_3 = 2 \cdot 13 = 26
 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \text{Betti}(S) = \{16, 21, 26\}$$

From Theorem 8, The set of Betti elements of S is $\text{Betti}(S) = \{6 + 2.5, 6 + 3.5, 6 + 4.5\} = \{16, 21, 26\}$.

Theorem 10. The catenary degree of the pseudo-symmetric numerical semigroup $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ with $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$ is $c(S) = s + 2$.

Proof. Let $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ for $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$. Firstly, we will find the factorizations of Betti elements of S .

- We write $\beta_1 = 6 + 2s = 3x_1 + (3 + s)x_2 + (3 + 2s)x_3$ ($x_1, x_2, x_3 \in \mathbb{N}_0$) by definition the factorizations. In this case, the solution of the linear equation is found as $(0, 2, 0)$ and $(1, 0, 1)$. So, $Z(\beta_1) = Z(6 + 2s) = \{(0, 2, 0), (1, 0, 1)\}$.
- We write $\beta_2 = 6 + 3s = 3x_1 + (3 + s)x_2 + (3 + 2s)x_3$ ($x_1, x_2, x_3 \in \mathbb{N}_0$) by definition the factorizations. In this case, the solution of the linear equation is found as $(s + 2, 0, 0)$ and $(0, 1, 1)$. So, $Z(\beta_2) = Z(6 + 3s) = \{(s + 2, 0, 0), (0, 1, 1)\}$.
- We write $\beta_3 = 6 + 4s = 3x_1 + (3 + s)x_2 + (3 + 2s)x_3$ ($x_1, x_2, x_3 \in \mathbb{N}_0$) by definition the factorizations. In this case,

the solution of the linear equation is found as $(s + 1, 1, 0)$ and $(0, 0, 2)$. So, $Z(\beta_3) = Z(6 + 4s) = \{(s + 1, 1, 0), (0, 0, 2)\}$.

So, let's find the distance of the edge between these factorizations of Betti elements of S , then find the catenary degree of Betti elements of S .

- $gcd((0, 2, 0), (1, 0, 1)) = (min(0, 1), min(2, 0), min(0, 1)) = (0, 0, 0)$

$$\begin{aligned}
 d((0, 2, 0), (1, 0, 1)) &= \max\{|(0, 2, 0) - (0, 0, 0)|, |(1, 0, 1) - (0, 0, 0)|\} \\
 &= \max\{|(0, 2, 0)|, |(1, 0, 1)|\} \\
 &= \max\{2, 2\} = 2
 \end{aligned}$$

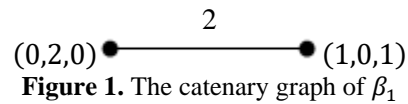


Figure 1. The catenary graph of β_1

Therefore, if we draw a graph composed of these vertices and edges in Figure 3, the catenary degree of $\beta_1 = 6 + 2s$ is 2.

- $gcd((0, 1, 1), (2 + s, 0, 0)) = (min(0, 2 + s), min(1, 0), min(1, 0)) = (0, 0, 0)$

$$\begin{aligned}
 d(x, y) &= \max\{|(0, 1, 1) - (0, 0, 0)|, |(2 + s, 0, 0) - (0, 0, 0)|\} \\
 &= \max\{|(0, 1, 1)|, |(2 + s, 0, 0)|\} \\
 &= \max\{2, 2 + s\} = 2 + s
 \end{aligned}$$

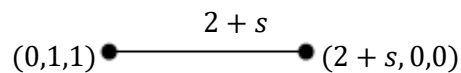


Figure 2. The catenary graph of β_2

Therefore, if we draw a graph composed of these vertices and edges in Figure 3, the catenary degree of $\beta_2 = 6 + 3s$ is $2 + s$.

- $gcd((0, 0, 2), (s + 1, 1, 0)) = (min(0, s + 1), min(0, 1), min(2, 0)) = (0, 0, 0)$

$$\begin{aligned}
 d(x, y) &= \max\{|(0, 0, 2) - (0, 0, 0)|, |(s + 1, 1, 0) - (0, 0, 0)|\} \\
 &= \max\{|(0, 0, 2)|, |(s + 1, 1, 0)|\} \\
 &= \max\{2, 2 + s\} = 2 + s
 \end{aligned}$$

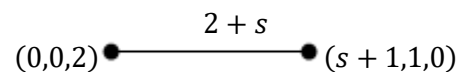


Figure 3. The catenary graph of β_3

Therefore, if we draw a graph composed of these vertices and edges in Figure 3, the catenary degree of $\beta_3 = 6 + 4s$ is $2 + s$.

According to Lemma 3,

$$c(S) = \max\{c(\beta) | \beta \in \text{Betti}(S)\} = \max\{2, s + 2\} = s + 2.$$

Example 11. If $s = 7$, then $S = \langle 3, 10, 17 \rangle$. Let's find the catenary degree of the pseudo-symmetric numerical semigroup S .

Using the GAP package numericalsgps [8], the following results are obtained

```
S:=NumericalSemigroup([3,10,17]);
<Numerical semigroup with 3 generators>
gap> BettiElementsOfNumericalSemigroup(se);
[20, 27, 34]
```

```
gap> Factorizations(20,S);
[[0, 2, 0], [1, 0, 1]]
gap> Factorizations(27,S);
[[9, 0, 0], [0, 1, 1]]
gap> Factorizations(34,S);
[[8, 1, 0], [0, 0, 2]]
```

The catenary degree of Betti elements of S .

- $\gcd((0,2,0), (1,0,1)) = (\min(0,1), \min(2,0), \min(0,1)) = (0,0,0)$

$$\begin{aligned} d((0,2,0), (1,0,1)) &= \max\{|(0,2,0) - (0,0,0)|, |(1,0,1) - (0,0,0)|\} \\ &= \max\{|(0,2,0)|, |(1,0,1)|\} \\ &= \max\{2, 2\} = 2 \end{aligned}$$

$$C(\beta_1) = 2.$$

- $\gcd((0,1,1), (9,0,0)) = (\min(0,0), \min(1,0), \min(1,0)) = (0,0,0)$

$$\begin{aligned} d(x, y) &= \max\{|(0,1,1) - (0,0,0)|, |(9,0,0) - (0,0,0)|\} \\ &= \max\{|(0,1,1)|, |(9,0,0)|\} \\ &= \max\{2, 9\} = 9 \end{aligned}$$

$$C(\beta_2) = 9.$$

- $\gcd((0,0,2), (8,1,0)) = (\min(0,8), \min(0,1), \min(2,0)) = (0,0,0)$

$$\begin{aligned} d(x, y) &= \max\{|(0,0,2) - (0,0,0)|, |(8,1,0) - (0,0,0)|\} \\ &= \max\{|(0,0,2)|, |(8,1,0)|\} \\ &= \max\{2, 9\} = 9 \end{aligned}$$

$$C(\beta_3) = 9.$$

According to Lemma 3,

$$c(S) = \max\{c(\beta) | \beta \in \text{Betti}(S)\} = \max\{2, 9\} = 9.$$

From Theorem 10, the catenary degree of the pseudo-symmetric numerical semigroup S $c(S) = s + 2 = 7 + 2 = 9$.

Theorem 12. The graph of the pseudo-symmetric numerical semigroup $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ for $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$ is as following:

Table 1. The graph of $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$

Graph	Connected components	Relations	Factorizations
G_{6+2s}	$\{3, 3 + 2s\}, \{3 + s\}$	$(x_1 + x_3, 2x_2)$	$(1, 0, 1), (0, 2, 0)$
G_{6+3s}	$\{3\}, \{3 + s, 3 + 2s\}$	$((2 + s)x_1), (x_2 + x_3)$	$(s + 2, 0, 0), (0, 1, 1)$
G_{6+4s}	$\{3, 3 + s\}, \{3 + 2s\}$	$((s + 1)x_1 + x_2), (2x_3)$	$(s + 1, 1, 0), (0, 0, 2)$

Proof. Let $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ for $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$. Then, $Ap(S, 3) = \{w_0 = 0, w_1, w_2\} = \{0, 3 + s, 3 + 2s\}$ from Proposition 5. According to Proposition 6, $w \in Ap(S, 3) \setminus \{0\} = \{3 + s, 3 + 2s\}$ and $s = w + m_j$ for $j \in \{1, 2, 3\}$. Thus, $s \in (Ap(S, 3) \setminus \{0\}) + \{3 + s, 3 + 2s\} = \{3 + s, 3 + 2s\} + \{3 + s, 3 + 2s\} = \{6 + 2s, 6 + 3s, 6 + 4s\} = \text{Betti}(S)$. Table 1 is expressed with those obtained.

Remark 13. Assume now that $S = \langle m_1, m_2, m_3 \rangle$. For $\{i, j, k\} = \{1, 2, 3\}$, let the non-negative integers c_i, r_{ij} and r_{ik} be defined as below.

- If $c_1 m_1 = c_2 m_2 = c_3 m_3$, then $\{(c_1 x_1, c_2 x_2), (c_1 x_1, c_3 x_3)\}$

is a minimal presentation of S .

- If $c_1 m_1 \neq c_2 m_2 = c_3 m_3$, then $c_1 m_1 = a m_2 + b m_3$ with $a, b \in \mathbb{N}$. Thus,

$$\{(c_1x_1, ax_2 + bx_3), (c_2x_2, c_3x_3)\}$$

$$c_i = r_{ji} + r_{ki}.$$

is a minimal presentation of S .

- If $\#(\{c_1x_1, c_2x_2, c_3x_3\}) = 3$, then $c_im_i = r_{ij}m_j + r_{ik}m_k$ for some non-negative integers r_{ij} and r_{ik} . Then, $\{(c_1x_1, r_{12}x_2 + r_{13}x_3), (c_2x_2, r_{21}x_1 + r_{23}x_3), (c_3x_3, r_{31}x_1 + r_{32}x_2)\}$

is a minimal presentation of S .

Theorem 14. The minimal presentation of the pseudo-symmetric numerical semigroup $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ with $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$ is as following:

$$\{((s + 2)x_1, x_2 + x_3), (2x_2, x_1 + x_3), (2x_3, (s + 1)x_1 + x_2)\}$$

or

$$\{((s + 2, 0, 0), (0, 1, 1)), ((0, 2, 0), (1, 0, 1)), ((0, 0, 2), (s + 1, 1, 0))\}.$$

Proof. Let $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ for $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$. For $i \in \{1, 2, 3\}$, the integers c_i were obtained in proof of Theorem 8. For $\{i, j, k\} = \{1, 2, 3\}$, the non-negative integers are obtained according to the definitions of r_{ij} and r_{ik} as follows.

$$r_{21} = r_{23} = r_{32} = r_{12} = r_{13} = 1 \text{ and } r_{31} = s + 1.$$

By Remark 13, The minimal presentation of S is

$$\{((s + 2)x_1, x_2 + x_3), (2x_2, x_1 + x_3), (2x_3, (s + 1)x_1 + x_2)\}$$

or

$$\{((s + 2, 0, 0), (0, 1, 1)), ((0, 2, 0), (1, 0, 1)), ((0, 0, 2), (s + 1, 1, 0))\}.$$

Proposition 15. ([9], Proposition 2) If the numerical semigroup $S = \langle m_1, m_2, m_3 \rangle$ is not symmetric, then the $r_{ij}, r_{ik} \in \mathbb{N}$ are unique for $\{i, j, k\} = \{1, 2, 3\}$. In addition,

From $m_1 < m_2 < m_3$ we will get the following result.

Lemma 16. ([9], Lemma 3) Let the numbers c_i, r_{ji} and r_{ik} be defined as we previously determined, $c_1 > r_{12} + r_{13}$ and $c_3 > r_{31} + r_{32}$. Set

$$\delta_i = |c_i - r_{ji} - r_{ik}|$$

for every $\{i, j, k\} = \{1, 2, 3\}$.

From Lemma 16, $\delta_1 = c_1 - r_{12} - r_{13}$ and $\delta_3 = r_{31} - r_{32} - c_3$. Also, from Proposition 15, $\delta_2 = |\delta_1 - \delta_3|$.

Lemma 17. ([9], Lemma 4) Under the standing hypothesis, $\min \Delta(S) = \text{obeb}(\delta_1, \delta_3)$ and $\max \Delta(S) = \max\{\delta_1, \delta_3\}$.

Remark 18. Given Lemma 17, we can think $\delta_1 \neq \delta_3$ because in other case we will write $\min \Delta(S) = \max \Delta(S) = \delta_1 = \delta_3$. And then $\Delta(S) = \{\delta_1\}$.

Theorem 19. The Delta set of the pseudo-symmetric numerical semigroup $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ with $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$ is $\Delta(S) = \{s\}$.

Proof. Let $S = \langle 3, 3 + s, 3 + 2s \rangle$ for $3 \nmid s$ and $s \in \mathbb{N}$. For $\{i, j, k\} = \{1, 2, 3\}$, the non-negative integers c_i, r_{ij} and r_{ik} were obtained in proof of Theorem 8 and Theorem 14 as follows.

$$c_1 = 2 + s, c_2 = c_3 = 2, \quad r_{21} = r_{23} = r_{32} = r_{12} = r_{13} = 1 \text{ and } r_{31} = s + 1.$$

When we write the obtained values into the equations in Lemma 16, the following equations are obtained.

$$\begin{aligned} \delta_1 &= |c_1 - r_{21} - r_{13}| = |2 + s - 1 - 1| = |s| \\ &= s \\ \delta_2 &= |c_2 - r_{12} - r_{23}| = |2 - 1 - 1| = |0| = 0 \\ \delta_3 &= |c_3 - r_{31} - r_{32}| = |2 - s - 1 - 1| = |-s| \\ &= s \end{aligned}$$

Namely, $\delta_1 = \delta_3 = s$. Taking into account Remark 18,

$$\Delta(S) = \{\delta_1\} = \{s\}.$$

Example 20. If $s = 4$, then $S = \langle 3, 7, 11 \rangle$.

Using the GAP package `numericalsgps` [8], the following results are obtained. We show how we can compute Betti elements, the catenary degree, the minimal presentation, the delta set of S , factorizations of elements of S and the graph associated to in S using GAP package `numericalsgps`.

```
gap> se:=NumericalSemigroup([3,7,11]);
<Numerical semigroup with 3 generators>
gap> BettiElements(se);
[14, 18, 22]
gap> CatenaryDegree(se);
6
gap> MinimalPresentation(se);
[[[0, 2, 0], [1, 0, 1]], [[5, 1, 0], [0, 0, 2]], [[6, 0, 0],
[0, 1, 1]]]
gap> DeltaSet(se);
[4]
gap> Factorizations(14,se);
[[0, 2, 0], [1, 0, 1]]
gap> Factorizations(18,se);
[[6, 0, 0], [0, 1, 1]]
gap> Factorizations(22,se);
[[5, 1, 0], [0, 0, 2]]
gap>
GraphAssociatedToElementInNumericalSemigr
oup(14,se);
[[3, 7, 11], [[3, 11]]]
```

```
gap>
GraphAssociatedToElementInNumericalSemigr
oup(18,se);
[[3, 7, 11], [[7, 11]]]
gap>
GraphAssociatedToElementInNumericalSemigr
oup(22,se);
[[3, 7, 11], [[3, 7]]]
```

Namely, we obtain the set of Betti elements, the catenary degree, the minimal presentation and the Delta set of S from Theorem 8, Theorem 10, Theorem 14, Theorem 19.

$$Betti(S) = \{6 + 2s, 6 + 3s, 6 + 4s\} = \{6 + 2 \cdot 4, 6 + 3 \cdot 4, 6 + 4 \cdot 4\} = \{14, 18, 22\},$$

$$c(S) = s + 2 = 4 + 2 = 6,$$

The minimal presentation of the pseudo-symmetric numerical semigroup S is $\{(s + 2, 0, 0), (0, 1, 1), ((0, 2, 0), (1, 0, 1)), ((0, 0, 2), (s + 1, 1, 0))\}$
 $= \{(4 + 2, 0, 0), (0, 1, 1), ((0, 2, 0), (1, 0, 1)), ((0, 0, 2), (4 + 1, 1, 0))\}$
 $= \{((6, 0, 0), (0, 1, 1)), ((0, 2, 0), (1, 0, 1)), ((0, 0, 2), (5, 1, 0))\}$
 $\Delta(S) = \{s\} = \{4\}.$

And from Theorem 12, we can construct Table 2 as follows.

Table 2. The graph of $S = \langle 3, 7, 11 \rangle$

Graph	Connected components	Relations	Factorizations
G_{14}	$\{3, 11\}, \{7\}$	$(x_1 + x_3, 2x_2)$	$(1, 0, 1), (0, 2, 0)$
G_{18}	$\{3\}, \{7, 11\}$	$(6x_1), (x_2 + x_3)$	$(6, 0, 0), (0, 1, 1)$
G_{22}	$\{3, 7\}, \{11\}$	$(5x_1 + x_2), (2x_3)$	$(5, 1, 0), (0, 0, 2)$

4. Conclusion and Suggestions

This study aims to present the relationship between the Delta Set, Betti elements, catenary degree, graphs, and minimal representation of the family of pseudo-symmetric numerical semigroups and their generators. Such numerical semigroups are also of great interest in ring theory because numerical semigroups have many applications in ring theory and algebraic geometry via the valuations of one-dimensional local Noetherian domains whose value groups are numerical semigroups. Therefore, the results in this manuscript can be extended and studied by ring theory researchers.

Contributions of the authors

All authors contributed equally to the theory and the writing of the manuscript. This study is generated by the master thesis titled “DELTA SETS OF NUMERICAL MONOIDS” of Özkan ÇELİK and his supervisor Meral SÜER.

Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

Statement of Research and Publication Ethics

The study is complied with research and publication ethics

References

- [1] A. Assi and P.A. García-Sánchez, Numerical semigroups and applications. Springer, Cham: *RSME Springer Series*, 2016.
- [2] S. T. Chapman, P. A. García-Sánchez, Z. Tripp and C. Viola, C. “Measuring primality in numerical semigroups with embedding dimension three,” *Journal of Algebra and Its Applications*, vol. 15, no. 1, pp. 16, 2016.
- [3] S. T. Chapman, R. Hoyer and N. Kaplan, “Delta Sets of Numerical Monoids are Eventually Periodic,” *Aequationes Math.*, vol. 77, pp. 273-279, 2009.
- [4] S. T. Chapman, N. Kaplan, J. Daigle and R. Hoyer, “Delta Sets of Numerical Monoids Using Non-Minimal Sets of Generators,” *Comm. Algebra*, vol. 38, pp. 2622-2634, 2010.
- [5] S. T. Chapman, N. Kaplan, T. Lemburg, A. Niles and C. Zlogar, “Shifts of Generators and Delta Sets of Numerical Monoids,” *Internat. J. Algebra Comp.*, vol. 24, no. 5, pp. 655–669, 2014.
- [6] R. Conaway, F. Gotti, J. Horton, C. O’Neill, R. Pelayo, M. Williams and B. Wissman, “Minimal presentations of shifted numerical monoids,” *International Journal of Algebra and Computation*, vol. 28, no. 1, pp. 53–68, 2018.
- [7] R. Conaway, M. Williams, J. Horton and F. Gotti, “Shifting numerical semigroups” Allen Institute for Artificial Intelligence. 2015. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org>. [Accessed: Dec. 12, 2020].
- [8] M. Delgado, P. A. García-Sánchez and J. Morais, ““numericalsgps”: a gap package on numerical semigroups,” 2020. [Online]. Available: <https://www.gap-system.org/Packages/numericalsgps.html>. [Accessed: Nov. 11, 2021].
- [9] P.A. García-Sánchez, D. Llena and A. Moscariello, “Delta sets for numerical semigroups with embedding dimension three,” 2015. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/1504.02116v1> [Accessed: Nov. 11, 2021].
- [10] A. Geroldinger, “On the arithmetic of certain not integrally closed Noetherian integral domains,” *Comm. Algebra*, vol. 19, pp. 685–698, 1991.
- [11] A. Geroldinger and F. Halter-Koch, *Non-unique factorizations: Algebraic, combinatorial and analytic theory*, Boca Raton-London-New York: Chapman and Hall/CRC, 2006.
- [12] S. İlhan and M. Süer, “On a class of pseudo symmetric numerical semigroups,” *JP Journal of Algebra, Number Theory and Applications*, vol. 20, no. 2, pp. 225-230, 2011.
- [13] S. İlhan and M. Süer, “Gaps of a class of pseudo symmetric numerical semigroups,” *Acta Universitatis Apulensis*, vol. 34, pp. 99-104, 2013.
- [14] D. Narsingh, Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science. The United States of America, USA: *Prentice Hall Series in Automatic Computation*, 1974.
- [15] C. O’Neil, V. Ponomorenko, R. Tate and G. Webb, “On the set of catenary degrees of finitely generated cancellative commutative monoids,” *International Journal of Algebra and Computation*, vol. 26, no. 3, pp. 565-576, 2016.
- [16] J. C. Rosales and M. B. Branco, “Irreducible numerical semigroups with arbitrary multiplicity and embedding dimension,” *J. Algebra*, vol. 264, pp. 305–315, 2003.
- [17] J. C. Rosales and P. A. García-Sánchez, Finitely generated commutative monoids. New York: *Nova 28 Science Publishers*, 1999.
- [18] J. C. Rosales and P. A. García-Sánchez, Numerical semigroups. In: *Developments in Mathematics*. New York: *Springer*, 2009.
- [19] M. S. Schwartz, “Factorization Lengths in Numerical Monoids,” 2019. [Online]. Available: https://digitalcommons.bard.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1034&context=senproj_s2019 [Accessed: Nov. 11, 2021].



Effects of Lattice Frequency on Vacancy Defect Solitons in a Medium with Quadratic Nonlinear Response

Mahmut BAĞCI^{1*}

¹*Yeditepe University, School of Applied Sciences, Department of Software Development, Istanbul, Turkey.*

(ORCID: [0000-0001-6931-6837](https://orcid.org/0000-0001-6931-6837))



Keywords: Optical lattices, lattice solitons, soliton stability, quadratic response.

Abstract

The impact of lattice frequency on the defect lattice solitons have been investigated in a medium with quadratic nonlinear response. Governing equation of the optical system has been formed by adding an external lattice to the nonlinear Schrödinger equation with coupling to a mean term (NLSM system), and soliton solutions of the system were calculated by the squared operator method. Moreover, stability of the fundamental solitons has been examined by the linear stability spectra and nonlinear evolution of the solitons. It has been demonstrated that although higher lattice frequency extends the existence domain of propagation constant for defective lattice solitons in a quadratic nonlinear medium, it has an adverse effect on stability dynamics of the solitons.

1. Introduction

Localized solutions of wave equations (solitons) have a significant importance in nonlinear optical systems. These nonlinear optical systems can be characterized by various equations such as the Korteweg-de Vries (KdV) equation, the nonlinear Schrödinger (NLS) equation or the Ginzburg-Landau equation, and soliton solutions of these equations can be obtained by analytical and numerical methods [1]. The nonlinear Schrödinger (NLS) equation is used to describe wave dynamics in centro-symmetric (or cubic Kerr) media, and it is given in the (2+1) dimension as follows

$$iu_z + \frac{1}{2}\Delta u + |u|^2u = 0 \quad (1)$$

Here, $u(x, y, z)$ denotes the slowly-varying envelope, $\Delta u = u_{xx} + u_{yy}$ shows the wave diffraction, and the cubic term $|u|^2u$ shows change of the refractive index (Kerr effect) of the cubic medium. However, it has been shown that quadratic effects rise in many practical optical systems [2]-[6]. Indeed, the quadratic electro-optic effect occurs in all crystal structures, irrespective of symmetry. A

nonlinear medium with quadratic and cubic nonlinear response can be governed by the NLS equation with coupling to a mean term (known as NLSM system) [7]-[9]. The NLSM system is denoted by

$$\begin{aligned} iu_z + \frac{1}{2}\Delta u + |u|^2u - \rho\phi u &= 0, \\ \phi_{xx} + \nu\phi_{yy} &= (|u|^2)_{xx} \end{aligned} \quad (2)$$

where quadratic optical effects in the medium are shown by $\phi(x, y)$. ρ represents the strength of the quadratic electro-optic effects and ν shows the anisotropy of the medium (optical material). These equations are emerged from the interaction between the fundamental and dc fields when second-harmonic-generation is not phase matched. Thus, the NLSM systems were procured as the nonlocal-nonlinear coupling between the first field (with the cascaded effect from the second harmonic) and a static field that arises from the zeroth harmonic (mean term) [7]-[9]. The physical equivalence of the NLSM system and its derivation were discussed in detail by Ablowitz in [1].

Adding saturable nonlinearity [10],[11] or optical lattices [12],[13] to the governing equations

*Corresponding author: bagcimahmut@gmail.com

Received: 16.11.2021, Accepted: 10.02.2022

are known methods for stabilization of unstable solutions. After the existence of optical lattice solitons has been experimentally proven [14], many scientific studies have been carried out in this field. In this direction, real periodic (crystal) [5],[11],[15], quasi-periodic (quasi-crystal) [16]-[18] or complex parity-time symmetric lattices [19]-[23] were added to the model equations. Also, there were studies that investigate the nonlinear wave dynamics in defective lattices [24]-[27]. These studies generally focused on the geometric (crystal) shapes of the lattices and the point, linear or volumetric defects in the lattice structures [28]. It has been demonstrated that defects in the lattice structure have significant effects on both soliton profiles and soliton dynamics [24],[25]. In addition, it has been shown that increasing the lattice (potential) depth supports stability of solitons [5],[26],[27]. However, the impact of lattice frequency on soliton dynamics in a medium with quadratic nonlinear response has not been examined yet.

In this study, the stability dynamics of lattice solitons are investigated in a medium with quadratic and cubic nonlinear response. The external lattice is chosen as a square lattice with a vacancy defect [24],[25],[28]. The soliton solutions are obtained numerically, and the stability of solitons are tested by the linear spectra and nonlinear evolution. A vacancy defect is a point defect that occurs almost in all crystalline materials when an atom is missing from the location where it supposed to be [28]. It was shown that the defects in optical materials can be produced by irradiation of high energy particle [29], and considerable improvements has been made in the design and fabrication of lattice structures with point defects [30],[31]. In other words, vacancy defects in optical lattices can be engineered. Therefore, it is important to examine the impact of lattice frequency on stability of solitons around a vacancy defect.

2. Material and Method

2.1. The Model Equations

In order to describe the quadratic nonlinear medium with an external lattice $V(x, y)$, the NLSM system (2) is extended as follows.

$$iu_z + \frac{1}{2}\Delta u + |u|^2u - \rho\phi u - V(x, y) = 0, \quad (3)$$

$$\phi_{xx} + v\phi_{yy} = (|u|^2)_{xx}$$

The lattice $V(x, y)$ in the model is chosen as a square lattice with a vacancy defect and defined as follows [24]:

$$V(x, y) = \frac{V_0}{25} [2 \cos(k_x x) + 2 \cos(k_y y) + e^{i\theta(x, y)}]^2 \quad (4)$$

Here, the defective point is formed by the phase function $\theta(x, y)$ that is given by

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{y-y_0}{x}\right) - \tan^{-1}\left(\frac{y+y_0}{x}\right) \quad (5)$$

V_0 is the coefficient that determines the lattice depth. A perfect periodic lattice is obtained by setting $\theta(x, y) = 0$. (k_x, k_y) shows the wave numbers and when $K = k_x = k_y$ and $y_0 = \pi/K$ a point defect occurs in the center $(0,0)$ of the lattice. Far from the center, a lattice structure with a period of $2\pi/K$ and a frequency of K is formed [24],[25]. Therefore, the frequency of the lattice can be controlled with the parameter K . In this study, lattice solitons are examined for lattice frequencies $K = 3, K = 4$ and $K = 5$. Accordingly, top views and diagonal cross-sections of these lattices are shown in Figure 1.

As seen in Figure 1, there is a local minimum near the center of the lattice in all cases, regardless of the lattice frequency. In other words, the change in frequency does not change the structure of the lattice qualitatively, but only makes a quantitative difference.

2.2. The squared operator method (SOM) for numerical solution

A modification of the Squared Operator Method (SOM) is used to solve the system given in equation (3) [32]. In this method, an operator is defined to linearize the governing equation (3) around the solution, and the square of this operator is iterated to obtain a convergent solution. The algorithm of the SOM is explained below.

Substituting the solution suggestion $u = U(x, y)e^{i\mu z}$ in system (3), the following operator L_0 and the associated acceleration operator M_0 are defined as

$$L_0 U = -\mu U + \frac{1}{2}\Delta U + |U|^2 U - \rho\phi U - V(x, y)U,$$

$$M_0 = \mathcal{F}^{-1}\left(\frac{\mathcal{F}(L_0 U)}{K^2 + c}\right). \quad (6)$$

Here $U(x, y)$ is a real valued function, μ is the propagation constant (eigenvalue), and \mathcal{F}

symbolizes the Fourier transform that is applied to second-order derivatives. $K = (k_x, k_y)$ denotes wave number and $K^2 = k_x^2 + k_y^2$. c is a real positive number and chosen intuitively to scale the

algorithm. $L_0 U = 0$ shows the general form of equation (3) and L_1 operator is defined as linearization of L_0 around U . The operator L_1 and its associated operator M_1 are calculated as follows

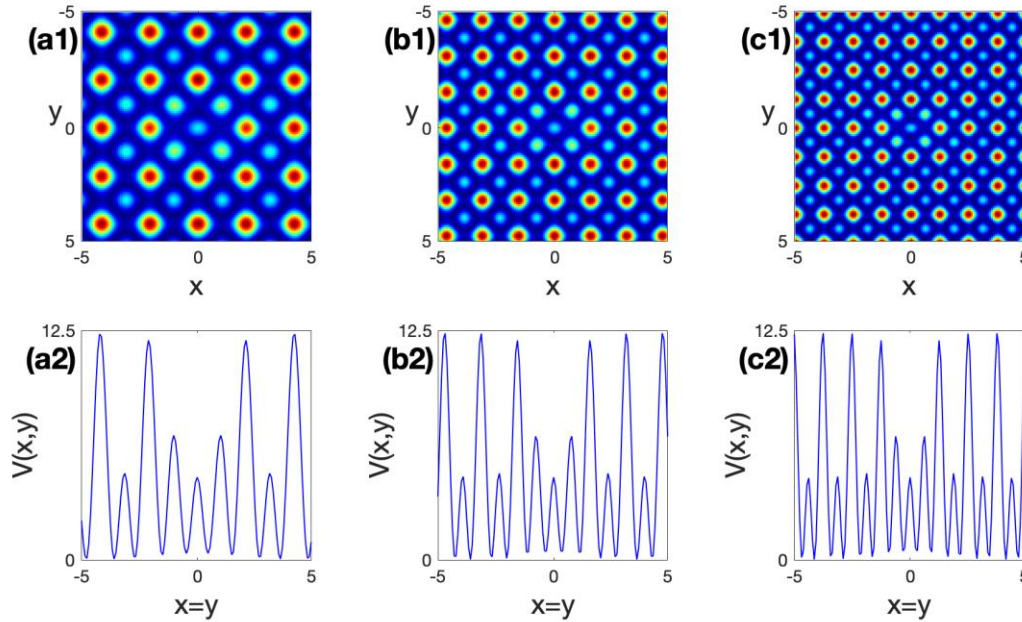


Figure 1. The top views (the first row) and diagonal cross-sections (the second row) of lattices with a vacancy defect (a1)-(a2) for $K = 3$; (b1)-(b2) for $K = 4$ and (c1)-(c2) for $K = 5$. The lattice depth is $V_0 = 12.5$ for all cases considered

$$\begin{aligned}
 L_1 U &= -\mu M_0 + \frac{1}{2} \Delta M_0 + 3|U|^2 M_0 \\
 &\quad -\rho \Phi M_0 - V(x, y) M_0, \\
 M_1 &= \mathcal{F}^{-1} \left(\frac{\mathcal{F}(L_1 U)}{K^2 + c} \right)
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

After calculating the acceleration operator M_1 , a convergent solution is obtained with the following iteration

$$U_{n+1} = U_n - M_1 \Delta t \tag{8}$$

when the mean term $\Phi(x, y)$ is iterated as follows

$$\Phi_n = \mathcal{F}^{-1} \left(\frac{k_x^2}{k_x^2 + \nu k_y^2} \mathcal{F}(|U_n|^2) \right) \tag{9}$$

Δt shows the step size of iteration, and the error E is calculated as follows at each iteration step by

$$E = \sqrt{\|U_{n+1} - U_n\|^2} \tag{10}$$

and the iteration continues until $E < 10^{-8}$ to obtain a convergent solution.

It has been proven that, with a convenient initial condition, this algorithm produces convergent solutions for many evolution equations

when Δt is less than a threshold value [32],[33]. c and Δt are fixed to 3 and 0.2 in the SOM algorithm, and the following Gaussian initial condition is used to calculate fundamental soliton solutions.

$$U_0 = e^{-[(x-x_0)+(y-y_0)]} \tag{11}$$

The location of the initial condition on the lattice is determined by the variables x_0 and y_0 . The fundamental solitons are focused on the center of the lattice ($x_0 = y_0 = 0$) near the vacancy defect, and the depth V_0 of the lattice is fixed to 12.5 for comparison with previous studies [24],[26],[27]. In addition, the quadratic term coefficient is chosen as $\rho = 0.5$ and the anisotropy coefficient as $\nu = 1.5$. These values belong to the potassium niobate (KNbO₃) that is an optical material used in laser systems [34].

2.3. The Linear Stability Spectra

The stability of fundamental solitons, which have been obtained by the SOM, are examined with linear eigenvalue spectra and nonlinear evolution of the peak amplitudes. The spectra are obtained by linearization of the governing equation (3) around

the fundamental solitons (u_0). To do that, the solution u_0 is perturbed as follows.

$$U = e^{i\mu z} [u_0(x, y) + g(x, y)e^{\lambda z} + h^*(x, y)e^{\lambda^* z}] \quad (12)$$

where $g, h \ll 1$ are infinitesimal perturbations. Substituting U into equation (3) and neglecting second order terms, the following linear equation system is obtained

$$AV = \lambda V \quad (13)$$

where matrices are defined by

$$A = i \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} g \\ h \end{pmatrix} \quad (14)$$

and the elements of matrix A are

$$\begin{aligned} A_{11} &= A_{22} = 0, \\ A_{12} &= -\mu + \frac{1}{2}\Delta + U^2 - \rho\varphi - V, \\ A_{21} &= -\mu + \frac{1}{2}\Delta + 3U^2 - \rho\varphi - V. \end{aligned} \quad (15)$$

The eigenvalues of the matrix A are calculated by the Fourier collocation method [33]. If there is a positive real part in the eigenvalue spectrum of the soliton, it will be considered as linearly unstable. It is also known that there is a strong relation between

the power ($P = \iint_{-\infty}^{\infty} |U|^2 dx dy$) and stability of solitons. Vakhitov and Kolokolov demonstrated that solitons can be linearly stable, only if their powers increase as the propagation constant (μ) is increased [35]. In other words, a necessary condition for the linear stability is that the slope of the $P - \mu$ graph must be positive i.e.,

$$\frac{\partial P}{\partial \mu} > 0 \quad (16)$$

In order to confirm the results presented by the linear stability analysis, the nonlinear stability of the solitons are tested by investigating the evolution of peak amplitudes. For the nonlinear evolution, the derivatives in equation (3) are calculated by the finite difference method, and the evolution in the z direction is performed by the fourth-order Runge-Kutta method.

3. Results and Discussion

Using the parameter values defined above, the fundamental solitons are obtained for $K = 3, K = 4, K = 5$ and displayed in Figure 2. It is seen that the soliton amplitudes get larger as the lattice frequency K increases.

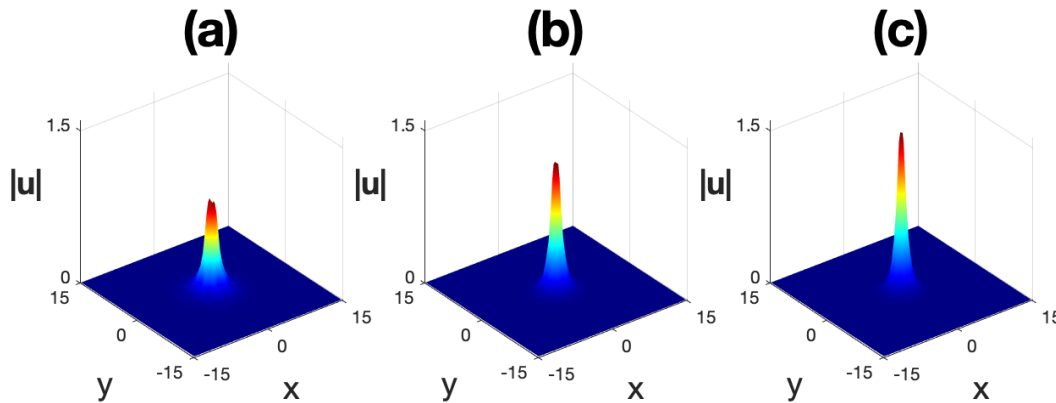


Figure 2. Fundamental solitons near the vacancy defect in a medium with quadratic nonlinear response (a) for $K = 3$; (b) for $K = 4$ and (c) for $K = 5$. $V_0 = 12.5$ and $\mu = -1.6$ in all cases.

Before the stability analysis, the power of fundamental solitons are examined in Figure 3. As seen in Figure 3 (a1), the slope of $P - \mu$ diagrams are positive in all cases ($K = 3, K = 4, K = 5$). This fact reveals that the considered solitons met the necessary condition for linear stability. In order to support this result, linear

spectra of solitons are calculated at each point of the existence domain, and the linear stability (solid line) and instability (dotted line) intervals are determined for $K = 3, K = 4$ and $K = 5$ in Figure 3 (a2). As can be seen from Figure 3 (a2), if the lattice frequency $K = 3$, solitons are linearly stable when the propagation constant is less than a critical value ($\mu < -1.41$). On the

other hand, solitons are linearly unstable at high values of the lattice frequency ($K = 4$ and $K = 5$) everywhere on their existence domain. Moreover, the power of solitons are investigated for varied strength of the quadratic electro-optic effects (ρ) in Figure 3 (b1), and linear stability interval of ρ is determined in Figure 3 (b2) for $K = 3, K = 4$ and $K = 5$. It can be seen that the power of solitons grow up with increased lattice frequency K (see Figure 3 (b1)), and both the domain of existence and stability interval of ρ are

extended as the lattice frequency is decreased (see Figure 3 (b2)). These results reveal that higher lattice frequency has an adverse effect on dynamics of the vacancy defect solitons in a medium with quadratic nonlinear response.

It is noted that in Figure 3 (a2), the marked points ‘a’, ‘b’ and ‘c’ correspond to the fundamental solitons that are shown in Figure 2 (a), (b) and (c), respectively. The eigenvalue spectra of these solitons are displayed in Figure 4.

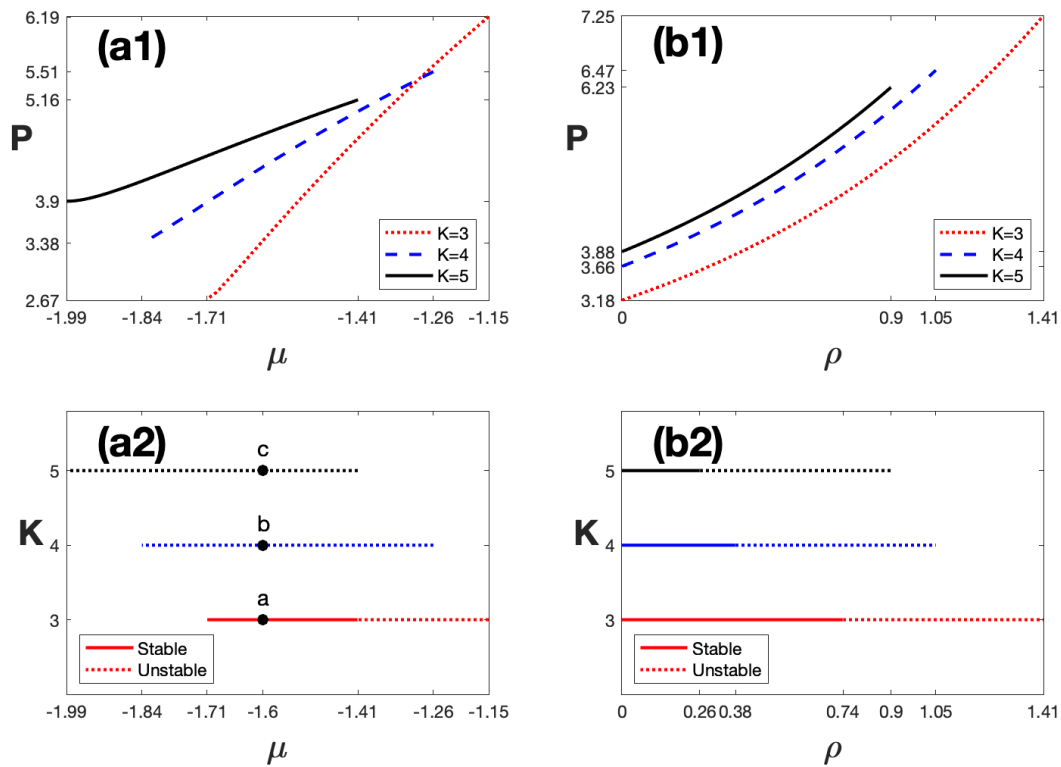


Figure 3. Power of solitons (a1) for varied eigenvalue (μ) and (b1) for varied strength of the quadratic electro-optic effects ρ when $K = 3, K = 4$ and $K = 5$. Stability intervals of solitons (a2) for μ and (b2) for ρ when $K = 3, K = 4$ and $K = 5$. The points ‘a’, ‘b’, ‘c’ correspond to the fundamental solitons shown in Figure 2 (a), (b), (c), respectively.

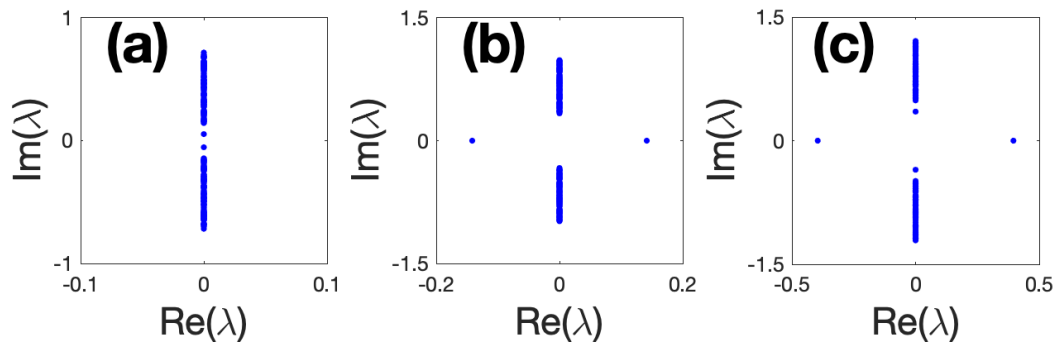


Figure 4. Linear spectra of fundamental solitons that are obtained at points ‘a’, ‘b’ and ‘c’ in Figure 3 (a2).

For the point 'a', there is no real part of the eigenvalue in the spectrum of the fundamental soliton that is obtained with a low lattice frequency ($K = 3$). On the contrary, at the points 'b' and 'c', there are positive real parts in the eigenvalue spectra of the solitons that are obtained for $K = 4$ and $K = 5$, respectively. This analysis indicates the linear instability of the solitons that are generated with higher frequencies at points 'b' and 'c'.

In order to confirm the linear stability results, the nonlinear evolution of fundamental solitons, that are obtained at points 'a', 'b' and 'c' in Figure 3 (a2), are examined in Figure 5. As

seen in Figure 5, value of the peak amplitude oscillates with relatively small amplitudes for the soliton obtained with the low lattice frequency ($K = 3$) at the point 'a'. This result shows the nonlinear stability of the soliton considered. The amplitudes of solitons obtained at 'b' and 'c' points show a significant increase during the evolution. Therefore solitons obtained with high lattice frequencies ($K = 4$ and $K = 5$) are nonlinearly unstable. Furthermore, it is observed that results of the linear and nonlinear stability analysis are consistent.

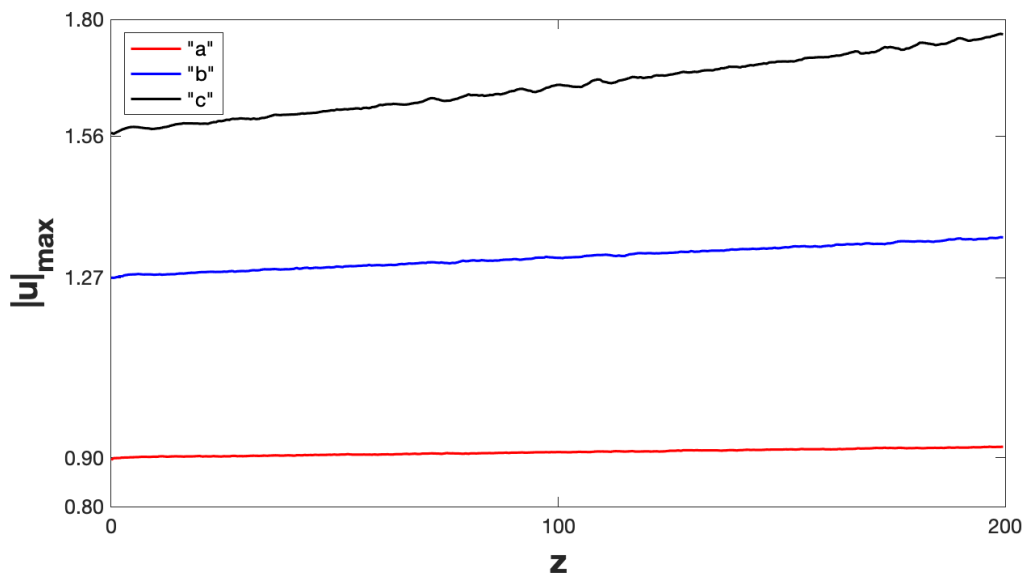


Figure 5. The nonlinear evolution of the peak amplitudes for the fundamental solitons that are obtained at points 'a', 'b' and 'c' in Figure 3 (a2). Here, the step size in the z direction is $dz = 0.01$.

4. Conclusion and Suggestions

The effects of lattice frequency on defect lattice solitons have been investigated in a quadratic medium. An external lattice was added to the NLSM system to describe the optical system, and convergent soliton solutions were obtained by the squared operator method. Stability analyses of the calculated solitons have been examined by the linear spectra and nonlinear evolutions. After performing power analysis in the domain of existence for the solitons with varied frequencies, the linear stability intervals were determined by eigenvalue spectra.

The linear spectra analysis showed that solitons obtained with low lattice frequency can be stable when the propagation constant is less than a certain threshold value ($\mu < -1.41$), whereas solitons obtained with high lattice frequency are unstable everywhere on their

existence domain. These results were confirmed by examining the nonlinear evolutions of the solitons considered. Furthermore, the stability of solitons has been investigated for varied strength of the quadratic electro-optic effects (ρ) by variation of lattice frequency and, it has been observed that higher lattice frequency has an adverse effect on dynamics of the vacancy defect solitons in a medium with quadratic nonlinear response.

As a result, it has been observed that although higher lattice frequency extends the existence domain of propagation constant μ for vacancy defect solitons in a quadratic nonlinear medium, it negatively affects the stability properties of the solitons.

Statement of Research and Publication Ethics

The study is complied with research and publication ethics.

References

- [1] M. J. Ablowitz, *Nonlinear dispersive waves: Asymptotic analysis and solitons*. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2012.
- [2] W. E. Torruellas *et al.*, “Observation of two-dimensional spatial solitary waves in a quadratic medium,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 74, no. 25, pp. 5036–5039, 1995.
- [3] K. Hayata and M. Koshiba, “Multidimensional solitons in quadratic nonlinear media,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 71, no. 20, pp. 3275–3278, 1993.
- [4] L. Torner and A. P. Sukhorukov, “Quadratic solitons,” *Opt. Photonics News*, vol. 13, no. 2, p. 42, 2002.
- [5] M. Bağcı, İ. Bakırtaş, and N. Antar, “Lattice solitons in nonlinear Schrödinger equation with coupling-to-a-mean-term,” *Opt. Commun.*, vol. 383, pp. 330–340, 2017.
- [6] M. Bağcı and J. N. Kutz, “Spatiotemporal mode locking in quadratic nonlinear media,” *Phys. Rev. E.*, vol. 102, no. 2–1, p. 022205, 2020.
- [7] M. J. Ablowitz, G. Biondini, and S. Blair, “Localized multi-dimensional optical pulses in non-resonant quadratic materials,” *Math. Comput. Simul.*, vol. 56, no. 6, pp. 511–519, 2001.
- [8] M. J. Ablowitz, G. Biondini, and S. Blair, “Nonlinear Schrödinger equations with mean terms in nonresonant multidimensional quadratic materials,” *Phys. Rev. E Stat. Nonlin. Soft Matter Phys.*, vol. 63, no. 4 Pt 2, p. 046605, 2001.
- [9] M. Ablowitz, İ. Bakırtaş, and B. Ilan, “Wave collapse in a class of nonlocal nonlinear Schrödinger equations,” *Physica D*, vol. 207, no. 3–4, pp. 230–253, 2005.
- [10] S. Gatz and J. Herrmann, “Soliton propagation in materials with saturable nonlinearity,” *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 8, no. 11, p. 2296, 1991.
- [11] İ. Göksel, İ. Bakırtaş, and N. Antar, “Nonlinear Lattice Solitons in Saturable Media,” *Appl. Math. Inf. Sci.*, vol. 9, no. 1, pp. 377–385, 2015.
- [12] M. J. Ablowitz, N. Antar, İ. Bakırtaş, and B. Ilan, “Band-gap boundaries and fundamental solitons in complex two-dimensional nonlinear lattices,” *Phys. Rev. A*, vol. 81, no. 3, 2010.
- [13] Y. V. Kartashov, B. A. Malomed, and L. Torner, “Solitons in nonlinear lattices,” *Rev. Mod. Phys.*, vol. 83, no. 1, pp. 247–305, 2011.
- [14] J. W. Fleischer, M. Segev, N. K. Efremidis, and D. N. Christodoulides, “Observation of two-dimensional discrete solitons in optically induced nonlinear photonic lattices,” *Nature*, vol. 422, no. 6928, pp. 147–150, 2003.
- [15] B. B. Baizakov, B. A. Malomed, and M. Salerno, “Multidimensional solitons in periodic potentials,” *EPL*, vol. 63, no. 5, pp. 642–648, 2003.
- [16] H. Sakaguchi and B. A. Malomed, “Gap solitons in quasiperiodic optical lattices,” *Phys. Rev. E Stat. Nonlin. Soft Matter Phys.*, vol. 74, no. 2 Pt 2, p. 026601, 2006.
- [17] M. J. Ablowitz, N. Antar, İ. Bakırtaş, and B. Ilan, “Vortex and dipole solitons in complex two-dimensional nonlinear lattices,” *Phys. Rev. A*, vol. 86, no. 3, 2012.
- [18] M. Bağcı, “Soliton dynamics in quadratic nonlinear media with two-dimensional Pythagorean aperiodic lattices,” *J. Opt. Soc. Am. B*, vol. 38, no. 4, p. 1276, 2021.
- [19] S. Nixon, L. Ge, and J. Yang, “Stability analysis for solitons in PT-symmetric optical lattices,” *Phys. Rev. A*, vol. 85, no. 2, 2012.
- [20] F. C. Moreira, V. V. Konotop, and B. A. Malomed, “Solitons in PT-symmetric periodic systems with the quadratic nonlinearity,” *Phys. Rev. A*, vol. 87, no. 1, 2013.
- [21] İ. Göksel, N. Antar, and İ. Bakırtaş, “Two-dimensional solitons in PT-symmetric optical media with competing nonlinearity,” *Optik (Stuttg)*, vol. 156, pp. 470–478, 2018.
- [22] M. Bağcı, “Partially PT-symmetric lattice solitons in quadratic nonlinear media,” *Phys. Rev. A*, vol. 103, no. 2, 2021.
- [23] M. Bağcı, “Vortex solitons on partially PT-symmetric azimuthal lattices in a medium with quadratic nonlinear response,” *Journal of Mathematical Sciences and Modelling*, 2021.

- [24] M. J. Ablowitz, B. Ilan, E. Schonbrun, and R. Piestun, “Solitons in two-dimensional lattices possessing defects, dislocations, and quasicrystal structures,” *Phys. Rev. E Stat. Nonlin. Soft Matter Phys.*, vol. 74, no. 3 Pt 2, p. 035601, 2006.
- [25] Y. Sivan, G. Fibich, B. Ilan, and M. I. Weinstein, “Qualitative and quantitative analysis of stability and instability dynamics of positive lattice solitons,” *Phys. Rev. E Stat. Nonlin. Soft Matter Phys.*, vol. 78, no. 4 Pt 2, p. 046602, 2008.
- [26] M. Bağcı, İ. Bakırtaş, and N. Antar, “Vortex and dipole solitons in lattices possessing defects and dislocations,” *Opt. Commun.*, vol. 331, pp. 204–218, 2014.
- [27] M. Bağcı, İ. Bakırtaş, and N. Antar, “Fundamental solitons in parity-time symmetric lattice with a vacancy defect,” *Opt. Commun.*, vol. 356, pp. 472–481, 2015.
- [28] P. V. Braun, S. A. Rinne, and F. García-Santamaría, “Introducing defects in 3D photonic crystals: State of the art,” *Adv. Mater.*, vol. 18, no. 20, pp. 2665–2678, 2006.
- [29] M. Schleberger and J. Kotakoski, “2D material science: Defect engineering by particle irradiation,” *Materials (Basel)*, vol. 11, no. 10, 2018.
- [30] M. Qi *et al.*, “A three-dimensional optical photonic crystal with designed point defects,” *Nature*, vol. 429, no. 6991, pp. 538–542, 2004.
- [31] P. Windpassinger and K. Sengstock, “Engineering novel optical lattices,” *Rep. Prog. Phys.*, vol. 76, no. 8, p. 086401, 2013.
- [32] J. Yang and T. I. Lakoba, “Universally-convergent squared-operator iteration methods for solitary waves in general nonlinear wave equations,” *Stud. Appl. Math.*, vol. 118, no. 2, 2007.
- [33] J. Yang, *Nonlinear waves in integrable and nonintegrable systems*. Society for Industrial and Applied Mathematics, 2010.
- [34] L.-C. Crasovan, J. P. Torres, D. Mihalache, and L. Torner, “Arresting wave collapse by wave self-rectification,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 91, no. 6, p. 063904, 2003.
- [35] N. G. Vakhitov and A. A. Kolokolov, “Stationary solutions of the wave equation in a medium with nonlinearity saturation,” *Radiophys. Quantum Electron.*, vol. 16, no. 7, pp. 783–789, 1973.



Konvolüsyonel Sinir Ağı Tabanlı Derin Öğrenme Modeli ile Narenciye Hastalıklarının Sınıflandırılması

Halit ÇETİNER^{1*}, İbrahim ÇETİNER²

¹Teknik Bilimler MYO, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta, Türkiye

²Teknik Bilimler MYO, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye

(ORCID: [0000-0001-7794-2555](https://orcid.org/0000-0001-7794-2555)) (ORCID: [0000-0002-1635-6461](https://orcid.org/0000-0002-1635-6461))



Anahtar kelimeler:

CNN, Narenciye yaprak hastalığı, Sınıflandırma, Transfer öğrenme.

Öz

Tarımsal üretimde mahsul verimi için bitki hastalıkları hayati öneme sahiptir. Bitkilerde bulunan renk, şekil, doku gibi özelliklerin birbirine benzemesinden dolayı bitkilerdeki hastalıkların erken aşamada tespiti zor ve yorucu olmaktadır. Bitkilerdeki hastalıkların erken aşamada tespit edilerek önlem alınması mahsule gelen zararın engellemesi için gerekli bir adımdır. Bu nedenle, narenciye ihracatını etkileyerek üreticileri maddi olarak büyük zararlara uğratan yaprak hastalıklarını sınıflandırmak için yapılan çalışma kapsamında derin öğrenme tabanlı bir model geliştirilmiştir. Buna ek olarak DenseNet121, MobileNetV2 ve ResNet50 modellerini temel alan üç ayrı model ile de yaprak hastalıkları sınıflandırılmıştır. Bu modellerin oluşturulmasında ince ayarlı transfer öğrenme tekniği kullanılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında önerilen 15 katmanlı CNN modeli ile Adamax optimizasyon yöntemi ile %99, RMSProp optimizasyon yöntemi ile de %97 doğruluk oranlarına ulaşılmıştır. En sık karşılaşılan narenciye yaprak hastalıklarından olan Blackspot (narenciye siyah nokta (CBS)), canker (narenciye bakteriyel kanseri (CBC)), greening (huanglongbing (HLB)) ile Health (sağlıklı (Health)) sınıflarında ise sırasıyla %100, %100, %98 ve %100 başarı oranlarına erişilmiştir.

Classification of Citrus Diseases with Convolutional Neural Network Based Deep Learning Model

Keywords: CNN, Citrus leaf disease, Classification, Transfer learning.

Abstract

Plant diseases are of vital importance for crop yield in agricultural production. It is difficult and tiring to detect diseases in plants at an early stage due to the similarity of features such as colour, shape and texture in plants. Detecting diseases in plants at an early stage and taking precautions is a necessary step to prevent damage to the crop. For this reason, a deep learning-based model has been developed within the scope of the study to classify leaf diseases that affect citrus exports and cause great financial losses to producers. In addition, leaf diseases were classified with three different models based on DenseNet121, MobileNetV2 and ResNet50 architectural models. Fine-tuned transfer learning technique was used in the creation of these models. With the 15-layer CNN model proposed within the scope of the study, 99% accuracy rates were achieved with the Adamax optimization method and 97% with the RMSProp optimization method. In Blackspot (citrus black spot (CBS)), canker (citrus bacterial cancer (CBC)), greening (huanglongbing (HLB)) and Health (Health) classes, which are the most common citrus leaf diseases, 100%, 100%, 98% and 100% success rates have been achieved respectively.

*Sorumlu yazar: halitcetiner@isparta.edu.tr

Geliş Tarihi: 25.11.2021, Kabul Tarihi: 17.01.2022

1. Giriş

Makine öğrenme ve yapay zekâ alanında, derin öğrenme oldukça aktif araştırma alanlarından biridir. Derin öğrenme, klasik makine öğrenme yöntemlerinden olan ön işlemler, öznitelik çıkarma, seçme, dönüştürme ve sınıflandırma süreçlerini birlikte yürüten bir makine öğrenme alt kümesidir [1]. Bitki hastalıklarının tespiti ve sınıflandırılması olmak üzere çok farklı alanlarda kapsamlı uygulamaları mevcuttur [2]–[8]. Derin öğrenme modellerinin artan kullanımı ile birlikte özellikle sınıflandırma görevinde dikkat çekici gelişmeler yaşanmaktadır [9]. Bununla sınırla kalmayıp tarımsal uygulamalarda tahmin, görüntü iyileştirme, dönüştürme, yeniden yapılandırma gibi farklı görevlerde kullanılır duruma gelmiştir [10]–[12].

Narenciye hastalığının zamanında ve doğru bir şekilde tanımlanmasını engelleyen ana nedenlerden birisi bitki patolojisi alanındaki uzmanların az olmasıdır. Hastalığın yanlış teşhis edilmesi ve değerlendirilmesi, hastalığın diğer ağaçlara ya da yapraklara bulaş riskini artırmaktadır. Görüntü işleme teknikleri ve derin öğrenme yardımıyla bitki hastalıklarının uzman yardımı almaksızın otomatik tanımlanması, tarım alanında büyük bir dönüşüm sağlamıştır. Bu sayede uzun yıllardır problem olmuş sıkıntı ve zorlukların üstesinden gelecek modeller geliştirilmektedir. Narenciye üretiminde en sık görülen HLB, CBC, CBS adlı hastalıkların tespiti ve sınıflandırılması üzerine yapılan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalarda, görüntü işleme adımları olan ön işleme, bölütleme, öznitelik çıkarma ve sınıflandırma gibi adımlardan oluşmaktadır [34].

Literatürde iki farklı yapıda çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar derin öğrenme tabanlı çalışmalar ve derin öğrenme tabanlı olmayan çalışmalar olmak üzere iki gruptan oluşmaktadır. Rauf vd. [35] CBS, CBC, HLB gibi farklı hastalık gruplarındaki görüntülerden oluşan bir veri seti hazırladı. Hazırladığı veri setinde sağlıklı ve hastalıklı olmak üzere toplam 759 görüntü bulunmaktadır. Xing vd. [36], Chen vd. [37] narenciye zararları ve hastalıklarının otomatik tanımlanması için DenseNet adında bir CNN modeli önermiştir. Oluşturdukları modelde görüntüler arasındaki benzerlik oranını azaltmak için veri büyütme algoritması kullanmıştır. Syed-Ab-Rahman vd. [19] bitki hastalığının tespit ve sınıflandırma için

iki aşamalı bir CNN yöntemi önermiştir. Birinci aşamada potansiyel hastalıklı bölgeleri tespit etmektedir. İkinci aşamada ise hastalıklı lezyon alanları belirlenen CBC, CBS, HLB sınıf guruplarını tahmin eden sınıflandırma işlemini yapmaktadır.

Derin öğrenme tabanlı olmayan çalışmalarda ise; Şerif vd. [38] bölütleme yöntemiyle çıkartılan hastalıklı lezyon bölgelerinden renk, doku ve geometrik özelliklere göre öznitelik matrisi elde etti. Elde edilen öznitelikleri PCA, entropi, kovaryans gibi vektörler kullanarak en iyi olanlarını seçti. Seçilen en iyi öznitelikler çok sınıflı destek vektör makine yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Senthilkumar vd. ise Hough dönüşümü ile öznitelikleri çıkarttıktan sonra yapay sinir ağları ile narenciye bitkisine ait hastalıkları tanımlamıştır. Wetterich vd. [39] CBC ve HLB tipi hastalıkları belirlemek için floresan görüntüleme spektroskopisi kullandı. Bu teknikten elde edilen öznitelikleri destek vektör makinesi yöntemiyle sınıflandırmıştır.

Son zamanlarda tarım arazilerinde ve bahçe uygulamalarında mahsul sınıflandırması, hastalık tespiti, ürünlerin kalite sınıflandırması için de kullanılmaktadır [13]. Yaşanan aşırı sıcaklık artışı ve yangınlar küresel açlığı artırmaktadır. İklim değişikliği ise son doğa olaylarının ana sebebi olarak görülmektedir. Nüfus artışı, miras sebebiyle değişen arazi kullanım değişiklikleri ana sebepler ile birleştiğinde gıda güvenliği üzerinde derin etkiler bırakacağı öngörülmektedir [14]. Bu gerçekler doğrultusunda düşünüldüğünde tarım mahsullerinde verim düşüşü ve üretim azalması beklenmektedir. Belirtilen tespit doğrultusunda küresel gıda ihtiyacının 2050 yılına doğru yaklaşık olarak %56 oranında artması, açlık riski altındaki nüfusun %91 oranında değişiklik göstermesi tahmin edilmektedir [15]. Özetle, küresel ısınma, su kaynaklarının azalması, yangın, sel gibi sebeplerin yanında bitki hastalıkları tarım üretimini ve verimini derinden etkileyen gıda güvensizliğine sebep olan ana sorunlardan birisidir. Bu sebeplerden dolayı bitki üretim ve veriminde gıda güvenliğini artıracak önlemlerin alınması için yeni, özgün çalışma ve yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tarım alanındaki zararlıların ve hastalıkların belirlenmesi büyük ölçüde uzmanlar tarafından yapılan görsel muayeneler ile tespit edilmektedir. Bununla birlikte yoğun mesai ve uzun çalışma günleri sonucunda aşırı dikkat kayıpları yaşanmaktadır. Yorgunluk ve dikkatsizlik sonucunda uzmanlar hataya açık duruma gelmektedir. Uzmanlara yardımcı, onların bu aşırı iş

yükünü hafifletecek derin öğrenme tabanlı sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır.

Bitkilerde narenciye ürünü büyük bir ekonomik öneme sahip bir meyvedir [16]. Ancak narenciye üretimi çeşitli hastalıklar ve zararlılardan geniş ölçüde etkilenmektedir. Belirtilen etkilerin sonucunda önemli verim ve kalite kayıpları yaşanmaktadır. Narenciye en çok ticareti yapılan ve dünyada en çok tüketilen meyve ürünü olmasından dolayı, bu alanda yaşanan verimlilik düşüşü, kalite kaybı ve üretim azalması büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Ekonomik olarak meydana gelen kayıpları engelleyebilmek için narenciye üretiminde en sık görülün hastalıkların engellenmesi gerekmektedir. Bu hastalıklar sırasıyla CBS, CBC, HLB adlı hastalıklardır [17]. Özellikle ejderha hastalığı olarak da tanınan HLB tipi hastalığa yakalanmış narenciye ağaçlarının zamanında ve doğru bir şekilde tespit edilmesi aşırı önem taşımaktadır. Çünkü HLB tipi hastalığa yakalanan narenciye tarlalarında bu hastalığı engelleyebilmek için HLB bulaşmış tüm ağaçlar kesilmektedir [18]. Bu yöntemden başka farklı bir yol ya da yöntem bulunmamaktadır. *Xanthomonas* narenciye çeşitlerinin birçoğunu etkileyen, dünya genelinde narenciye üretiminde büyük engellemelere sebep olan CBC hastalığını oluşturan bakteriyel patojendir [19]. CBC hastalığı havanın yağış, sıcaklık, nem, rüzgar gibi farklı durumlarına göre yayılımı değişmektedir. Nemli ve yağmurlu iklim koşullarında daha hızlı yayılmaktadır [20]. CBC hastalığının belirtileri arasında olgunlaşma dönemi öncesinde erken yaprak ve meyve dökümü, kahverengi lezyon ve ağacın farklı bölgelerinde oluşan kabarcık oluşumu vardır [21]. Şiddet sıralamasına göre son hastalık çeşidi CBS ise *Phyllosticta citricarpa* adlı mantar patojeninden kaynaklanan bir narenciye hastalığıdır [22].

Son yıllarda konvolüsyon sinir ağları (CNN) kullanarak geliştirilen bilgisayar gözü uygulamalarında büyük gelişmeler yaşanmaktadır. Öznitelik çıkarma ve seçme adımlarını CNN yapısını oluşturan katmanlar ile gerçekleştirebilen modeller meydana getirilmektedir. Bu modellerden bazıları DenseNets [23], Microsoft ResNet [24], Google Inception V3 [25], Inception V4 [26] modelleridir. Bu model başlıklar altında temel olarak benzer olmakla birlikte farklı modeller geliştirilmiştir. Bu derin ağlar eğitim sürecinde gradyan bozulması, aşırı öğrenme gibi farklı

sorunlara sahip olabilmektedir. Bu sebepler ile birlikte adım sayısı maksimum değeri aştığında eğitim ve doğruluk oranlarında bozulmalar ve azalmalar meydana gelmektedir. Bunun yanı sıra eğitim sırasında katmana giriş verisi dağılımı değişmesinden kaynaklanan problemler vardır. Bunlar gibi pek çok problemleri çözebilmek adına transfer öğrenme [27], atlama bağlantıları [24], optimizasyon stratejileri [28], Batch Normalization (toplu normalleştirme (BN)) [29] gibi optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir.

Görüntü sınıflandırmasındaki ilerlemeler, görüntü işleme araştırma ve uygulama alanlarının her geçen gün genişlemesi, bu alanda şu ana kadar oluşan bilgi birikimini tarım alanına aktarmak için bir fırsat sunmaktadır [2], [11], [13], [30], [31]. Bu fırsatı değerlendirmek için iki farklı yol bulunmaktadır. Yollardan bir tanesinde CNN'e ait convolutional (konvolüsyon), BN, pooling (havuzlama), dropout (unutma), fully connected (tam bağlantı (FC)) gibi ana katmanları veri setine uygun dizilimler oluşturarak bir model oluşturmaktan ibarettir. Bir diğerinde ise kullanılan veri setine göre DenseNets, ResNet, Inception V3 ve InceptionV4 modellerini temel alacak transfer öğrenme tekniği ile farklı modelleri oluşturmaktan geçmektedir. Narenciye hastalıklarının zamanında ve doğru tespiti, bitkide oluşan zararlıların ve hastalığın ilerlemesini engelleyebilmek için önemlidir. Doğru ve zamanında narenciye hastalıklarının en yaygın hastalık tiplerini tespiti ve sınıflandırılabilmesi için her iki yaklaşım önemli özelliklerinden bir CNN modeli geliştirilmiştir. Bu modelden elde edilen sonuçlar narenciye yetiştiricilerinin ve üreticilerinin hastalıkları tanınması, tespiti ve sınıflandırılmasında faydalı bir karar destek aracı olarak hizmet etmesi hedeflenmektedir. Önerilen modelden en yüksek başarı oranı %95.3 olarak elde edilmiştir. Bugüne kadar narenciye hastalıklarının ve zararlılarının kontrol edebilmek, bunun yanı sıra verim, kalite kayıplarını önleyebilmek için yapılan çabalar incelenmiştir. Bunlar incelendiğinde hastalığın zamanında ve doğru bir şekilde tespitinin hastalığın yayılmasını engelleyici en önemli yol olarak kabul edilmektedir. Bu işlem tarım alanında narenciye üretiminin sürdürülebilirliğini sağlayabilmek için kritik öneme sahiptir. Son yıllarda narenciye ürünü dışındaki farklı bitkilere ait hastalıkların tanınmasına ve sınıflandırılmasına yönelik kapsamlı görüntü tanıma uygulamaları geliştirilmiştir [22], [32], [33]. CNN tabanlı derin öğrenme yaklaşımlarında klasik makine öğrenme ve yapay zekâ yaklaşımlarındaki gibi öznitelik çıkarma adımına gerek yoktur. CNN modellerinde bulunan

konvolüsyon katmanları ile öznetelik çıkarma, havuzlama katmanları ile de öznetelik indirgeme gerçekleştirilmektedir [19]. Bu işlemleri, CNN tabanlı yöntemlerin kendi içerisinde otomatik olarak çözme yeteneği sayesinde daha yüksek doğruluk elde edilmektedir.

Bu makalenin ana katkısı maddeler şeklinde verilmiştir.

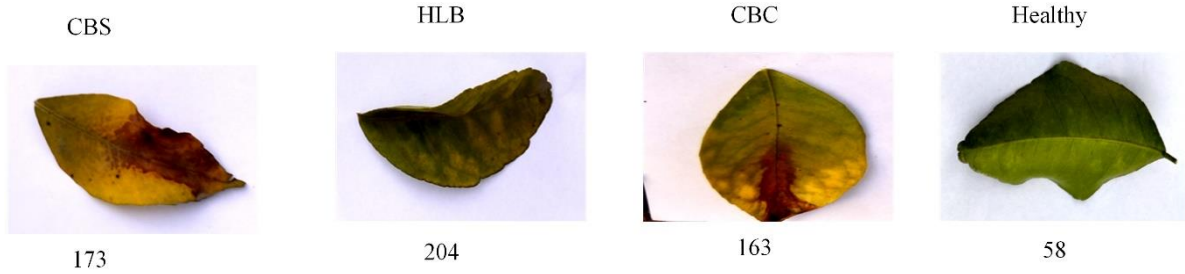
- Narenciye yapraklarındaki hastalıkları, hastalık belirtilerine göre sınıflandırılması ve hastalıklı bölgeleri tespit edebilen derin öğrenme modeli geliştirilmesidir.
- Önerilen modelin bir diğer katkısı narenciye hastalıklarının zamanında ve doğru tanı koyulabilmesi için uzmanlara yardımcı erken uyarı sistemi görevi görmesidir.
- Herhangi bir uzman yardımı almadan narenciye bitki hastalıklarını otomatik tespit etmek ve gerçek tarla koşullarında gerçek zamanlı çalışan donanımsal sistemlere destek olması açısından faydalı bir model geliştirilmiştir.
- Geliştirilen model ile zamanında ve doğru tanı koyarak yanlış ve gereksiz

tarım ilacı kullanmanın önüne geçmeye çalışılmaktadır.

Makalenin geri kalan bölümleri aşağıdaki şekilde kurgulanmıştır. Malzeme ve yöntemler adlı bölümde ise narenciye veri seti ve yöntemlerden bahsedilmiştir. Öne sürülen metot bölümünde ana katkı olarak belirtilen adımları gerçekleştiren CNN modeli hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Sonrasında yine aynı bölümde geliştirilen modelden elde edilen deneysel sonuçlar verilmiştir. Son olarak sonuç kısmında makale sonuçlandırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Kaggle, farklı veri setlerini içinde barındıran, veri setlerini işlemek için araç ve kaynaklara sahip dünya çapındaki en büyük veri seti topluluğudur. Bu çalışma kapsamında önerilen modellerin performansları narenciye bitkilerine ait yaprak görüntülerini içeren halka açık bir veri seti [40] üzerinde test edilmiştir. Test edilen veri setinde [40] HLB, CBS, CBC adlı narenciye yaprak hastalıklarına ait görüntüler bulunmaktadır. Veri kümesi içerisinde eğitim ve test üzere iki farklı grup vardır. Her iki grubun içerisinde HLB, CBS, CBC ve sağlıklı olmak üzere dört sınıfa ait sayıları birbirinden farklı görüntüler bulunmaktadır.



Şekil 1. Veri setinde bulunan narenciye görüntülerinin sınıf dağılımları

Şekil 1'de bu makale kapsamında kullanılan veri setine ait sınıf gruplarının isimleri ve sayısal dağılımları gösterilmiştir. Bu sınıf dağılımlarındaki sayılar, ilgili sınıfa ait toplam eğitim ve test sayılarını göstermektedir. Tablo 1'de ise çalışmada öne sürülen metotların eğitiminde kullanılan verilerin sayısal dağılımları gösterilmiştir. Eğitim ve test verilerini ayırmak için K-Fold 5 değeri kullanılmıştır. Aynı zamanda eğitilen modelleri kullanarak test işleminde kullanılan test görüntülerinin sınıf dağılımları Tablo 1'de gösterilmiştir. Veri setindeki görüntülerin dengeli dağılımını sağlamak ve veri sayısını artırmak için döndürme ve yakınlaştırma yöntemleri ile veri büyütme işlemi

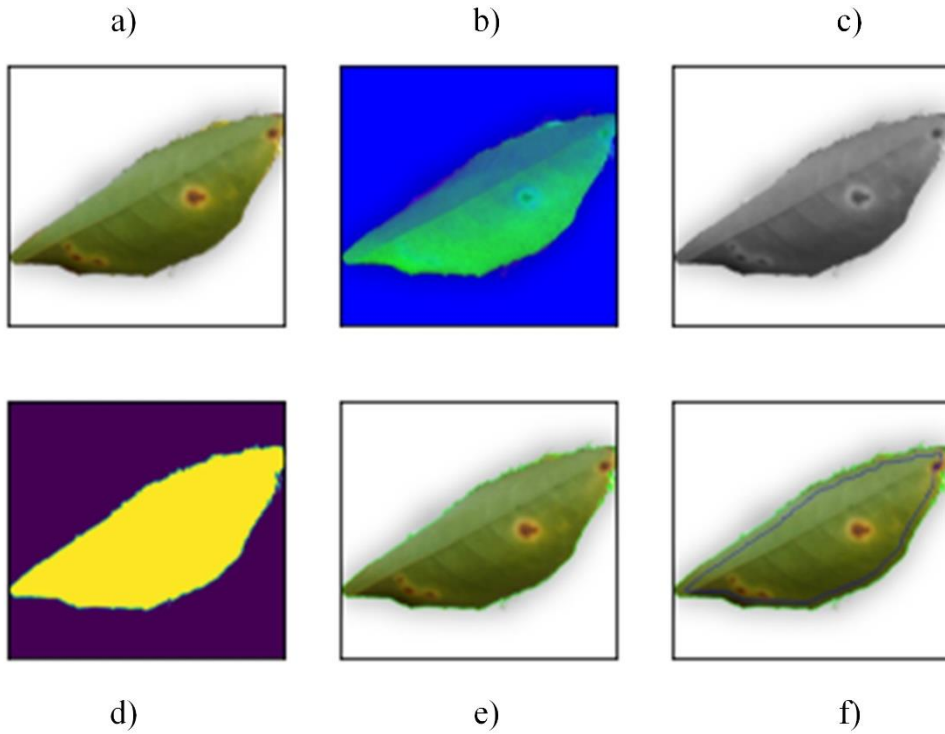
gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşımla veri sayısı artırılarak model eğitimin elde edilmesinde kullanılan görüntüler test işlemlerinde kullanılmamıştır. Verileri eğitim modelleme işlemine hazırlamak için veri seti görüntüleri üzerinde ön işleme uygulanmıştır. Şekil 2'de gösterildiği gibi eğitim sırasında tüm görüntüler bu ön işleme adımlarından geçmektedir. Ön işleme sonrasında görüntü 64x64 boyutuna getirilmiştir. Bu işlemler sonrasında görüntü yoğunluğu standart hale getirilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan veri seti sınıf dağılımları

Sınıf Tipi	Eğitim Sayıları	Test Sayıları
Healthy	46	12
HLB	163	41
CBC	130	33
CBS	138	35
Toplam	477	121

HSV renk uzayı, görüntülerdeki ışık patlamaları ve parlaklık farklılıklarının daha görünür olması sağlanmaktadır. Bu sebepten dolayı RGB renk uzayından HSV renk uzayına görüntüler ilk adımda dönüştürülmüştür. Daha sonrasında görüntüler, 3 kanallı renk uzayından

gri tonlamalı görüntüye dönüştürülerek eşiklemeye hazır hale getirilmiştir. Denklem 1-4 arası tanımlanan Otsu yöntemi ile görüntünün ikili formatlı hali elde edilmiştir. Bu sayede sınırlayıcı alanların bulunması sağlanmıştır. Şekil 2e adımında ise elde edilen ilgili alan (ROI) bölgesinin etrafı belirlenmiştir. Şekil 2f adımında ise görüntü dışındaki alanın renk piksel değerleri beyaza döndürülerek konvolüsyon işlemlerdeki negatif etkisinin önüne geçilmiştir. Bunlara ek olarak Şekil 2f adımında Şekil 2e adımında elde edilen sınır koordinatlarına denk gelen bölge, orijinal RGB görüntüsünden alınmıştır. Bu sayede konvolüsyon işlemlerinde görüntünün orijinal renk uzayı olan RGB renk uzayında çalışılmasına devam edilmiştir.



Şekil 2. Ön işleme adımları: a) Orijinal, b) HSV, c) Gri format, d) İkili + Otsu, e) Etrafı çizilmiş ROI, f) Temizlenmiş ROI

Denklem 1’de kullanılan q_1 ifadesinin açılımı Denklem 2’de verilmiştir. Denklem 1’de tanımlanan $\sigma_1^2(t)$ ifadesi ise Denklem 4’te verilmiştir. $\mu_1(t)$ ise Denklem 2’de ifade edilen ortalama hesaplama değerinin ifade etmektedir. Otsu yönteminde sınıf içi varyans değeri en aza indirilmeye çalışılmaktadır. Varyans değerini en aza indirebilecek olan t değeri araştırılmaktadır.

$$\sigma_w^2(t) = q_1(t)\sigma_1^2(t) + q_2(t)\sigma_2^2(t) \quad (1)$$

$$q_1(t) = \sum_{i=1}^t P(i) \quad \& \quad q_2(t) = \sum_{i=t+1}^L P(i) \quad (2)$$

$$\mu_1(t) = \sum_{i=1}^t \frac{iP(i)}{q_1(t)} \quad \& \quad \mu_2(t) = \sum_{i=t+1}^L \frac{iP(i)}{q_2(t)} \quad (3)$$

$$\sigma_1^2(t) = \sum_{i=1}^t [i - \mu_1(t)]^2 \frac{P(i)}{q_1(t)} \& \sigma_2^2(t) = \sum_{i=t+1}^L [i - \mu_1(t)]^2 \frac{P(i)}{q_2(t)} \quad (4)$$

Belirtilen ön adımlar, sınıf gruplarına döngü yardımıyla uygulandıktan sonra bir etiketle ilişkilendirilmiştir. Etiketler CBS, CBC, HLB ve Healthy sınıflarından herhangi biri olabilmektedir. Bu etiketler, sınıf sırasına göre 0'da 3'e kadar olan rakamlarla tanımlanmıştır.

Veri hazırlama sürecinde ön işlemler sonrasında sınıflar arası veri dengesizlikleri giderebilmek için döndürme, yakınlştırma gibi çok temel veri büyüme işlemleri gerçekleştirildi. Veri büyüme görüntü sayısı az olan sınıfları aşırı örnekleyerek sınıf başına dengesiz dağılım ile başa çıkmak için yapılmıştır. Elde edilen tüm deney sonuçlarında veri büyüme uygulanmıştır.

2.1. DenseNet121

DenseNet, günümüzde sıklıkla kullanılan derin öğrenme modellerinden birisidir [23]. DenseNet modelinin DenseNet121, DenseNet169, DenseNet201 gibi çeşitleri bulunmaktadır. Uygulama hafif donanıma sahip cihazlarda test edilecek olması nedeniyle diğer DenseNet modellerine göre boyutu ve derinliği az olan DenseNet121 modeli tercih edilmiştir. Aynı zamanda bu model geleneksel CNN modellerinden daha az parametre sayısını sahiptir [41]. DenseNet dört adet dense blok ve üç adet transition katmanı içermektedir. Dense blokları 3x3 ve 1x1 konvolüsyon setlerine sahiptir. Buradaki 4 yoğun blok içerisindeki 3x3 ve 1x1 konvolüsyonlar 6, 12, 24 ve 16 defa tekrarlanmaktadır. İki dense katmanı arasında bir transition katmanı bulunmaktadır. Bir dense blok içerisinde her konvolüsyon katmanı ileri beslemeli olarak bir diğer konvolüsyon katmanına bağlıdır. Transition katmanı toplu normalleştirme, 1x1 konvolüsyon ve stride değeri 2 olan 2x2 ortalama havuzlama yapısından oluşmaktadır. Denklem anlamında ifade etmek gerekirse;

$$x_n = H_n(x_{n-1}) \quad (5)$$

DenseNet modellerinde giriş katmanları, çıkış katmanları ile birleştirilmektedir, ancak her iki katmanın toplamı yapılmamaktadır. Bu sebepten dolayı

Denklem 5 yeniden oluşturulduğunda Denklem 6 oluşmaktadır.

$$x_n = H_n([x_0, \dots, x_{n-1}]) \quad (6)$$

Denklem 6'da n. katmandaki öznitelik haritası x_n ile gösterilirken, diğer öznitelik haritaları ise katman sırasına göre x_0, \dots, x_{n-1} şeklinde gösterilmiştir. Denklem 6'da tanımlanan H_n BN, ReLU ve 3x3 boyutunda filtrelerden oluşan konvolüsyon katmanlarının birleşmesinden meydana gelmektedir.

2.2. MobileNetV2

DenseNet modellerinden hafif olması, taşınabilir mobil cihazlar üzerinde kullanılabilmesi sebebiyle çok fazla tercih edilen modellerden birisidir [42]. Bunlara ek olarak mobil telefonlardaki bilgisayar görü uygulamaları için tasarlanmış bir derin öğrenme modelidir. Diğer modellere göre hafif, daha az kompleks ve hızlı olması tercih edilmesinin sebeplerindedir.

Birden fazla kanaldan oluşan giriş görüntüsüne ait her bir kanala belirli derinlik seviyesinde iki boyutlu bir filtre uygulanmaktadır. MobileNetV2 modelinde Depthwise Seperable Convolution (derinlemesine ayrılabilir konvolüsyon (DWC)) yöntemi tercih edilmektedir. DWC, depthwise convolution (derinlemesine konvolüsyon (DC)) yöntemine ek olarak 1x1 boyutunda bir filtre işlemi daha gerçekleştirilmektedir. MobileNetV2 modeli, ilk versiyonundan hafif olmasının yanında çıkış kanallarının daraltılarak ağırlık sayısının da azaltıldığı bilinmektedir. Bunlara ek olarak veri matrislerinin her noktasına uygulanan bir konvolüsyon operatörü vasıtasıyla noktasal konvolüsyon yöntemi gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak ilk versiyona göre yapılan yenilikler ile performansı artırılmıştır. Yapılan bu yeniliklere bottleneck denilmektedir. Şekil 3'te gösterilen şekilde MobileNetV2 modeli t , c , n ve s değerleri ile tanımlanmaktadır. Giriş boyutlarına uygulanan genişleme değerleri, çıkış kanal sayısı ve atlama değerleri sırasıyla t , c , n ve s olarak gösterilmiştir. $1e-3$ öğrenme oranı ile temel bottleneck yapısına sahip MobileNetV2 modeline farklı katmanlar eklenerek bitki hastalıkları tanımlanabilir.

2.3. ResNet50

Günümüzde bitki hastalıklarının tespit ve sınıflandırılmasında kullanılan derin öğrenme modellerinden birisi de ResNet50 modelidir. ResNet modelinin blok ve katman yapısına göre 18/50/101 ve 152 olmak üzere farklı yapıları bulunmaktadır [44]. Model içerisinde bulunan en önemli yapılardan birisi Residual Building Block (RBB) yapısıdır. RBB içerisinde ise atlayan kısa yol bağlantıları bulunmaktadır. Bu bağlantılar sayesinde yerel optimum noktasına takılma sorunu çözülmüştür. RBB'ler Conv, BN, ReLU katmanlarına ek olarak bir kısa yoldan oluşmaktadır. RBB yapılarının ise RBB-1 ve RBB-2 olmak üzere iki farklı yapısı bulunmaktadır. RBB-1 yapısında kısa yollar x , doğrusal olmayan fonksiyon F ile gösterilmiştir. Belirtilen parametreler ile RBB-1'in çıkışını gösteren y ise Denklem 7'de gösterilmiştir.

$$y = F(x) + x \quad (7)$$

RBB-2 yapısında ise RBB-1 yapısı üzerine bir adet konvolüsyon ve toplu normalleştirme katmanı daha eklenmiştir. Birlikte eklenen bu katmanlar H ile ifade edilirse Denklem 8 oluşmaktadır.

$$y = F(x) + H(x) \quad (8)$$

Vallabhajosyula et al. [45] çalışmasında RBB-1 ve RBB-2 yapılarına ait formülleri aşağıdaki şekilde ifade etmiştir.

$$y_n = H(x_n) + F(x_n, W_n) \quad (9)$$

$$x_{n+1} = F(y_n) \quad (10)$$

Denklem 9 ve 10'da x_n girdiyi, x_{n+1} ise n th birimin çıktısını göstermektedir. F ise n th birimin residual fonksiyonunu temsil etmektedir.

$$H(x_n) = x_n \quad (11)$$

Geri yayılım sayesinde gradyan sorunu olmaması ve bazı ağırlık katmanlarından sonra atlama bağlantıları ile girdi değerleri çıktı değerlerine eklenebilmesi ResNet50 modelinin kullanım oranını artırmıştır. $1e-3$ öğrenme oranı ile temel ResNet50 modeline farklı katmanlar eklenerek bitki hastalıkları tanımlanabilir.

Giriş	Operatör	t	c	n	s
224 x 224 x 3	Konvolüsyon 2D	-	32	1	2
112 x 112 x 32	bottleneck	1	16	1	1
112 x 112 x 16	bottleneck	6	24	2	2
56 x 56 x 24	bottleneck	6	32	3	2
28 x 28 x 32	bottleneck	6	64	4	2
14 x 14 x 64	bottleneck	6	96	3	1
14 x 14 x 96	bottleneck	6	160	3	2
7 x 7 x 160	bottleneck	6	320	1	1
7 x 7 x 320	Konvolüsyon 1 2D 1 x 1	-	1280	1	1
7 x 7 x 1280	Havuzlama (Ortalama) 7 x 7	-	-	1	-
1 x 1 x 1280	Konvolüsyon 2D 1 x 1	-	k	-	-

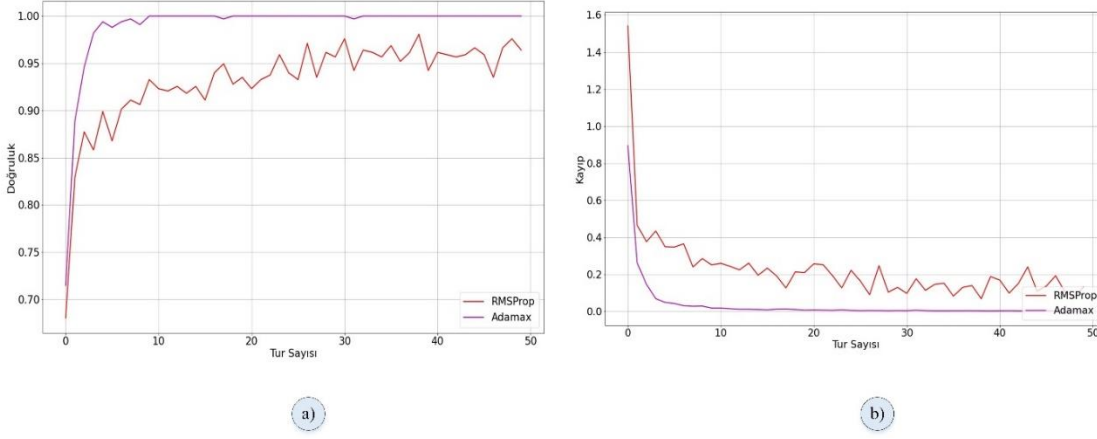
Şekil 3. MobileNetV2 modeli [43]

3. Bulgular ve Tartışma

Literatürde yaygın olarak kullanılan Adamax ve RMSProp optimizasyon algoritmaları, modellerin performanslarını değerlendirmede kullanılmıştır. Sonuçlar ve tartışma bölümünde ince ayarlı transfer öğrenme tekniğini kullanan sırasıyla ResNet50, MobileNetV2 ve DenseNet121 modellerinin sonuçları sunulmuştur. Buna ek olarak bu bölümün son başlığında ise önerilen

CNN modelinin eğitim, test sonuçları ve karışıklık (confusion) matrisi verilmiştir.

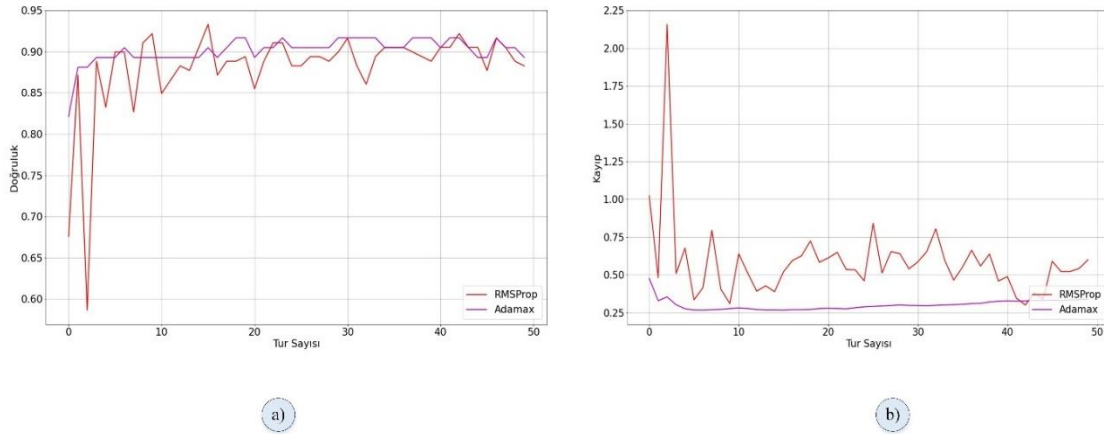
ResNet50 modeli, hafif olmasından dolayı tercih edilmiştir. ResNet50 modeli kullanılarak narenciye yaprak hastalıklarının sınıflandırılmasından elde edilen eğitim doğruluk ve kayıp sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. ResNet50 eğitim doğruluk ve kayıp grafiği

Şekil 5'te ise eğitimde kullanılmayan test görüntülerinin modele girdi olarak verilmesi ile elde edilen test sonuçları verilmiştir. Sonuçlar dikkatli olarak incelendiğinde her iki optimizasyon

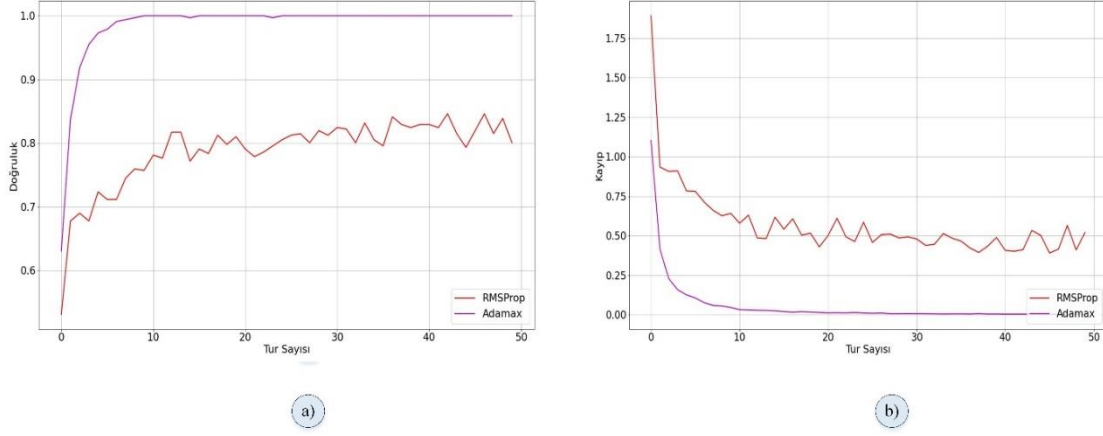
yönteminin de birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.



Şekil 5. ResNet50 test doğruluk ve kayıp grafiği

MobileNetV2 modeli, ResNet50 modelinden de hafif olan bir modeldir. Hafif olması ve taşınabilir cihazlarda kullanılmasından dolayı bu çalışma kapsamında kullanılmıştır. MobileNetV2 modeli kullanılarak narenciye

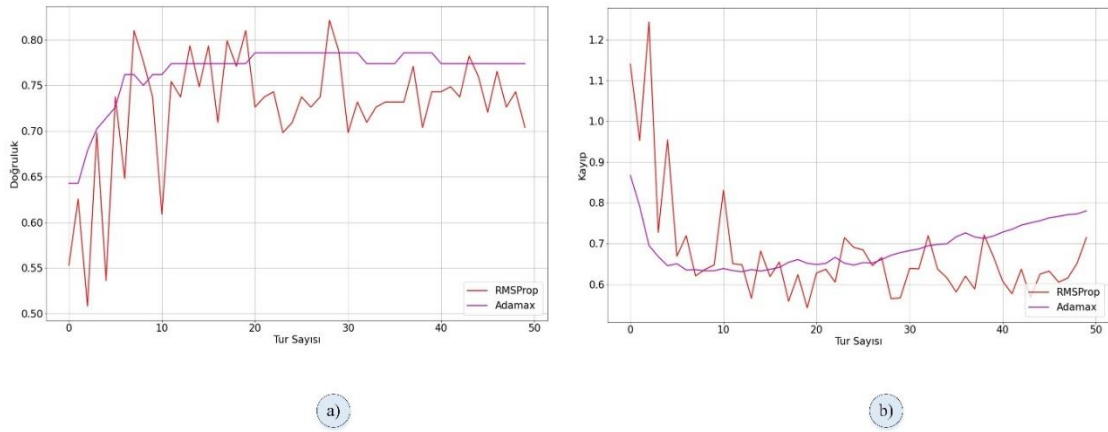
yaprak hastalıklarının sınıflandırılmasından elde edilen eğitim doğruluk ve kayıp sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü üzere Adamax eğitim doğruluk oranı RMSProp eğitim doğruluk oranından daha büyük ve kararlıdır.



Şekil 6. MobileNetV2 eğitim doğruluk ve kayıp grafiği

Şekil 7'de ise eğitimde kullanılmayan test görüntülerinin modele girdi olarak verilmesi ile elde edilen test sonuçları verilmiştir. Sonuçlar dikkatli olarak incelendiğinde eğitim sonuçları ne

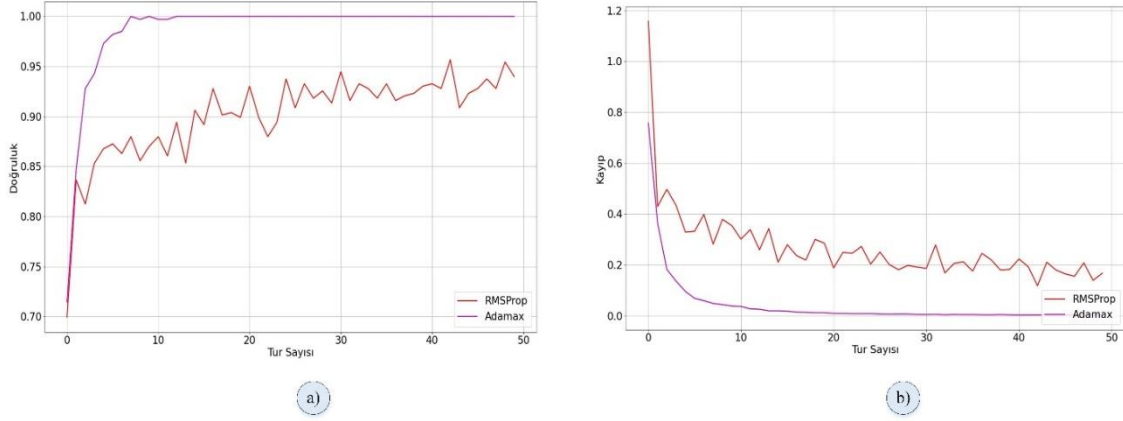
kadar farklı olsa da test işleminde her iki optimizasyon yönteminin de birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir.



Şekil 7. MobileNetV2 test doğruluk ve kayıp grafiği

DenseNet121, DenseNet model ailesi içerisindeki başarılı ve en hafif ağırlıklı modeldir. Bu modeli kullanarak narenciye yaprak hastalıkları sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Bu modelden elde edilen eğitim doğruluk sonuçları

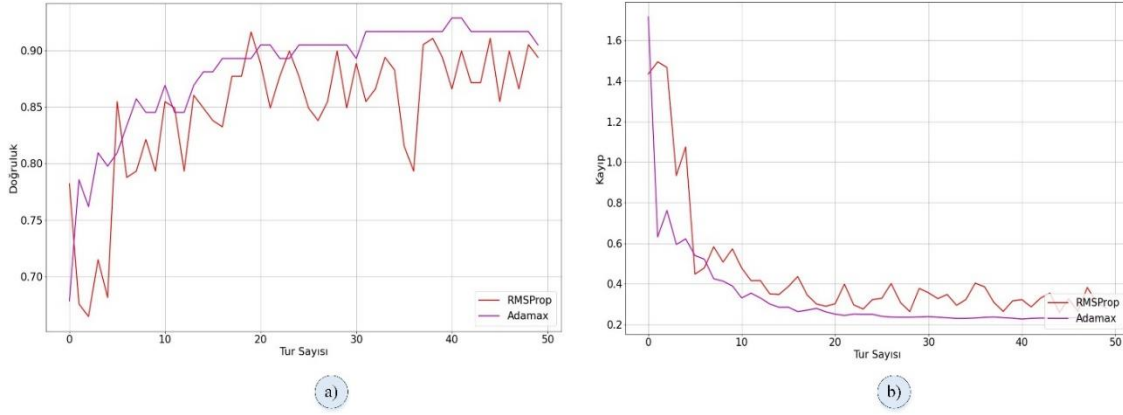
Şekil 8'de verilmiştir. Adamax genel olarak eğitimde RMSProp optimizasyon yönteminden daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir.



Şekil 8. DenseNet121 eğitim doğruluk ve kayıp grafiği

Şekil 9'da ise diğer modellerde olduğu gibi her iki optimizasyon yöntemi birbirine yakın

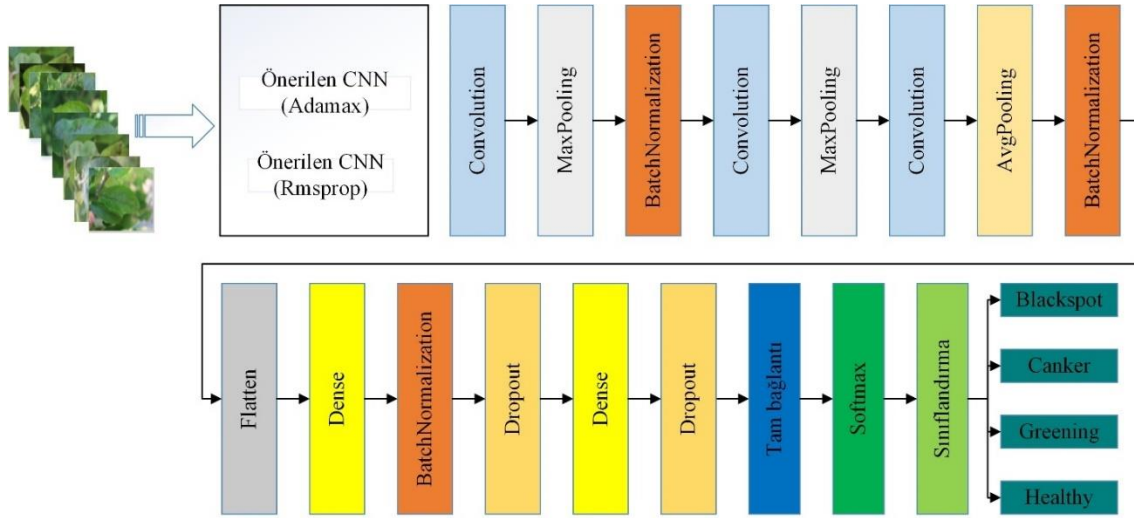
sonuç vermektedir. Test doğruluk oranları arttıkça kayıp da bir o kadar azalmaktadır.



Şekil 9. MobileNetV2 test doğruluk ve kayıp grafiği

Önerilen CNN model katmanları Şekil 10'da sunulmuştur. Önerilen modelin oluşturulmasında 3 adet konvolüsyon katmanı, 2 adet maksimum havuzlama katmanı, 1 adet ortalama havuzlama katmanı, 3 adet toplu normalleştirme, 2 adet Dense katmanı, düzleştirme amacıyla 1 adet Flatten katmanı, ezberlemeyi engellemek için 2 adet unutmaya katmanı, 1 adet softmax aktivasyon fonksiyonlu tam bağlantı katmanı ve sınıflandırıcıdan oluşmaktadır. Toplam 16 katmandan oluşan bir derin öğrenme modeli oluşturulmuştur. Kullanılan her bir konvolüsyon katmanı filtre sayısı 64 tane dir. Bu katmanlardaki filtreler ise 5x5 boyutuna sahiptir. Havuzlama katmanlarında pencere boyutları 2x2 olacak şekilde ayarlanmıştır. Unutmaya katmanlarının her

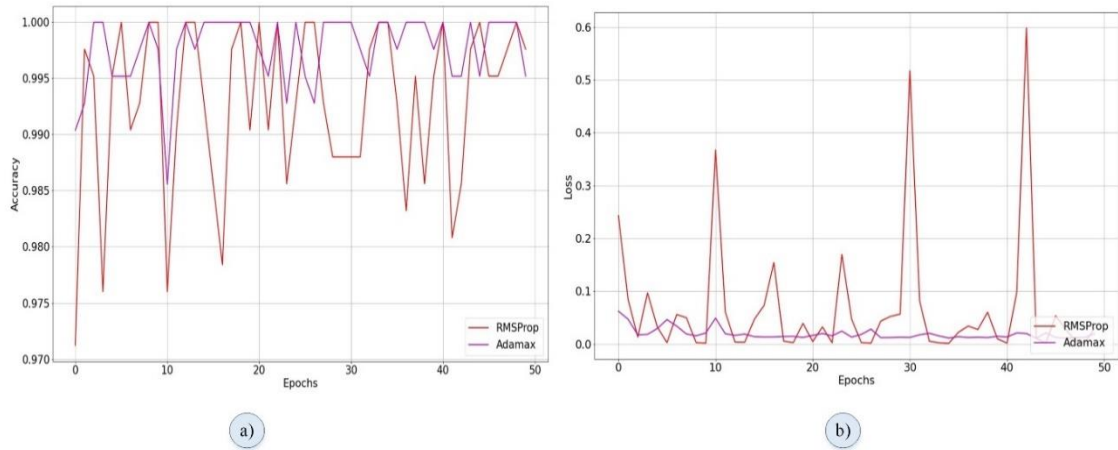
birisi 0.4 oranında unutmaya gerçekleştirilecek şekilde tanımlanmıştır. İstenilen her özelliği ayrı ayrı normalleştirebilmek için toplu normalleştirmede eksen değeri -1 olarak ayarlanmıştır. Belirtilen 3 adet konvolüsyon katmanının tamamında ReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Konvolüsyon katmanları narenciye yapraklarına ait ayırt edici özelliklerin elde edilmesi adına önem taşımaktadır. Yukarıda belirtilen sıralamada önerilen modele ait katmanların görüntüsü Şekil 10'da ayrıntılı olarak gösterilmektedir. Katman türleri aynı olan katmanlar aynı renkte gösterilmiştir.



Şekil 10. Önerilen CNN modeli

Şekil 11’de taslağı gösterilen CNN modeli Adamax ve RMSProp optimizasyon yöntemlerinde genel olarak eğitim sonuçlarında birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Ancak genel olarak tüm modellerde Adamax optimizasyon yönteminin

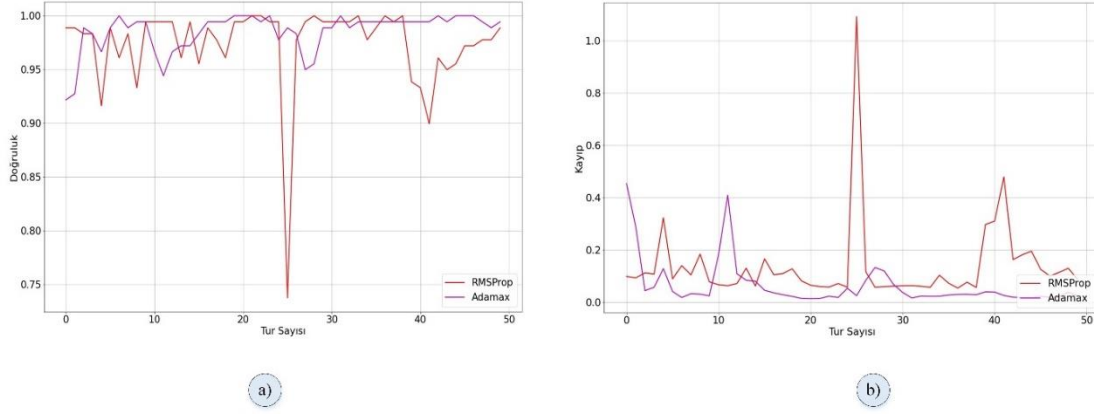
RMSProp optimizasyon yönteminden daha kararlı olduğu görülmektedir.



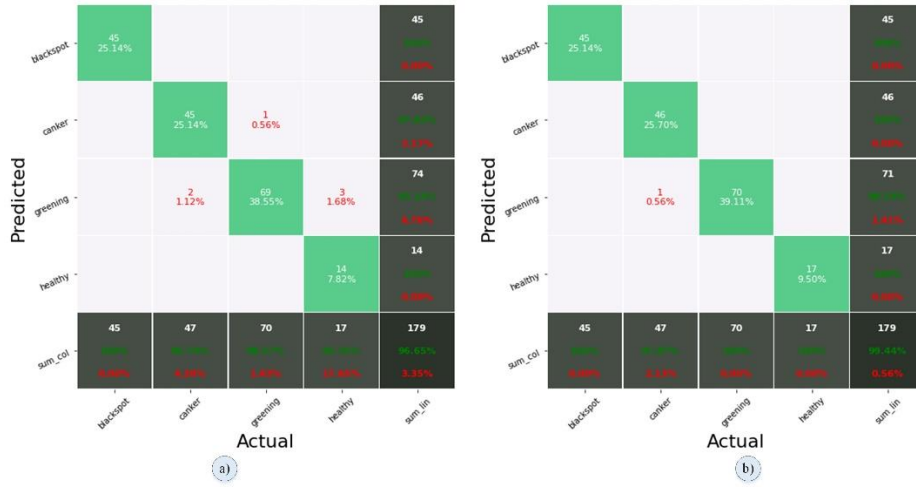
Şekil 11. RMSProp ve Adamax ile a) Önerilen CNN eğitim doğruluk grafikleri, b) Önerilen CNN kayıp grafikleri

Şekil 12’de ise önerilen CNN modeli, Adamax ve RMSProp optimizasyon yöntemlerinde test edilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan precision (kesinlik), recall (geri çağırma), F1 score (f1 puanı) ve accuracy (doğruluk) performans sonuçları incelendiğinde Adamax sonuçları her ne

kadar kararlı olup dalgalanma yapmasa da RMSProp ile yakın sonuçlar vermektedir. Her ikisinin verdiği sonuçlar daha doğru olarak ölçülmek için Şekil 13’de karışıklık matrisi sunulmuştur.



Şekil 12. a) Önerilen CNN test doğruluk grafiği, b) Önerilen CNN kayıp grafiği



Şekil 13. Önerilen CNN yönteminin a) RMSProp, b) Adamax optimizasyon yöntemleri karışıklık matrisi

Tablo 2’de ise önerilen CNN modelinin farklı optimizasyon yöntemlerindeki performans değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan Adamax optimizasyon yönteminin daha başarılı olduğu belirtilebilir. Burada kullanılan performans ölçütlerinin literatürde karşılığı olan formüllerden olmasına dikkat edilmiştir. Belirtilen mantıkla yapılan performans ölçümleri sonucunda doğruluk değerlerinin literatürdeki uluslararası çalışmalara eş değer seviyelerde sonuçlar verdiği gözlenmektedir. Temel anlamda optimizasyon yöntemlerinin etkisi çok fazla olmamakla beraber önerilen yöntemde ayırt edici özneliliklerine erişim sağlanabildiği ifade edilebilir. Belirtilen sonuçlar ile sınıflar arasındaki ayırmanın net bir şekilde sağlandığı söylenebilmektedir.

Tablo 2’de Şekil 13’te gösterilen sonuçların Tablo 2’de daha anlaşılır olarak

gösterimini sağlamak için 100 değerine bölerek elde edilen sonuçları gösterilmiştir. Şekil 13’te Adamax optimizasyon yönteminde 71 görüntüden 1 tanesini bilemediği görülmektedir. Bu sebepten dolayı sonuç %98.59 olmuştur. Tablo 2’de ise bu sonuç 0.98 olarak yazılmıştır. RMSprop optimizasyon yönteminde ise %93.2 başarı oranı Şekil 13’te 74 görüntüden 2 tanesi bilinmemesinden dolayı elde edilmiştir. Tablo 2’de bu sonuç 0.93 olarak kodlanmıştır.

Tablo 3’te literatürde var olan çalışmalar ile önerilen modelin sonuçları karşılaştırıldı. Narenciye yaprak hastalıklarının etkin ve doğru bir şekilde tespit edilmesinde gerçek zamanlı sistemlere ihtiyaç vardır. Raspberry pi gibi donanımsal cihazlarda çalışabilecek hafif bir model önerilmiştir. Karşılaştırma sonuçlarında da görüldüğü üzere model, literatürdeki çalışmalar

kadar yetkindir. Tablo 3'te ki SAM Spectral Angle Mapper algoritmasını, YSA yapay sinir ağlarını, BPNN iki aşamalı geri yayılım sinir ağını, MINNM ise çok girişli sinir ağı modelini temsil etmektedir.

Belirtilen modellerden elde edilen çalışma sonuçları ile gerçekleştirilen çalışmanın sonuçları karşılaştırılmıştır.

Tablo 2. Önerilen CNN performans sonuçları

Optimizasyon Yöntemi	Sınıf	Kesinlik	Geri çağırma	F1-puan	Doğruluk
Adamax	Blackspot	1.00	1.00	1.00	1.00
Adamax	Canker	1.00	0.98	0.99	1.00
Adamax	Greening	0.99	1.00	0.99	0.98
Adamax	Healthy	1.00	1.00	1.00	1.00
					0.99
RMSProp	Blackspot	1.00	1.00	1.00	1.00
RMSProp	Canker	0.98	0.96	0.97	0.97
RMSProp	Greening	0.92	0.99	0.95	0.93
RMSProp	Healthy	1.00	0.76	0.87	1.00
					0.97

Tablo 3. Önerilen CNN modelinin farklı çalışmalar ile karşılaştırılması

Sınıflar	Kesinlik (%)	Geri Çağırma (%)	F1 puanı (%)	Doğruluk (%)	Model
CBS	-	-	-	92.0	[46] YSA
	-	-	-	88.6	[47] SAM
	93.8	87.0	90.0	86.1	[19] CNN
	100.0	98.0	100.0	100.0	Önerilen CNN
CBC	-	-	-	89.5	[48] AdaBoost
	-	-	-	93.3	[36] CNN
	99.0	95.8	97.9	97.2	[19] CNN
	100.0	98.0	99.0	100.0	Önerilen CNN
HLB	-	-	-	92.0	[49] BPNN
	-	-	-	93.3	[50] MINNM
	91.0	94.6	93.0	94.64	[19] CNN
	99.0	100.0	99.0	99.0	Önerilen CNN

4. Sonuç

Narenciye yaprak hastalıkları, narenciyenin büyümesini ve kaliteli ürün vermesini engellemektedir. Ürün verimi, kalitesi ve büyümesinin azalmasına sebep olan narenciye yapraklarını erken aşamada tespit ederek sınıflandıran çalışma yapmak kritik öneme sahip bir konudur. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışma ile önerilen CNN tabanlı yöntem ince ayarlanmış transfer öğrenme teknikleri ile üretilen DenseNet121, MobileNetV2 ve ResNet50 modellerinden çok daha iyi bir sonuç vermiştir. CNN, DenseNet121, MobileNetV2 ve ResNet50 modellerinden elde edilen sonuçlar literatürde en yaygın olarak kullanılan performans ölçüm kriterlerinden olan kesinlik, geri çağırma, F1 puanı ve doğruluk değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Son olarak elde edilen performans ölçüm sonuçları, literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Bu

karşılaştırmadan elde edilen sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir. Bu tabloya da bakıldığında önerilen modelin narenciye yaprak hastalıklarını sınıflandırmak için yardımcı bir araç olarak kullanılabilmesi kanısına varılmaktadır.

Yazarların Katkısı

Makalenin tüm adımları sorumlu yazar tarafından tamamlanmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarın herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] E. C. Too, L. Yujian, S. Njuki, and L. Yingchun, 2019. A comparative study of fine-tuning deep learning models for plant disease identification, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 161, pp. 272–279, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.032>.
- [2] S. Zhang, W. Huang, and C. Zhang, 2019. Three-channel convolutional neural networks for vegetable leaf disease recognition, *Cogn. Syst. Res.*, vol. 53, pp. 31–41, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2018.04.006>.
- [3] G. Shrivastava, 2021. Review on Emerging Trends in Detection of Plant Diseases using Image Processing with Machine Learning, *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 174, doi: 10.5120/ijca2021920990.
- [4] A. Gargade and S. A. Khandekar, 2019. A Review: Custard Apple Leaf Parameter Analysis and Leaf Disease Detection using Digital Image Processing, in *2019 3rd International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, pp. 267–271, doi: 10.1109/ICCMC.2019.8819867.
- [5] M. Bin Tahir et al., 2021. Recognition of Apple Leaf Diseases using Deep Learning and Variances-Controlled Features Reduction, *Microprocess. Microsyst.*, p. 104027, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.104027>.
- [6] P. Bansal, R. Kumar, and S. Kumar, 2021. Disease Detection in Apple Leaves Using Deep Convolutional Neural Network, *Agriculture*, vol. 11, no. 7, doi: 10.3390/agriculture11070617.
- [7] D. Tiwari, M. Ashish, N. Gangwar, A. Sharma, S. Patel, and S. Bhardwaj, 2020. Potato Leaf Diseases Detection Using Deep Learning.
- [8] R. Sujatha, J. M. Chatterjee, N. Z. Jhanjhi, and S. N. Brohi, 2021. Performance of deep learning vs machine learning in plant leaf disease detection, *Microprocess. Microsyst.*, vol. 80, p. 103615, doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103615>.
- [9] O. Russakovsky et al., 2015. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge, *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 115, no. 3, pp. 211–252, doi: 10.1007/s11263-015-0816-y.
- [10] W. Xue, X. Hu, Z. Wei, X. Mei, X. Chen, and Y. Xu, 2019. A fast and easy method for predicting agricultural waste compost maturity by image-based deep learning, *Bioresour. Technol.*, vol. 290, p. 121761, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121761>.
- [11] Z. Zhang, H. Liu, Z. Meng, and J. Chen, 2019. Deep learning-based automatic recognition network of agricultural machinery images, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 166, p. 104978, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104978>.

- [12] N. Kussul, M. Lavreniuk, S. Skakun, and A. Shelestov, 2017. Deep learning classification of land cover and crop types using remote sensing data, *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, vol. 14, no. 5, pp. 778–782.
- [13] A. Z. da Costa, H. E. H. Figueroa, and J. A. Fracarolli, 2020. Computer vision based detection of external defects on tomatoes using deep learning, *Biosyst. Eng.*, vol. 190, pp. 131–144, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.12.003>.
- [14] A. Molotoks, P. Smith, and T. P. Dawson, 2021. Impacts of land use, population, and climate change on global food security, *Food Energy Secur.*, vol. 10, no. 1, p. e261, doi: <https://doi.org/10.1002/fes3.261>.
- [15] M. van Dijk, T. Morley, M. L. Rau, and Y. Saghai, 2021. A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050, *Nat. Food*, vol. 2, no. 7, pp. 494–501, doi: 10.1038/s43016-021-00322-9.
- [16] M. Dutt, C. El Mohtar, and N. Wang, 2020. Biotechnological Approaches for the Resistance to Citrus Diseases, pp. 245–257.
- [17] N. T. Tran et al., 2017. Sexual Reproduction in the Citrus Black Spot Pathogen, *Phyllosticta citricarpa*, *Phytopathology®*, vol. 107, no. 6, pp. 732–739, doi: 10.1094/PHYTO-11-16-0419-R.
- [18] E. National Academies of Sciences and Medicine, 2018. A Review of the Citrus Greening Research and Development Efforts Supported by the Citrus Research and Development Foundation. Washington, D.C.: National Academies Press.
- [19] S. F. Syed-Ab-Rahman, M. H. Hesamian, and M. Prasad, 2021. Citrus disease detection and classification using end-to-end anchor-based deep learning model, *Appl. Intell.*, doi: 10.1007/s10489-021-02452-w.
- [20] P. M. M. Martins, M. de Oliveira Andrade, C. E. Benedetti, and A. A. de Souza, 2020. *Xanthomonas citri* subsp. *citri*: host interaction and control strategies, *Trop. Plant Pathol.*, vol. 45, no. 3, pp. 213–236, doi: 10.1007/s40858-020-00376-3.
- [21] S. A. de Carvalho et al., 2014. Comparison of Resistance to Asiatic Citrus Canker Among Different Genotypes of Citrus in a Long-Term Canker-Resistance Field Screening Experiment in Brazil, *Plant Dis.*, vol. 99, no. 2, pp. 207–218, doi: 10.1094/PDIS-04-14-0384-RE.
- [22] J. Martínez-Minaya, D. Conesa, A. López-Quílez, and A. Vicent, Climatic distribution of citrus black spot caused by *Phyllosticta citricarpa*. A historical analysis of disease spread in South Africa, *Eur. J. Plant Pathol.*, vol. 143, no. 1, pp. 69–83, doi: 10.1007/s10658-015-0666-z.
- [23] G. Huang, Z. Liu, L. Van Der Maaten, and K. Q. Weinberger, 2017. Densely connected convolutional networks, in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 4700–4708.
- [24] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, 2016. Identity mappings in deep residual networks, in *European conference on computer vision*, pp. 630–645.
- [25] C. Szegedy, V. Vanhoucke, S. Ioffe, J. Shlens, and Z. B. Wojna, 2016. Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision.
- [26] C. Szegedy, S. Ioffe, V. Vanhoucke, and A. A. Alemi, 2017. Inception-v4, inception-resnet and the impact of residual connections on learning.
- [27] M. Khanramaki, E. Askari Asli-Ardeh, and E. Kozegar, 2021. Citrus pests classification using an ensemble of deep learning models, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 186, p. 106192, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106192>.
- [28] S. Sun, Z. Cao, H. Zhu, and J. Zhao, 2019. A survey of optimization methods from a machine learning perspective, *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 50, no. 8, pp. 3668–3681.
- [29] S. Ioffe and C. Szegedy, 2015. Batch normalization: Accelerating deep network training by reducing internal covariate shift,” in *International conference on machine learning*, pp. 448–456.
- [30] B. Liu, Y. Zhang, D. He, and Y. Li, 2018. Identification of Apple Leaf Diseases Based on Deep Convolutional Neural Networks, *Symmetry (Basel)*, vol. 10, no. 1, p. 11, doi: <http://dx.doi.org/10.3390/sym10010011>.

- [31] M. Turkoglu, D. Hanbay, and A. Sengur, 2019. Multi-model LSTM-based convolutional neural networks for detection of apple diseases and pests, *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, doi: 10.1007/s12652-019-01591-w.
- [32] M. Khan, T. Akram, M. Sharif, K. Javed, M. Raza, and T. Saba, 2020. An Automated System for Cucumber Leaf Diseased Spot Detection and Classification using Improved Saliency Method and Deep Features Selection, *Multimed. Tools Appl.*, vol. 79, doi: 10.1007/s11042-020-08726-8.
- [33] S. Rajora, D. kumar Vishwakarma, K. Singh, and M. Prasad, 2018. CSgI: A Deep Learning based approach for Marijuana Leaves Strain Classification, in *2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON)*, pp. 209–214, doi: 10.1109/IEMCON.2018.8615011.
- [34] Z. Iqbal, M. A. Khan, M. Sharif, J. H. Shah, M. H. ur Rehman, and K. Javed, 2018. An automated detection and classification of citrus plant diseases using image processing techniques: A review, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 153, pp. 12–32, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.07.032>.
- [35] H. T. Rauf, B. A. Saleem, M. I. U. Lali, M. A. Khan, M. Sharif, and S. A. C. Bukhari, 2019. A citrus fruits and leaves dataset for detection and classification of citrus diseases through machine learning, *Data Br.*, vol. 26, p. 104340, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104340>.
- [36] S. Xing, M. Lee, and K. Lee, 2019. Citrus Pests and Diseases Recognition Model Using Weakly Dense Connected Convolution Network, *Sensors*, vol. 19, no. 14, doi: 10.3390/s19143195.
- [37] Q. Chen et al., 2019. Deep Convolutional Network for Citrus Leaf Diseases Recognition.
- [38] M. Sharif, M. A. Khan, Z. Iqbal, M. F. Azam, M. I. U. Lali, and M. Y. Javed, 2018. Detection and classification of citrus diseases in agriculture based on optimized weighted segmentation and feature selection, *Comput. Electron. Agric.*, vol. 150, pp. 220–234, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.04.023>.
- [39] C. B. Wetterich, R. Felipe de Oliveira Neves, J. Belasque, and L. G. Marcassa, 2016. Detection of citrus canker and Huanglongbing using fluorescence imaging spectroscopy and support vector machine technique, *Appl. Opt.*, vol. 55, no. 2, pp. 400–407, doi: 10.1364/AO.55.000400.
- [40] Kaggle, 2020. Citrus Leaves Prepared, <https://www.kaggle.com/dtrilsbeek/citrus-leaves-prepared>.
- [41] V. Chouhan et al., 2020. A Novel Transfer Learning Based Approach for Pneumonia Detection in Chest X-ray Images, *Applied Sciences*, vol. 10, no. 2., doi: 10.3390/app10020559.
- [42] A. G. Howard et al., 2017. Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications, *arXiv Prepr. arXiv1704.04861*.
- [43] M. Sandler, A. Howard, M. Zhu, A. Zhmoginov, and L.-C. Chen, 2018. Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks, in *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 4510–4520.
- [44] S. Rajpal, N. Lakhyani, A. K. Singh, R. Kohli, and N. Kumar, 2021. Using handpicked features in conjunction with ResNet-50 for improved detection of COVID-19 from chest X-ray images, *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 145, p. 110749, doi: 10.1016/j.chaos.2021.110749.
- [45] S. Vallabhajosyula, V. Sistla, and V. K. K. Kolli, 2021. Transfer learning-based deep ensemble neural network for plant leaf disease detection, *J. Plant Dis. Prot.*, doi: 10.1007/s41348-021-00465-8.
- [46] D. M. Bulanon, T. F. Burks, D. G. Kim, and M. A. Ritenour, 2013. Citrus black spot detection using hyperspectral image analysis, *Agric. Eng. Int. CIGR J.*, vol. 15, no. 3, pp. 171–180.
- [47] D. Kim, T. F. Burks, M. A. Ritenour, and J. Qin, 2014. Citrus black spot detection using hyperspectral imaging, *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 7, no. 6, pp. 20–27, doi: 10.3965/j.ijabe.20140706.004.
- [48] M. Zhang and Q. Meng, 2011. Automatic citrus canker detection from leaf images captured in field, *Pattern Recognit. Lett.*, vol. 32, no. 15, pp. 2036–2046, doi: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2011.08.003>.
- [49] D. Xiaoling, Y. Lan, X. Xiaqiong, M. Huilan, L. Jiakai, and H. Tiansheng, 2016. Detection of citrus Huanglongbing based on image feature extraction and two-stage BPNN modeling, *Int. J. Agric. Biol. Eng.*, vol. 9, no. 6, pp. 20–26.

- [50] X. Deng et al., 2020. Detection of Citrus Huanglongbing Based on Multi-Input Neural Network Model of UAV Hyperspectral Remote Sensing, *Remote Sensing* , vol. 12, no. 17., doi: 10.3390/rs12172678.



Sürünme Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı

Ömer KARABEY^{1*}, Ahmet AKKUŞ¹

¹Department of Mechanical Engineering, Cumhuriyet University, Sivas, TURKEY
(ORCID: [0000-0002-5726-9284](https://orcid.org/0000-0002-5726-9284)) (ORCID: [0000-0002-6881-9333](https://orcid.org/0000-0002-6881-9333))



Anahtar Kelimeler:
Sürünme, sürünme testi,
Sürünme test cihazı
tasarımı, Yüksek sıcaklık
fırın.

Öz

Bilindiği üzere malzemelerin mekanik davranışları sıcaklık ile değişiklik göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda ise bu davranış daha da önem kazanmaktadır. Yüksek sıcaklıkta, statik veya dinamik zorlamalar altında olan bir malzemenin mekanik davranışını sürünme testi ile belirlenebilmektedir. Sürünme testleri uzun ve maliyetlidir. Buradaki maliyet hem test cihazı hem de cihazın işletme maliyetidir. Maliyeti düşürmek için daha düşük bütçeler ile yapılabilecek bir test cihazı tasarlanmış ve imalatı yapılmıştır. Sürünme test cihazının konstrüksiyonu NPU65 profil ve 30 mm çaplı miller üzerine kurulmuştur. Profillerin ve millerin malzemesi S235JR(St37-2)'dir. Fırın kısmı ateş tuğlası ve refrakter tuğla ile yapılmıştır. Isıtıcı rezistanslar ise 22 awg Kanthal A1 teli ile sarılmıştır. Sıcaklık kontrolü ise REX-C100 PID kontrolcüsü ve 70A solid state röle ile sağlanmıştır. Fırın maksimum 1000 °C de çalışmaktadır. Sürünme numunelerinin tutma çeneleri, yüksek ergime noktası ve çok iyi bir sürünme davranışına sahip olan Inconel 718 süper alaşımından imal edilmiştir. Test numuneleri M12x1,75 sağ ve sol diş vida ile çenelere tutturulmuştur. Cihazda test numunesi maksimum 18 kN statik yük uygulanabilir. Numune boyundaki uzamalar ise 0,0005 mm hassasiyetli dijital komparatör ile zamana bağlı olarak kaydedilip sürünme grafiği oluşturulmaktadır.

Designing and Manufacturing of a Creep Testing Machine

Keywords: Creep, Creep test, Creep test machine design, High temperature furnace.

Abstract

From literature it is known, the mechanical behavior of materials changes with temperature. At higher temperatures, this behavior becomes even more important. The mechanical behavior of a material under high temperature, static or dynamic stresses can be determined by the creep test. Creep tests are long and costly. The cost here is both the testing machine and the processing cost of the instrument. To reduce the cost, a test device that can be made with lower budgets has been designed and manufactured. The construction of the creep test device is based on NPU65 profile and 30 mm diameter shafts. The material of the profiles and shafts is S235JR (St37-2). The furnace part is made of fire brick and refractory brick. The heating resistors are wrapped with 22 awg Kanthal A1 wire. Temperature control is provided by REX-C100 PID controller and 70A solid state relay. The oven operates at a maximum of 1000 °C. The gripping jaws of the creep specimens are made of Inconel 718 super alloy, which has a high melting point and a very good creep behavior. The test specimens were attached to the jaws with M12x1.75 right and left screw. A maximum static load of 18 kN can be applied to the test sample on the testing machine. The elongation in the sample length is recorded with a digital comparator with 0.0005 mm accuracy and a creep graph is created.

*Sorumlu yazar: omerkarabey@cumhuriyet.edu.tr

Geliş Tarihi: 01.12.2021, Kabul Tarihi: 15.02.2022

1. Giriş

Sabit bir sıcaklıkta, sabit bir gerilim ya da yükleme etkisi altında, malzemede zamanla oluşan kalıcı biçim değişikliğine " sürünme " denir. Sürünme deneyleri malzemenin akma dayanımından düşük gerilmelerde ve yüksek sıcaklıkta yapılır. Malzemedeki deformasyon miktarı; gerilme miktarına, sıcaklığa, zamana ve malzeme özelliklerine bağlıdır [1].

Sürünme test cihazları, aynı çekme test cihazları gibi çalışmaktadır. Burada çekme testinden farklı olarak uygulanan çekme kuvveti test esnasında değişken değildir ve test yüksek sıcaklıklarda yapılmaktadır. Genellikle malzeme ergime sıcaklığının %40'ı (0,4Te) üzerindeki sıcaklıklarda sürünme testleri yapılmaktadır. Sürünme test cihazlarında uygulanan yük mekanik ve elektromekanik olarak iki farklı şekilde uygulanır. Mekanik olarak çalışan sistemlerde genellikle kaldıraç veya palanga sistemi mantığı ile yükleme yapılır. Ani yüklemelerden kaçınmak için yükleme manuel veya otomatik bir asansör ile gerçekleştirilir. Elektromekanik yüklemelerde ise step, servo, hibrit motorlar veya hidrolik sistemler kullanılmaktadır. Cihazların fırın kısmı refrakter malzemeler, ısıtıcı rezistans, termokupl ve kontrolcüden oluşmaktadır. Numune tutucu çeneler yüksek sıcaklıkta sürünmeye dayanıklı malzemelerden yapılmakta ve genellikle vidalı bağlantı ile numuneler sabitlenmektedir. Profesyonel test cihazlarında numunelerdeki boyca uzamalar yüksek sıcaklık ekstansometresi ile ölçülmektedir. Bunun yanında boyca uzama LVDT (Linear Variable Differential Transformer) veya komparatör benzeri yüksek hassasiyetli cihazlarla ölçülerek kaydedilebilir. Literatürde çalışmamıza ışık tutan bazı çalışmalar şunlardır:

Momoh, Ajueyitsi ve Onipede (2008) yaptıkları çalışmalarında mekanik bir çekme ve sürünme test cihazı tasarlamışlardır. Tasarlanan cihazda fırın bulunmamaktadır. Ortam sıcaklığında testler yapabilmek ve öğrencilerin laboratuvar deneyimini artırabilmesi tasarlanmıştır. Boyca uzamayı ölçmek için saatli komparatör kullanmışlardır. Test esnasında numune boyundaki değişimleri not alarak sürünme grafiklerini oluşturmuşlardır. Alüminyum ve kurşun malzemeler ile testleri gerçekleştirmişlerdir [2].

Momoh, Shuaib-Babata ve Adelegan (2010) yaptıkları çalışmalarında normalde var olan mekanik bir çekme ve sürünme test cihazını modifiye ederek alüminyum, kurşun ve termoplastik malzemeler için düşük bütçeli bir sürünme test cihazına dönüştürmüşlerdir. Boyca

uzamayı saatli komparatör ile ölçmüşlerdir. Yükleme ise kaldıraç sistemi ile yapmışlardır. Maksimum 110 °C sıcaklıkta teflon malzemeler üzerinde test yaparak sürünme eğrilerini oluşturmuşlardır [3].

Hosseini, Sereshki, Shariati, Jalali ve Crotogino (2012) yaptıkları çalışmalarında kayalarda sürünme olayı için sürünme test cihazı yapmışlardır. Burada metallerdeki sürünme testinin aksine numuneye basma kuvveti uygulanmaktadır. Uygulanmak istenen kuvvet bir kuvvet kolu üzerinde hareketli bir ağırlık ile sağlanmıştır. Silindirik bir tuz kayası üzerinde sürünme testlerini yapmışlardır. Boyca değişimleri dijital komparatör yardımıyla ölçmüşler ve kaydetmişlerdir [4].

Ravi, Laha, Sakthy, Mathew ve Jayakumar (2014) yaptıkları çalışmalarında sıvı sodyum içinde sürünme testi yapabilecekleri bir sürünme test cihazı tasarlayıp imalatını gerçekleştirmişlerdir. Test numunelerine yüklemeyi kaldıraç kolu ve ağırlıkları ile yapmışlardır. Yüklemede elektrikli bir asansör sistemi kullanmışlardır. Numunedeki boyca uzamayı LVDT ile ölçüp kaydetmişlerdir. AISI 316L için 873 K de ve 225 MPa' da sürünme testlerini yapmışlardır [5].

Alaneme, Bamike ve Omlenyi (2014) yaptıkları çalışmalarında çift tutma çeneli sürünme test cihazı imal etmişlerdir. Silindirik ve levha tipli numuneleri bağlamışlardır. Boyca uzamayı saatli komparatör ile yapmışlardır. Yükleme kısmı kaldıraç ve ağırlıklar ile yapılmıştır. Teflon malzemelerdeki sürünmeyi ölçerek sistemlerini test etmişlerdir. Yaklaşık olarak \$700 maliyetle projeyi tamamlamışlardır [6].

Zubair Khan ve diğerleri (2015) yaptıkları çalışmalarında yüksek sıcaklıklarda sürünme testi yapabilecekleri bir sürünme test cihazı tasarlamış ve yapılışını anlatmışlardır. 10 kN luk maksimum yükleme ve 700 °C maksimum sıcaklık kapasitelidir. Konstrüksiyonun gerilme analizini yapmışlardır. Boyca uzamayı nasıl kaydettiklerini belirtmemişlerdir. Alüminyum 6061 malzemesi ile sürünme testleri yapmışlardır [7].

Chukwunke, Okolie, Ugwuegbu ve Sinebe (2016) yaptıkları çalışmalarında termoplastik, alüminyum veya kurşun benzeri malzemelerde sürünme testi yapabilmek için bir sürünme test cihazı tasarlayıp imal etmişlerdir. Cihaz kapasitesi maksimum 300 °C sıcaklık, 2457 N yükleme ve 10 mm boyca uzamayı ölçebilmektedir. Boyca uzama için 0,01 mm hassasiyetli saatli komparatör kullanmışlardır. Teflon malzeme üzerinde testler yapmışlardır [8].

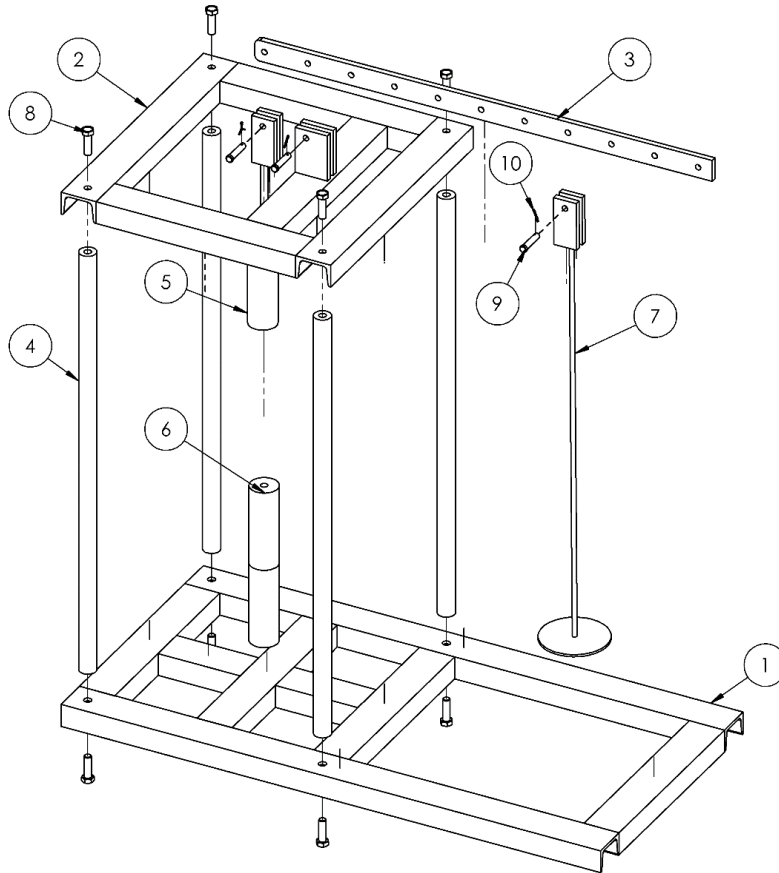
Hiyoshi, Itoh, Sakane, Tsurui ve Tsurui (2019) yaptıkları çalışmalarında minyatür numuneler için çok eksenli bir sürünme test cihazı imal etmişlerdir. Artı işareti şeklinde bir test numunesi için tasarlamışlardır. Merkezde 5x5 mm kare parça ve bu karenin kenarlarından artı şekli oluşturacak şekilde devam eden ince levhalardan oluşmaktadır. Numune tutma kısımları ile 50x50 mm boyutundadır. Yatay olarak çift eksenli çekme kuvveti uygulayarak testleri yapmışlardır. Test cihazı 2 kN yükleme ve 1 kW fırına sahiptir. Optik kamera ile boyca değişmeyi ölçmüşlerdir. 304 paslanmaz çelik numuneler ile testleri yapmışlardır [9].

Yapılan bu çalışmada statik yüklemeli bir sürünme test cihazı tasarlanıp imalatı gerçekleştirildi. Kaldıraç sayesinde test numunesine maksimum olarak 18 kN yükleme yapılabilir. Yükleme manuel olarak yapılmaktadır. Numunelerin tutma çeneleri M12x1,75 sağ ve sol diş ile test numunesini tutmaktadır. Test cihazı için 1100 W 'lık bir fırın imalatı yapılmıştır. Aynı

zamanda bu fırın için kontrol ünitesi de imal edilmiştir. Veri aktarımı yapılabilecek dijital bir komparatör (Mahr 1086R) ile veriler Microsoft Excel programına aktarılarak sürünme eğrileri elde edilmiştir.

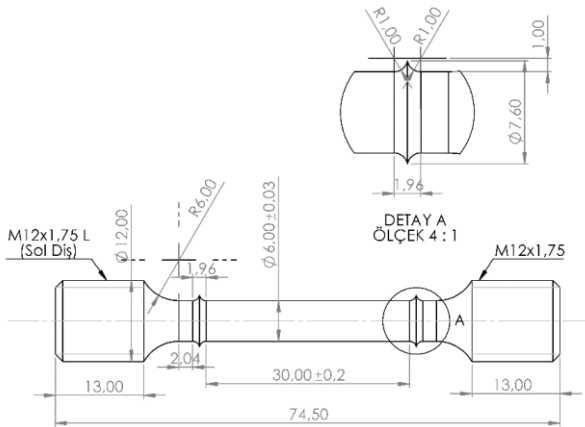
2. Materyal ve Metot

Sürünme test cihazı tasarımında piyasada düşük maliyetle bulunabilecek malzemeler seçilmeye çalışılmıştır. Ana konstrüksiyonda NPU65 profil ve 30 mm çaplı transmisyon mili kullanılmıştır. Profil, lama ve millerin malzeme kalitesi S235JR (ST37-2)' dir. Konstrüksiyon ana olarak iki parçadan oluşup profiller kaynaklı bağlantı ile birleştirilmiştir. İki parça ise 30 mm çaplı 4 adet transmisyon mili ile M12 civatalarla birleştirilmiştir. Fırın konstrüksiyonu ise 25x3 mm lama, 8 mm çaplı mil, 30x30 mm L profil malzemelerinin kaynaklı bağlantısıyla yapılmıştır. Ana konstrüksiyonun patlatılmış montaj hali Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Sürünme Test Cihazı Ana Konstrüksiyonu (1-Alt tabla, 2-Üst tabla 3-Kaldıraç kolu 4-30mm transmisyon milleri 5-Numune üst tutucu 6-Numune alt tutucu 7-Yükleme kolu 8-M12 sabitleme civataları 9-Mafsal pimleri 10-Kopilya)

Şekil 1’de verilen montaj resminde 8 ile numaralandırılmış olan cıvatalar M12x1,75x40 DIN933 8.8 kalitesindedir [13]. 3 numaralı kaldıraç kolu ve 9 numaralı mafsal pimleri ise St 52-3 (S355J0) malzemesinden imal edilmiştir. Kaldıraç kolunun maksimum oranı 1:9’dur. 844 mm uzunluğunda 10x40 mm kesitindedir. Yükleme kolu 7 farklı konumda kullanılabilirerek hassas yükleme ayarı yapılabilir. Alt ve üst konstrüksiyon şekilde gösterildiği gibi 4 adet 30 mm çapında 800 mm yüksekliğinde transmisyon milleri ile birleştirilmiştir. 5 ve 6 numaralı numune tutucular ise yüksek sıcaklıkta sürünmeye dayanıklı ve korozyon direnci yüksek olmasından dolayı 40mm çaplı INCONEL 718 süper alaşımından imal edilmiştir. TSE EN ISO 204:2009 ve ASTM E139-11 standartlarına göre sürünme numunesi boyutları belirlenmiştir. Sürünme numunesi resmi ve boyut bilgileri Şekil 2’de gösterilmiştir. Numune tutuculara ise bu sürünme numunesine göre M12x1.75 sağ ve sol dış açılmıştır. Bu şekilde test numuneleri iki tutucuya da tek bir cıvata sıkma hareketiyle sabitlenmiştir.



Şekil 2. Sürünme Numunesi Teknik Resmi (TS EN ISO 204:2009) [11]

Fırın kısmının dış yüksekliği 370 mm ve kesiti 330x330 mm’dir. Fırının iç kısmı ise 100 mm çapında ve 120 mm yüksekliğinde bir silindir şeklinde tasarlanıp imalatı yapılmıştır. Fırın duvarlarında ateş tuğlası, refrakter tuğla ve şamot harcı kullanılmıştır [12]. Burada ateş tuğlası ısıyı absorbe ederek fırının iç kısmının sıcaklığının daha dengeli olmasını sağlamaktadır. Dıştaki refrakter

tuğla ise düşük ısı iletim katsayısı sayesinde fırının enerji kaybını azaltmaktadır. En dış kısmında ise yalıtım malzemesi olarak seramik elyaf kullanılmıştır. K tipi kafalı termokupl kullanılmıştır. Fırın rezistansı 1200 °C sıcaklığa dayanıklı Kanthal A1 telinden 8 mm çapta sarılmıştır. Rezistans teli ömrü için maksimum 1000 °C’de çalıştırılacaktır. 22 AWG (Ø0,65 mm) tel kullanılarak 1100 W’lık bir rezistans yapılmıştır. Hesaplamaları aşağıda verilmiştir [10]:

$$20\text{ °C de tel direnci} = R_{20} = 4,19\ \Omega/\text{m}$$

$C_t = 1,05(800\text{ °C’de tel direncinin değişim katsayısı})$

$$R_t = R_{20} \times C_t, \quad (\Omega/\text{m}) \quad (1)$$

$$R_t = 4,19 \times 1,05 = 4,3995\ \Omega/\text{m}$$

$$I = \frac{P}{U}, \quad (A) \quad (2)$$

$I = 1100/220$ ise $I = 5\text{ A}$ (Rezistansın çekeceği akım)

$$R = \frac{V}{I}, \quad (\Omega) \quad (3)$$

$R = 220/5 = 44\ \Omega$ (Toplam rezistans direnci)

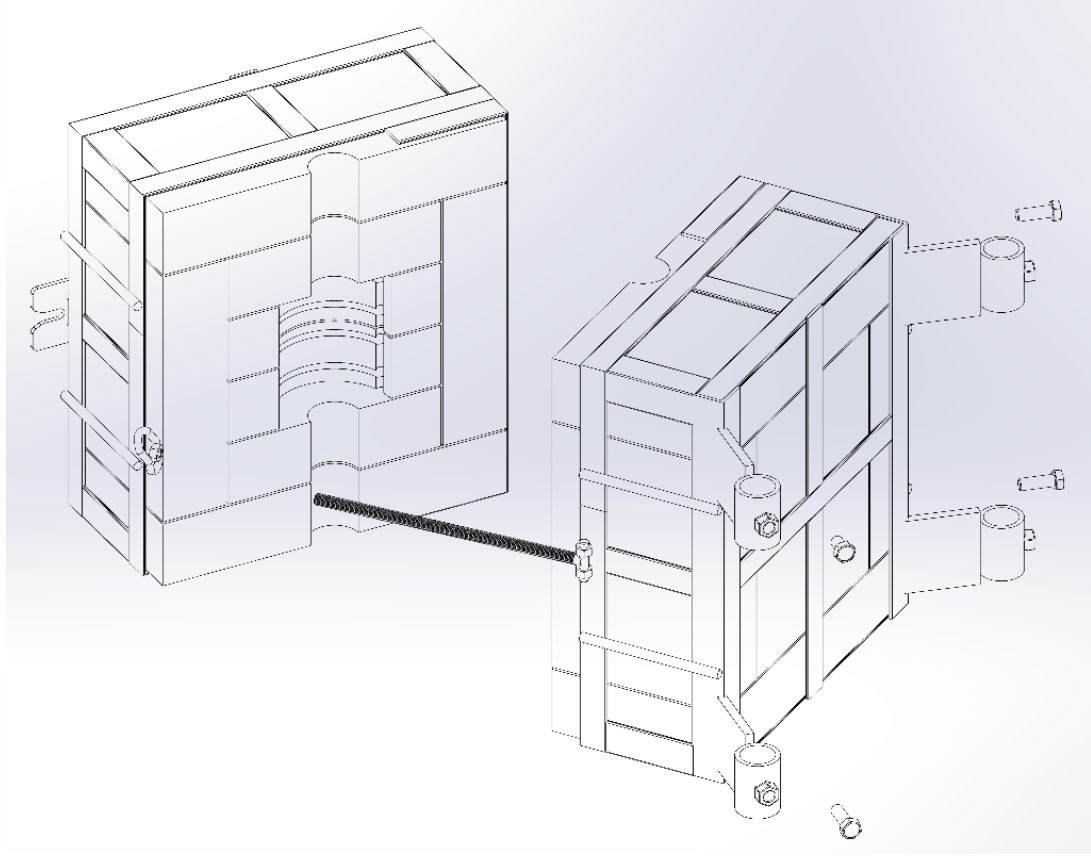
$$L = \frac{R}{R_t}, \quad (m) \quad (4)$$

$L = 44/4,3995 \cong 10,1\text{ m}$ toplam tel uzunluğudur.

$$N = \frac{L}{\pi \times d} \quad (5)$$

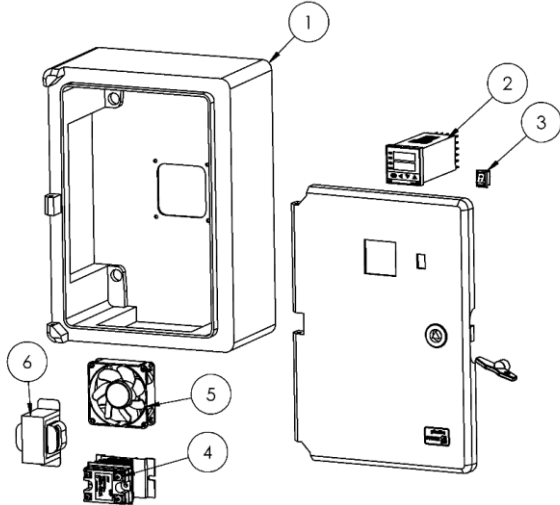
$N = (10,1 \times 1000) / (\pi \times 8) \cong 402$ tur tel sarım yapılmalıdır.

Fırının montaj resmi Şekil 3’de gösterilmiştir. Fırın ana olarak iki parçadan oluşmakta olup 10 mm’lik pim menteşeler ile birbirine bağlanmışlardır. Fırını askıda tutmak için 30 mm’lik millere 4 adet geçme boru yapılmıştır. Bu borular ise M10 cıvatalar ile sabitlenmiştir.



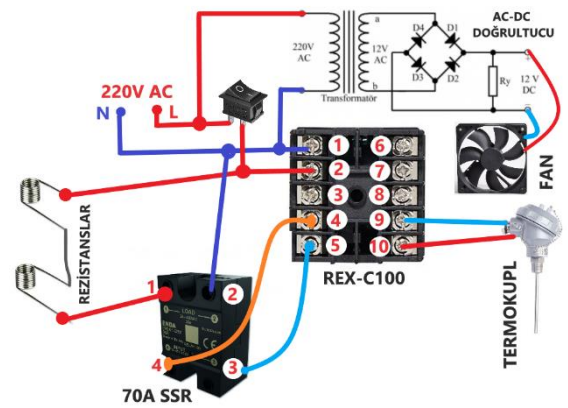
Şekil 3. Sürünme Test Cihazı Fırını

Fırın sıcaklık kontrolü REX C100 PID kontrolcüsü ve 70A solid state röle ile sağlanmıştır. Sıcaklığı ölçmek için K tipi daldırma termokupl kullanılmıştır. Rezistans bağlantıları seramik klemensler ile yapılmıştır. Kablo da 4 mm çaplı yanmaz elyaf kablo kullanılmıştır. Ayrıca kablo üzerine 6 mm çaplı cam elyaf makaron ile ekstra bir koruma sağlanmıştır. Cihazın kontrol kutusunun tasarımı Şekil 4’de verilmiştir.



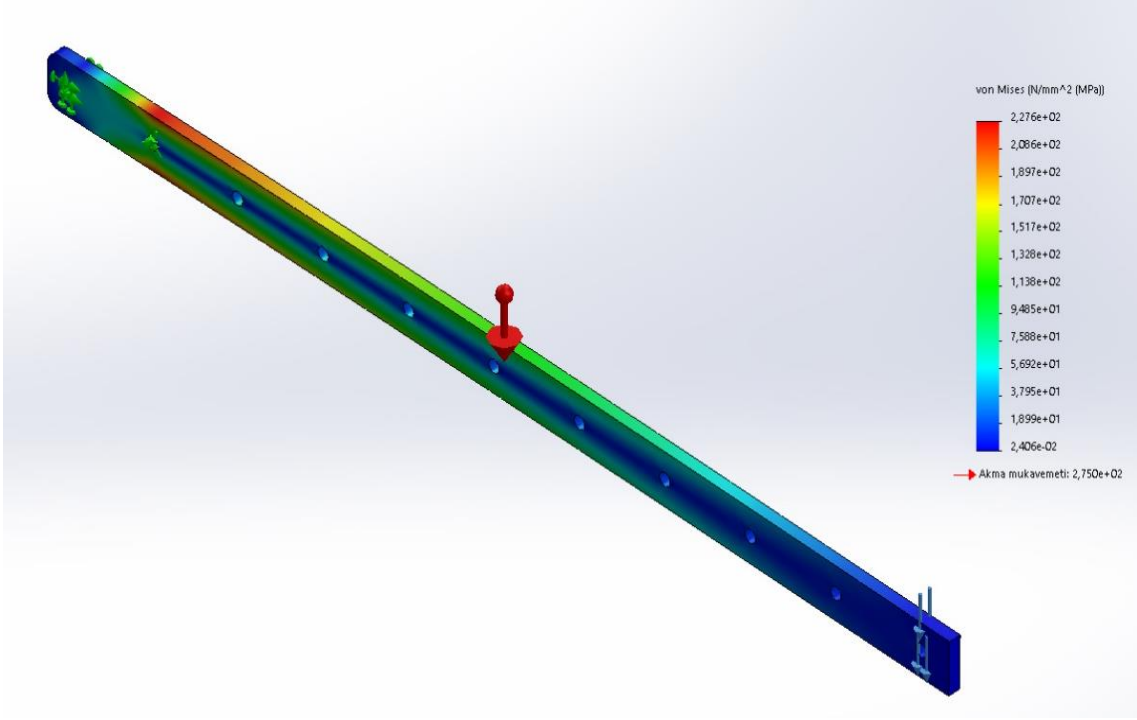
Şekil 4. Kontrol Kutusu (1-Kutu 2- REX C100 PID kontrolcüsü 3-Güç Anahtarı 4-70A Solid State Röle 5- Sirkülasyon fanı 6- Transformator)

Test cihazının elektronik devre şeması ise Şekil 5’de verilmiştir.

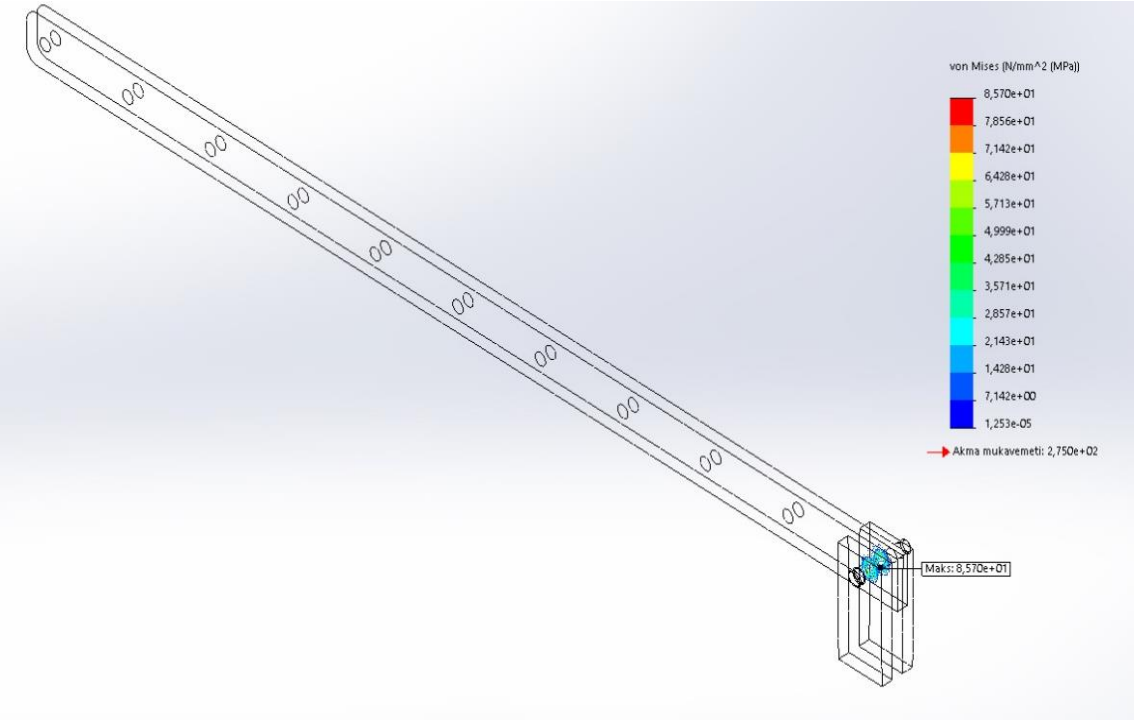


Şekil 5. Fırın Kontrol Devre Şeması

Ana yükü yani ölü ağırlığı taşıyacak kritik parçaların statik analizleri Solidworks programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6’da kaldırma kolunun gerilme analizi gösterilmektedir. 2000 N yüklemde maksimum von Mises gerilmesi 227 MPa çıkmıştır. Malzemenin akma dayanımı 275 MPa olduğundan güvenilirdir. Perno gerilme analizinde ise maksimum perno gerilmesi 85,7 MPa bulunmuştur (Şekil 7).



Şekil 6. Kaldıraç kolu statik analizi



Şekil 7. Perno yatak analizi

Tamamlanan sürünme test cihazının fotoğrafı Şekil 8’de sunulmuştur. Test numunesinin boyca uzaması, kaldıraca bağlı olan mafsal üzerinden ölçülmektedir. Böylece mafsalın aksenal dönme hareketinden dolayı ölçümlerin yapıldığı yüzey test numunesi ile aynı eksenle olmaktadır. Ölçümler 0,0005 mm hassasiyetli

Mahr 1086R marka ve modeli komparatör ile USB arayüzünden bilgisayara aktarılmaktadır. Aktarılan bu veriler zamana bağlı olarak kaydedilerek Microsoft Excel programı ile sürünme grafikleri çizilmektedir.



Şekil 8. Tasarlanan ve imalatı yapılan sürünme test cihazı

3. Sonuç ve Öneriler

Sürünme test cihazı tasarımı ve imalatı başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Toplam maliyeti dijital komparatör dahil yaklaşık olarak 9.000 TL'dir. Tasarımı yapılan ve üretilen sürünme test cihazının yapılacak akademik ve Ar-Ge çalışmalarında maliyeti oldukça düşüreceği açıktır. Komparatör verileri USB bağlantısı ile zamana bağlı olarak Microsoft Excel' e kayıt edilerek sürünme grafikleri oluşturulmaktadır. Bu konstrüksiyon üzerine yüksek sıcaklık ekstansometresi montajı yapıldığında profesyonel test cihazları gibi daha stabil ve daha hassas veri alımı olacaktır. Literatür çalışmalarında kullanılan sıcaklık ve kuvvet değerleri üretimi yapılan sürünme test cihazı tarafından karşılanmaktadır. Cihazın fırın kısmında sarılan rezistans tel çapı artırılarak ve seçilen çapa uygun olarak sarım yapılmasıyla fırın maksimum sıcaklığı 1300 °C 'ye kadar artırılabilir [10]. Kaldıraç kolu ve numune bağlama kolu yatakları arasındaki mesafe ne kadar az tutulursa kaldıraç kolu daha kısa tutulabilir ya da aynı boyda test numunelerine daha fazla yük uygulanabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) tarafından M-789 proje numarası ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye katkıları eşit orandadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] R. K. Penny and D. L. Marriott, *Design for Creep, 2nd ed.* Dordrecht, Netherlands: Springer, 2012.
- [2] J. J. Momoh, O. N. A. Ajueyitsi, and A. I. M. Onipede, “Development of a Low Cost Mechanically Operated Tensile and Creep Tesing Machine,” *Journal of Engineering and Applied Science*, vol. 3, no. 6, pp. 491–495, 2008.
- [3] J. J. Momoh, Y. Lanre, and G. O. Shuaib-Babata, “Modification and Performance Evaluation of a Low Cost Electro-Mechanically Operated Creep Testing Machine,” *Department of Mechanical Engineering, Federal Polytechnic*, vol. 16, pp. 83–94, 2010.
- [4] S. M. A. Hosseini, “Development of a New Creep Testing Equipment to Obtain Long-Term Deformation Parameters of Salt Rocks,” *Journal of Mining and Environment*, vol. 3, no. 1, pp. 27–32, 2012.
- [5] S. Ravi, K. Laha, S. Sakthy, M. D. Mathew, and T. Jayakumar, “Design of creep machine and creep specimen chamber for carrying out creep tests in flowing liquid sodium,” *Nucl. Eng. Des.*, vol. 267, pp. 1–9, 2014.
- [6] K. K. Alaneme, B. J. Bamike, and G. Omlenyi, “Design and performance evaluation of a sustained load dual grip creep testing machine,” *J. miner. mater. charact. eng.*, vol. 02, no. 06, pp. 531–538, 2014.
- [7] M. Z. Khan et al., “Design and Fabrication of High Temperature Creep Testing Machine,” *American Journal of Materials Engineering and Technology*, vol. 3, no. 3, pp. 51–57, 2015.
- [8] J. Chukwuneke, P. Okolie, D. Ugwuegbu, and J. Sinebe, “Design analysis and fabrication of a tensile creep testing machine,” *Br. J. Appl. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 3, pp. 1–13, 2016.
- [9] N. Hiyoshi, T. Itoh, M. Sakane, T. Tsurui, and M. Tsurui, “Development of multiaxial creep testing machine for miniature specimen,” *MATEC Web Conf.*, vol. 300, p. 14001, 2019.
- [10] “Kanthal Handbook,” West-l.com. [Online]. Available: <https://www.west-l.com/uploads/tdpdf/06080303.pdf>. [Accessed: 06-Mar-2022].
- [11] “Metalik malzemeler-Gerilmeli tek eksenli sürünme deneyi-Deney metodu,” TS EN ISO 204, 2009.
- [12] Ş. Ş. Koçer, “Alümina Esaslı Hammadde Ve Atıklardan Alümina Esaslı Aerojel Tozu Üretimi Ve Karakterizasyonu,” Sakarya University, Sakarya, Turkey, 2019.
- [13] “Bağlama elemanları - Altıköşe başlı vidalar- Mamul kalitesi A ve B” TS EN ISO 4017, 2014.



Kilis Kentsel Sit Alanında Geleneksel Konut Kullanıcılarının Tercih ve Önceliklerinin Belirlenmesi

Saliha TAŞÇIOĞLU^{1*}

¹Park ve Bahçe Bitkileri Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, KİLİS
(ORCID: [0000-0002-3986-4207](https://orcid.org/0000-0002-3986-4207))



Anahtar kelimeler: AHP, Kentsel koruma, Konut kullanıcıları, Kentsel sit, Kilis

Öz

Konut kullanıcılarının sosyal, ekonomik, kültürel önceliklerinin belirlenmesi, kendileri için uygun konutun belirlenmesi açısından oldukça önemlidir. Çünkü bireysel ihtiyaç ve öncelikler çerçevesinde belirlenen konut seçimi, kullanıcının memnuniyetini de arttırmaktadır. Günümüzde özellikle koruma alanlarındaki yerleşimcilerin bu alanları tercih sebepleri araştırılması gereken bir konudur. Çünkü bu alanlarda sürdürülebilir korumanın sağlanması önemlidir. Bu da kullanıcı profili ve farkındalığı ile ilgilidir. Özellikle son 10 yıllık dönemde Kilis Kentsel Sit alanındaki yerleşimci profili değişmektedir. Düşük kira bedeli, merkezi konum gibi farklı sebeplerle, Suriyeli sığınmacılar tarafından tercih edilmektedir. Yapılan araştırma sonunda alan içerisinde sürekli ikamet eden ve çalışma kapsamında görüşme yapılabilecek nitelikteki kullanıcı sayısının oldukça az olduğu görülmüştür. Çalışmada konut kullanıcılarının öncelik ve tercihlerinin belirlenmesi amacıyla mekânsal, sosyal, ekonomik ve kültürel faktörler Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), yöntemi ile değerlendirilmiştir. Yüz yüze görüşme ile yürütülen çalışma sonunda katılımcıların en çok Mahalle kültürü ve güvenlik hissi cevabı verdikleri tespit edilmiştir.

Determination of Preferences and Priorities of Traditional Housing Users in Kilis Urban Protected Area

Keywords: AHP, Urban conservation, Residential users, Urban site, Kilis

Abstract

Determining the social, economic and cultural priorities of the housing users is important in terms of determining the suitable housing for them. Because the choice of housing determined within the framework of individual needs and priorities also increases user satisfaction. Today, the reasons why the settlers in the protected areas prefer these areas is an issue that needs to be investigated. Undoubtedly, it is also important to provide sustainable protection rather than taking it under protection. This is about user profile and awareness. Especially in the last 10 years, the profile of the settlers in Kilis Urban Site has been changing. It is preferred by most Syrian refugees for different reasons such as low rent and central location. At the end of the research, it was seen that the number of users who are constantly residing in the area and who can be interviewed within the scope of the study is quite low. In the study, spatial, social, economic and cultural factors were evaluated with the AHP method in order to determine the priorities and preferences of the residential users. At the end of the face-to-face interview, it was determined that the participants mostly gave the answer of Neighbourhood culture and sense of security.

*Sorumlu yazar: slhtascioglu@gmail.com

Geliş Tarihi: 07.12.2021, Kabul Tarihi: 10.02.2022

1. Giriş

İnsanlar çevrenin bir parçası olduğunu hissetmelidir, çünkü çevre bireysel ve toplu olarak sorumlu oldukları bir alandır. Kentsel çevre, insanları kendilerini ifade etmeye, dahil olmaya, ne istediklerine karar vermeye ve buna göre hareket etmeye teşvik eden bir ortam olarak ifade edilebilir [1]. Bu açıdan değerlendirildiğinde kullanıcısının toplumdaki yerini ve statüsünü yansıtan konut, ekonomik, estetik ve fiziksel değerlerle ilişkilidir. Konut, çeşitli kişisel ihtiyaçları içine alan karmaşık, çok boyutlu bir süreçtir [2]. Geleneksel olarak, konutun bazı yönleri, özellikle ekonomik, yapısal, sağlık ve toplum planlama yönleri olmak üzere diğerlerinden daha fazla değerlendirme konusu olmuştur [3]. Sosyoloji, ekonomi, psikoloji, coğrafya, tarih ve mimarlık gibi farklı disiplinlerin ilgi odağında yer almaktadır. Bu durum farklı disiplinlerde gerçekleştirilen çalışmalarda, hem farklı yöntemler kullanılmasına, hem de konunun farklı boyutlarda ele alınmasını sağlamıştır [4].

Günümüzde yaşamımızın her alanına giren teknoloji, küreselleşme, ekonomik gelişmeler, eğitim alanındaki değişimler öncelikle toplumsal yapıyı, buna bağlı olarak da yaşam biçimlerini değiştirmektedir [5]. Tüm dünyada olduğu gibi, ülkemizde de insanların değişen yaşam koşulları sonucunda, yaşadıkları konut ve çevresinden beklentileri değişmektedir. Bu değişim sonucunda konut ve çevresel kalite memnuniyetinin belirleyecek faktörlerin doğrultusunda konut alanlarının planlanması, kullanıcıların yaşam kalitesinin artırılması açısından önemlidir [2]. Konutu oluşturan mekânların organizasyonu, kullanıcısının yaşam biçimi ve tercihlerini doğrultusunda şekillenmektedir. Bu bağlamda yapılan çalışmalarda, konutun kullanım şekli ve mekânsal karakterinin biçimlenmesini sağlayan faktörler ve özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Bu faktörler, aile tipleri, ailenin yaşam sürecinin hangi aşamasında olduğu, aile bireylerinin yaş, cinsiyetleri, ailenin büyüklüğü, ailenin yaşam biçimi, sosyo-ekonomik statüsü, dünya görüşü, sosyokültürel yapısı ve yaşama bakış tarzı olarak ifade edilebilir. Dolayısı ile konut kullanıcı memnuniyetinin belirlenmesinde, kullanıcılara ilişkin kişisel, sosyal, ekonomik, kültürel faktörlerin yanısıra, konutların mekânsal örgütlenişleri ile teknik ve işlevsel performans

düzeylerinin belirlenerek ortaya konulması önem taşımaktadır [6].

Rapoport (1977) algılamının, çevrenin değerlendirilmesini, yani çevresel kalite algısını ve dolayısıyla tercihi, davranışı ve kararları tanımlamak için kullanıldığını ifade etmektedir. Bu durumun “çevresel değerlendirme veya tercih” olarak da tanımlanabileceğini ifade etmektedir.

Literatürde araştırmacıların, kullanıcı tercih ve memnuniyetlerini farklı açılardan değerlendirdikleri görülmektedir. Bazı çalışmalar nesnel nitelikler üzerinden bazıları ise öznel nitelikler üzerinden değerlendirme yapmıştır. Nesnel kişisel özellikler, demografik faktörler kullanıcıların, sosyo-ekonomik geçmişi, yaşam tarzı ve konut kullanıcısının memnuniyetini etkileyecek konut sahipliliği, daha önce yaşanan konut tipi, yaş, Cinsiyet, eğitim durumu, hane halkı geliri, meslek, hane halkı büyüklüğü gibi özellikleri ifade ederken, öznel kişisel değerlendirmeler ise konut kullanıcılarının davranışsal ve psikolojik faktörlerini içermektedir. Kullanıcı memnuniyetini belirleme çalışmalarında genelde odaklanılan konular; temel gereksinimler [1] konut, çevre ve kullanıcı ilişkisi [7,8,9] kullanıcı alışkanlık ve davranışları [10,11] gibi çalışmalar örnek verilebilir. Kullanıcı memnuniyeti ile ilgili [1,2,3,5,6,12,13,15,16] çalışmaları bulunurken, Fried(1982) ise bağlılık ve aidiyet odaklı yaklaşmıştır. Çalışmalar sürdürülebilirlik [9,14] ve kent planlama alanlarında da geliştirilmiştir [17,18]. Bacon et al (2013) ise kentsel yaşam kalitesi ile ilgili çalışmıştır. Çalışma, kentsel yaşam kalitesini çevresel, fiziksel, hareketlilik, sosyal, psikolojik, ekonomik ve politik olmak üzere yedi boyutta sınıflandırmıştır.

Bu bakımdan değerlendirildiğinde kullanıcıların tercihleri ve önceliklerini belirlemek için geliştirilen çalışmalar [4,10,11,19] olarak örneklendirilebilir.

Yapıların koruma önceliğine göre belirlenebilmesi için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), TOPSIS, ARAS gibi yöntemler kullanılmış olup koruma konusunda bir öncelik sıralaması yapmayı hedeflemektedir. Özellikle tarihi bölgelerde tasarım planlaması için kriterlerin belirlenmesi konusunda da farklı çalışmalar yürütülmüştür. Chen *et al.* [30] kentsel koruma sürecindeki en sorunlu faktörleri ortaya çıkarmak için belirli kriterler üzerinden değerlendirme gerçekleştirmiştir. Sonuçta "bulanık çok kriterli karar verme" yönteminin

kentsel koruma projesinin performansını değerlendirmek için etkili bir yöntem olduğu belirlenmiştir. Chen *et al.* [28] ise, tarihi eserlerin planlanması ve tasarımı için değerlendirme faktörlerinin ağırlıklarını AHP yöntemi kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Bu yöntem aynı zamanda mimari mirasın korunması ile ilgili bazı çalışmalarda da kullanılmıştır [20,21,22,23,24].

Bu çalışmada konut kullanıcılarının öncelik ve tercihlerinin belirlenmesi amacıyla mekânsal, sosyal, ekonomik ve kültürel faktörler AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir. Yöntem, grupların ve bireylerin karar verme sürecindeki nicel ve nitel faktörleri birlikte değerlendirmeye imkân vermektedir. AHP ile ikili karşılaştırmalar yapılarak kriterlerin önem dereceleri ve karar alternatiflerinin sıralaması gerçekleştirilebilmektedir. Literatürde bu yöntemle ait pek çok uygulama bulunmakta, ancak kentsel sit alanlardaki kullanıcıların tercih ve önceliklerine ait çalışmalar oldukça kısıtlıdır. Bu bağlamda çalışma ile kullanıcı bakış açısı ve değerlendirmeleri belirlenebilir ve koruma çalışmalarının devamlılığını sağlayabilecek kararlara fayda sağlayabilecektir. Çalışma farklı illerdeki kullanıcıları içerecek şekilde karşılaştırmalı bir değerlendirme şeklinde geliştirilebilir.

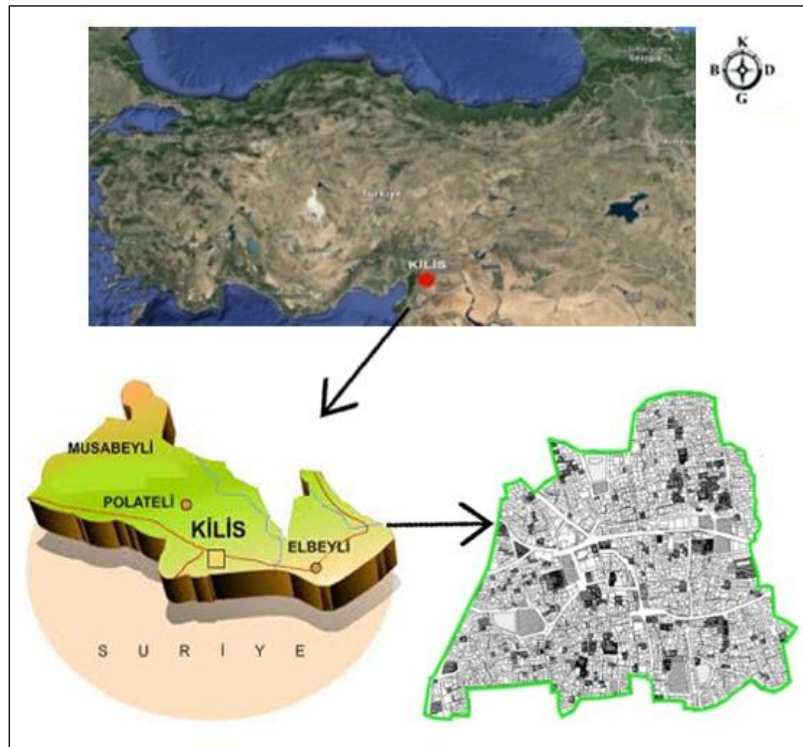
2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışma alanının ana materyalini Kilis Kentsel Sit Alanı oluşturmaktadır. Kilis ili Güneydoğu Anadolu Bölgesi' nde Hatay-Maraş oluğu ile Fırat ırmağı arasında uzanan Gaziantep Platosu'nun güneybatı kısmında yer almaktadır [25]. 36° K enlemi ve 32° D boylamı değerleri arasında bulunan kent, M.Ö. 1700 yıllarında Hitit Devletinin önemli kentlerinden biri olmuştur [26]. İnsanoğlunun yerleşik hayata geçip, toprağı işlemeye başladığı dönemlerden itibaren aralıksız bir şekilde pek çok medeniyet tarafından yerleşim yeri olarak kullanılan kent, çeşitli inanç ve dinlere de ev sahipliği yapmıştır [25].

Alanın belirlenmesinde kentin ilk çekirdek yerleşim bölgesini oluşturması, geleneksel dokuyu yansıtması, merkezi konumu ve tarihi değerinin olması etkili olmuştur. Kentin ilk kurulduğundan itibaren kentsel yerleşme ve yapılaşmanın geliştiği alan konumunda olması sebebiyle, kent kimliğini yansıtan öğelerin merkezi durumundadır.

Çalışmanın alan sınırları Şekil 1'de gösterilmektedir. Haritada da görüldüğü gibi çalışma alanının sınırları Kentsel Sit Alanı olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Çalışma Alanının Coğrafi ve Kentsel Alandaki Konumu

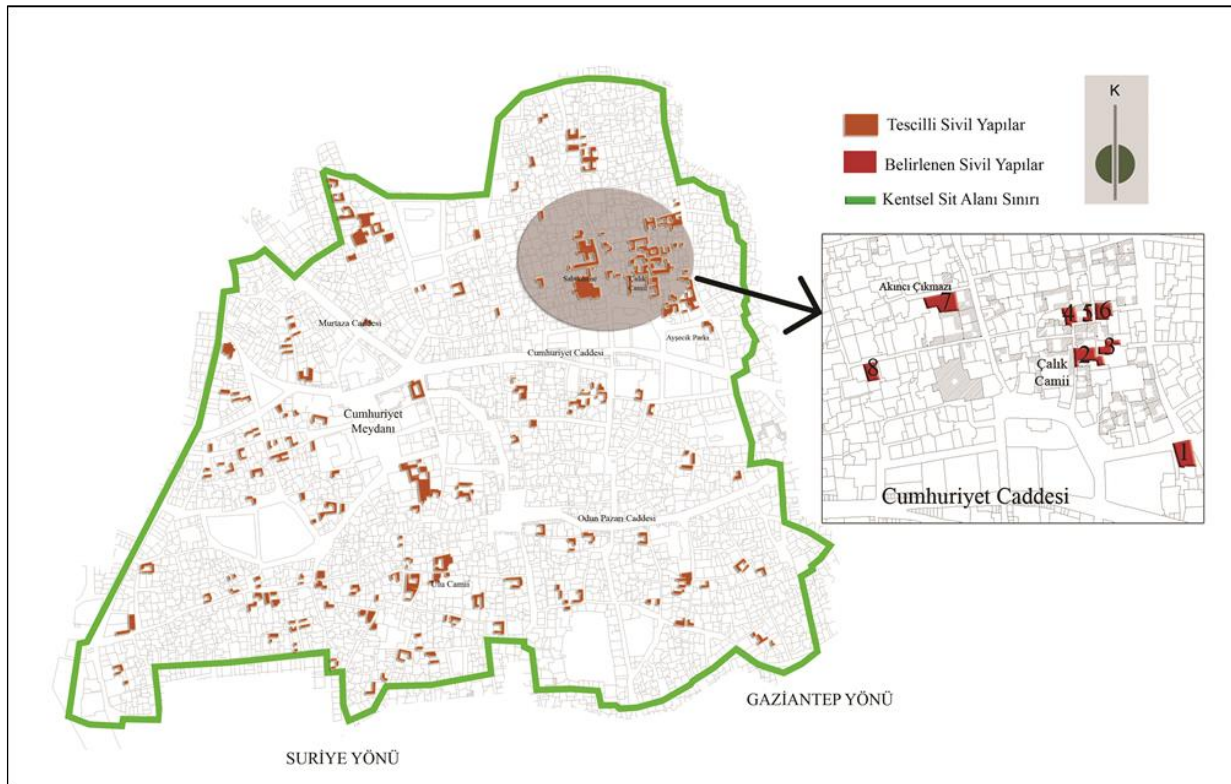
2.2. Metot

2.2.1. Anket Formunun Oluşturulması ve Kullanıcılara Sunulması

Çalışma alanı olarak belirlenen Kilis Kentsel Sit Alanı içerisinde toplam 8 adet Sivil mimarlık örneği belirlenmiştir. Bu yapılar kentin en çok ziyaretçi alan bölgesi ve koruma çalışmalarının yoğun olarak yapıldığı bölge içerisinde yer almaktadır. Oluşturulan anket formları 10 adet konut kullanıcısına sunulmuştur. Çalışma alanında yerleşimcilerinin çoğunluğunun Suriyeli sığınmacılardan oluşması, bazı

konutların sadece belirli dönemlerde kullanılması ve Covid-19 salgını gibi sebeplerle kısıtlılık oluşturmuş olup, sayının azalmasına sebep olmuştur (Şekil 2).

Seçilen 8 adet konut kullanıcısına uygulanan çalışma, katılımcıların yaşamış oldukları konut ve çevresine ait düşüncelerini ve tercihlerini belirlemeye çalışmıştır. Buna yönelik oluşturulan anket formu iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde Yaş, Cinsiyet gibi kullanıcı profiline yönelik sorular yer almakta iken, ikinci bölümde ise katılımcıların konutlarına ait yaklaşımlarını içeren sorular yer almaktadır.



Şekil 2. Belirlenen Sivil Yapı Örneklerinin Kentsel Sit Alanı İçerisindeki Dağılımı

İkinci bölümde kullanıcı tercih ve önceliklerinin belirlenmesine yönelik belirlenen kriterler yer almaktadır. Bu kriterler: Mekânsal ve Yapısal, Çevresel, Sosyal ve Kültürel, Ekonomik Özellikler olmak üzere 4 ana başlıkta toplanmaktadır. Bu kriterler alt kriterlere ayrılmış olup, toplam 18 adettir (Tablo 1). Kriter ve alt kriterler oluşturulurken Gül ve Erbil (2018), Türkoğlu (1997), Chen et al (2020), Abdalla ve ark. (2016), Karahan (2017), Kellekçi ve Berköz (2006), Bacon et al (2013) çalışmalarından yararlanılmıştır. Bu aşama algının fizyolojik sürecini içermekte ve kullanıcıların konuta dair, tercih ve önceliklerin belirlemek ve

kendi içerisinde sıralamaları sağlanmaya çalışılmıştır.

2.2.2. Kullanıcı Araştırmasından Elde Edilen Verilerin Sayısal Analizi

Kullanıcı araştırmasında anket yöntemiyle elde edilen verilerin değerlendirilmesi için AHP yöntemi kullanılmıştır. Her bir kriterin öncelik ağırlığını bulmak ve nihai ağırlığını hesaplamak için analizin temelidir. En iyi durum, en büyük nihai ağırlığa sahip olduğunda ortaya çıkmaktadır. Bu yöntemde göre her bir kriter ve alt kriter kendi içerisinde ikili karşılaştırmaya tabii tutulmuştur.

Bu değerlendirme Saaty (1977) tarafından geliştirilen ikili karşılaştırma ölçeğini içermektedir. Formül 1 kullanılarak matris oluşturulur. Örneğin $K_{21}=3$ ise $K_{12}=1/3$ 'tür.

İkili karşılaştırma matrisi, hangi öğenin tercih edildiğine karar vermek için her bir kriterdeki öğeleri diğer kriterlerle çiftler halinde karşılaştırmaktadır. Bu nedenle, her bir çiftin puanlarını karşılaştırmak için bir anket

tasarlanmıştır. Karşılaştırılacak her iki kriter için puan ölçeği 1'den 9'a kadardır. Ankette puan 1 "Eşit önemli" olarak tanımlanmıştır, bu da iki unsurun aynı önem seviyesinde olduğu anlamına gelmektedir. Puan 3 "Orta derecede önemli", puan 5 "Kuvvetli derecede önemli", puan 7 "Çok kuvvetli derecede önemli", puan 9 "Kesin önemli" olarak tanımlanmaktadır (Tablo 2).

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & 1/a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Tablo 1. Belirlenen değerlendirme kriterleri

		[2]	[8]	[10]	[11]	[19]	[27]	[28]	
Değerlendirme kriterleri	A. Mekânsal ve Yapısal Özellikler	A1. Yeşil alan, havuz, çeşme varlığı	+						
		A2. Yapı büyüklüğü	+		+				
		A3. İklim kontrolü (Havalanma, gün ışığı, yalıtım)	+		+			+	
		A4. Bireysel kullanım/Bağımsızlık	+					+	
		A5. Alçak kat /Düşük deprem ve doğal afet riski				+			
		A6. Kaliteli malzeme ve işçilik				+			
	B. Çevresel Özellikler	B1. Merkezi konum/sosyal ve kamu hizmet erişimi			+		+	+	+
		B2. Kent içi açık ve yeşil alan varlığı	+				+	+	
		B3. Yapısal olarak ferahlık ve açıklık hissi						+	
		B4. Sessizlik. Sakinlik, düşük gürültü oranı					+		
		B5. Güvenlik	+	+			+	+	
	C. Sosyal ve Kültürel Özellikler	C1. Geçmişle bağ / miras değeri	+		+			+	
		C2. Bireysel ilgi ve aidiyet duygusu	+	+	+	+			
		C3. Mahalle kültürü ve güvenlik hissi		+					
		C4. Yerel kültür/Komşu akraba/Yerlilik	+		+	+			
	D. Ekonomik Özellikler	D1. Ev sahibi olup olmaması	+		+			+	
		D2. Maddi koşul ve gereklilikler (Düşük kira)	+		+	+	+		
		D3. Isınma maliyeti ve giderlerin düşüklüğü			+	+			

Toplam 10 adet ankete bağlı olarak elde edilen ana kriter ve alt kriterlere ait matrisler, tek bir matris haline getirilir. Bu elde edilen değerlerin geometrik ortalaması ile elde edilmektedir. Bir sonraki adım olarak formül 2 ile matris normalize edilir. Normalize işlemi

matristeki her elemanın kendi sütun toplamına bölünmesiyle yapılır. Normalize bir matriste her sütunun toplamı 1'e eşittir. Formül 3 ile normalize edilmiş matrisin her bir satırının ortalaması alınarak öncelik değeri oluşturulur.

Tablo 2. Önem düzeyi değerleri (Saaty,1977)

Önem düzeyi değerleri	
1 Eşit önemli	
3 Orta derecede önemli	
5 Kuvvetli derecede önemli	2,4,6,8 Ara değerler
7 Çok kuvvetli derecede önemli	
9 Kesin önemli	

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & \dots & 1/a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \dots & W_2/W_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & W_n/W_n \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$a_{ij} = W_i/W_j, a_{ji} = 1/a_{ij}, W = [W_1, W_2, \dots, W_n]^T = \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

Tutarlılık testi: Öncelik değerlerinin bulunmasından sonra, karşılaştırma matrislerinin tutarlılığı hesaplanır. İkili karşılaştırma matrisindeki değerler uzmanların öznel yargılarına bağlı olduğundan, birçok etkileyen faktör vardır. Bu nedenle, bu değerlerin tutarlılığını test etmemiz ve ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı

olup olmadığını kontrol etmemiz gerekir. Matrisin tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. Tutarlılık oranı 0,10'dan küçük olması durumunda matris tutarlı kabul edilir Tutarlılık şu şekilde elde edilir: Temel değer olarak ifade edilen (λ_{max}) değerini bulabilmek için formül 4 kullanılır.

$$\begin{bmatrix} W_1/W_1 & W_1/W_2 & \dots & W_1/W_n \\ W_2/W_1 & W_2/W_2 & \dots & W_2/W_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_n/W_1 & W_n/W_2 & \dots & W_n/W_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_1 \\ W_2 \\ \dots \\ W_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_1' \\ W_2' \\ \dots \\ W_n' \end{bmatrix} \quad (4)$$

7 nolu formülde CI ile simgelenen tutarlılık göstergesi yine aşağıda gösterilen 6 nolu formül ile hesaplanmaktadır. CI hesaplarken formülde yer alan maksimum özdeğer (λ_{max}) ise yine 5 nolu diğer bir formül yardımıyla hesaplanmaktadır. Sonraki aşamada ise belirlenen

λ_{max} değerleri kullanılarak CI değeri ve son aşamada ise CR (tutarlılık oranı) hesaplanmıştır. Saaty CR <0.10 olması durumunda sonuçların tutarlı olduğunu ifade etmektedir

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \left(\frac{W_1'}{W_1} + \frac{W_2'}{W_2} + \dots + \frac{W_n'}{W_n} \right) \quad (5)$$

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

$$CR \text{ (Consistency Ratio)} = \frac{CI \text{ (Consistency Index)}}{RI \text{ (Random Index)}} \quad (7)$$

CI (Consistency Index) Tutarlılık İndeksi, CR (Consistency Ratio) Tutarlılık Oranı, RI (Random Index) Rassallık İndeksi olarak ifade

edilmektedir. RI toplam değerlendirme sayısına göre farklı değerler almakta ve bu değerler Tablo 3'de görülmektedir.

Tablo 3. λ_{max} değerlerinin hesaplanması RI (Random Index) Rassallık İndeksi değerleri

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R.I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45

3. Bulgular ve Tartışma

Anket çalışmasının ilk bölümünde katılımcılara yöneltilen sorularda %50'sinin erkek,%50'sinin bayan, olduğu, en yoğun katılım yaşı 35-45(%30) ve 55 ve üstü (%30) iken, en düşük katılım ise %10 oranı ile 18-25 yaş aralığıdır. Eğitim düzeyi olarak incelendiğinde katılımcıların %30'u Yüksekokul ve Fakülte mezunu iken, %40'ı Lise ve %30'u İlkokul mezunu olduğu belirlenmiştir. Katılımcıların %70'inin konut sahibi iken %30'unun ise kiracı olduğu belirlenmiştir.

Çalışma katılımcılardan alınan yanıtlar doğrultusunda karşılaştırma matrisi oluşturulmuştur (Tablo 4). Bu matrisin köşegeni üzerindeki matris bileşenleri 1 değerini alır.

Kriterlerin karşılaştırması birbirlerine göre sahip oldukları önem derecesine göre yapılmıştır.

Toplam 10 adet anket verisi bu şekilde martise dönüştürülmüştür. A.B.C ve D ana ve alt kriterlerinin her biri için elde edilen veriler, geometrik ortalama alınarak tek bir matrise dönüştürülmüştür. Böylece ana kriter ve alt kriterlere ait toplam 5 matris elde edilmiştir. Ardından matrislerin her biri kendi içinde değerlendirilmiş ve matristeki her bir değer, ait olduğu sütunun toplamına bölünmüştür Elde edilen değerler satır bazında toplanmış ve ortalaması alınmıştır. Elde edilen veriler öncelik değerlerini ifade etmektedir (Tablo 5, 6,7,8,9).

Tablo 4. Numaralı Anket için Değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırma matrisi

	A1	A2	A3	A4	A5	A6
Anket no:1	A1	1	5	1/5	1/9	1/7
A2	1/5	1	1/5	1/7	1/5	1/7
A3	5	5	1	1/7	1/7	1/7
A4	9	7	7	1	7	1/7
A5	7	5	7	1/7	1	1/9
A6	9	7	7	7	9	1

Tablo 5. A.B.C ve D ana kriterlerinin değerleri

	A	B	C	D	Öncelik değeri	λ_{max}
A	1	5.573	1.510	1.736	0.438	
B	0.177	1	0.853	0.634	0.127	4.131
C	0.657	1.157	1	0.581	0.185	
D	0.566	1.551	1.700	1	0.247	
Toplam	2.401	9.282	5.063	3.952		

$CI = \frac{4.131-4}{3} = 0.043$ şeklindedir. Buna göre $CR = \frac{0.043}{0.9} = 0.048$ olarak belirlenmiştir. $CR < 0.10$ olması durumunda ana kriterlere ait sonuçların tutarlı olduğu söylenebilir.

Tablo 6. A alt kriterlerinin değerleri

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	Öncelik değeri	λ_{max}
A1	1	1.600	0.334	0.132	0.456	0.311	0.067	
A2	0.585	1	1.458	0.356	0.242	0.176	0.066	
A3	3.057	0.680	1	0.372	0.287	0.205	0.085	6.502
A4	7.504	4.082	2.634	1	1.111	0.963	0.275	
A5	2.177	4.073	3.445	0.890	1	1.168	0.234	
A6	3.182	5.588	5.120	1.028	0.850	1	0.270	
Toplam	17.50	17.024	13.993	3.780	3.948	3.825		

$CI = \frac{6.502-6}{5} = 0.100$ şeklindedir. Buna göre $CR = \frac{0.100}{1.24} = 0.081$ olarak belirlenmiştir. $CR < 0.10$ olduğu için sonuçlar tutarlıdır.

Tablo 7. B alt kriterlerinin değerleri

	B1	B2	B3	B4	B5	Öncelik değeri	λ_{max}
B1	1	2.427	0.367	0.324	0.255	0.103	
B2	0.408	1	0.519	0.282	0.221	0.072	
B3	2.699	1.899	1	1.650	0.380	0.207	5.227
B4	3.017	3.273	0.600	1	0.435	0.200	
B5	3.875	4.476	2.599	2.593	1	0.416	
Toplam	11.001	13.077	5.086	5.850	2.293		

$CI = \frac{5.227-5}{4} = 0.056$ şeklindedir. Buna göre $CR = \frac{0.056}{1.11} = 0.051$ olarak belirlenmiştir. $CR < 0.10$ olduğundan sonuçlar tutarlıdır.

Tablo 8. C alt kriterlerinin değerleri

	C1	C2	C3	C4	Öncelik değeri	λ_{max}
C1	1	0.861	1.390	1.071	0.270	
C2	1.134	1	0.546	0.564	0.196	
C3	0.710	1.814	1	1.443	0.293	4.058
C4	0.921	1.404	0.685	1	0.238	
Toplam	3.767	5.080	3.623	4.078		

$CI = \frac{4.058-4}{3} = 0.019$ şeklindedir. Buna göre $CR = \frac{0.019}{0.9} = 0.021$ olarak belirlenmiştir. $CR < 0.10$ olduğu için sonuçlar tutarlıdır.

Tablo 9. D alt kriterlerinin değerleri

	D1	D2	D3	Öncelik değeri	λ_{max}
D1	1	2.485	0.732	0.387708	
D2	0.398	1	0.607	0.19997	3.047
D3	1.345	1.634	1	0.412322	
Toplam	2.743	5.119	2.339		

$CI = \frac{3.047-3}{2} = 0.023$ şeklindedir. Buna göre $CR = \frac{0.023}{0.52} = 0.045$ olarak belirlenmiştir. $CR < 0.10$ olduğu için sonuçlar tutarlıdır. Çalışma kapsamında belirlenen öncelik değerleri tutarlı olduğu için değerlendirmeye alınabilir. Tüm değerlerin dağılımı Tablo 10'da görülebilmektedir.

A kriteri (Mekânsal ve Yapısal Özellikler) altında irdelenen alt kriterlerin değerleri $A4 > A6 > A5 > A3 > A1 > A2$ şeklinde belirlenmiştir. Buna göre kriterlerin sıralaması Bireysel kullanım/Bağımsızlık>Kaliteli malzeme ve işçilik>Alçak kat /Düşük deprem ve doğal afet riski >İklim kontrolü (Havalanma, gün ışığı, yalıtım)>Yeşil alan, Havuz, çeşme varlığı>Yapı büyüklüğü şeklindedir (Tablo 6). Bu durum bağımsız kullanım ve işçilik kalitesinin önemini göstermektedir. Özellikle taş malzemenin kullanımı yapının sağlamlığı açısından önemli olduğu gibi, iklimsel anlamda da önemlidir.

B kriterlerinin (Çevresel Özellikler) kendi içerisindeki sıralaması ise $B5 > B3 > B4 > B1 > B2$ şeklinde olup. Güvenlik>Yapısal olarak ferahlık ve açıklık hissi>Sessizlik, sakinlik, düşük gürültü oranı>Merkezi konum/Sosyal ve Kamu hizmet erişimi>Kent içi açık ve yeşil alan varlığı şeklindedir (Tablo 7). Kullanıcılar açısından güvenlik oldukça önemlidir.

C kriterlerinin (Sosyal Özellikler) sıralaması $C3 > C1 > C4 > C2$ şeklinde olup, Mahalle kültürü ve güvenlik hissi > Geçmişle bağ / miras değeri> Yerel kültür/Komşu akraba/Yerlilik>Bireysel ilgi ve aidiyet duygusu olarak belirlenmiştir (Tablo 8). Kullanıcıların %70'inin konut sahibi olması, Mahalle kültürü ve güvenlik hissi yanıtının bu kadar fazla olmasının sebebi şeklinde yorumlanabilir. D kriterleri (Ekonomik Özellikler) ise $D3 > D1 > D2$ şeklinde sıralanmaktadır. Buna göre sıralama Isınma maliyeti ve giderlerin düşüklüğü > Ev sahibi olup olmaması > Maddi koşul ve gereklilikler (Düşük kira) olarak belirlenmiştir (Tablo 9).Sonuçlar modern konut alanlarında yüksek yakıt, kira ve konut giderleri ücretlerin fazla olması şeklinde açıklanabilir.

Bir önceki aşamada belirlenen değerlerin yanısıra bu aşamada ana kriterler ayrı olarak değerlendirilmiş olup. A,B,C ve D ana kriterleri kendi içerisinde değerlendirilmiştir. Alınan 10

farklı yanıt ortalaması alınarak değerler belirlenmiştir. Yukarıdaki sonuca göre, 4 kriter arasında Mekânsal ve Yapısal Özellikler ağırlık değeri (A, 0.438) en büyüğüdür, bunu Ekonomik Özellikler (D, 0.247), Sosyal ve Kültürel Özellikler (C, 0.185) ve Çevresel Özellikler (B, 0.127) izlemektedir (Tablo 10). Bu 4 kriter incelendiğinde Çevresel özelliklerin en düşük değere sahip olması, yapısal, ekonomik, sosyal ve kültürel özelliklerin daha öncelikli olduğunu göstermektedir.

Belirlenen ana ve alt kriterler bir sonraki aşamada birlikte değerlendirilmiş ve sonuç değerler belirlenmiştir Buna göre kapsamlı ağırlık değerleri incelendiğinde A kriterinde en yüksek değer 0.120 ile A4 (Bireysel kullanım/Bağımsızlık), B kriterinde 0.053 ile B5 (Güvenlik), C kriterinde 0.054 ile C3 (Mahalle kültürü ve güvenlik hissi), D kriterinde ise 0.102 ile D3 (Isınma maliyeti ve giderlerin düşüklüğü) en yüksek değerlere sahiptir (Tablo 10).

Tablo 10. Kriter ağırlık değerleri ve kapsamlı ağırlık değerleri

		Kriter		Alt Kriter		Kapsamlı	
		Ağırlığı	Alt Kriter	Ağırlığı		ağırlık	
MEKÂNSAL ÖZELLİKLER	A	0.438	A1	0.067		0.029	
			A2	0.066		0.029	
			A3	0.085		0.037	
			A4	0.275		0.120	
			A5	0.234		0.102	
			A6	0.270		0.118	
ÇEVRESEL ÖZELLİKLER	B	0.127	B1	0.103		0.013	
			B2	0.072		0.009	
			B3	0.207		0.026	
			B4	0.200		0.025	
			B5	0.416		0.053	
SOSYAL ÖZELLİKLER	C	0.185	C1	0.270		0.050	
			C2	0.196		0.036	
			C3	0.293		0.054	
			C4	0.238		0.0443	
EKONOMİK ÖZELLİKLER	D	0.247	D1	0.387		0.096	
			D2	0.199		0.049	
			D3	0.412		0.102	

Çalışmada toplam 18 alt kriterin ağırlıklandırılmış değerleri sıralandığında ise; A4,A6,A5,D3,D1 Bireysel kullanım/Bağımsızlık>Kaliteli malzeme ve işçilik>Alçak kat /Düşük deprem ve doğal afet riski>Isınma maliyeti ve giderlerin düşüklüğü>Ev sahibi olup olmaması şeklindedir. En düşük değerler ise B1(Merkezi konum/sosyal ve kamu hizmet erişimi) ve B2 (Kent içi açık ve yeşil alan varlığı) olarak belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları incelendiğinde önceki çalışma sonuçları uyumlu olduğu görülmektedir.

Fried [13] Residential Attachment: Sources of Residential and Community Satisfaction isimli çalışmasında yerleşim tatmininin ve mahalleye bağlanmanın büyük ölçüde fiziksel çevrenin özelliklerine dayandığını, sosyal çevredeki ilişkilere daha az bağlı olduğunu belirtmektedir. Gür ve Erbil [11] araştırmasında ekonomik nedenlerle bir zorunluluk sonucunda veya aile ve akrabalarla aynı mahallelerde yaşamak amacıyla tercih edildiğini ortaya koymaktadır. Amerigo ve Aragones [7] konut memnuniyetine dair çalışmasına konutun nesnel ve öznel özelliklerin

birbiriyle ilişki içerisinde olduğu ve konut memnuniyetini dolayısıyla yaşam memnuniyetlerini etkilediği belirlenmiştir. Türkoğlu [27] çalışmasında konutun büyüklüğü ve fiziksel koşulları en büyük memnuniyet etkeni olarak tespit edilmiştir. Güremen [6] kullanıcıların tercih ve memnuniyetlerini, konutlarının mücavir alan sınırları içerisinde olması, sakin, açık yeşil alan zenginliği ve sunduğu manzara, yaşam standardı, altyapı olanakları, konut mekânlarının baktığı yön, ulaşım kolaylık sağlayan toplu ulaşım olanakları ve iyi komşuluk ilişkileri olduğunu belirlemiştir. Türkoğlu [27] konuya algı odaklı yaklaşmıştır. Değerlendirme sonucunda konutun büyüklüğü ve fiziksel koşulları en büyük memnuniyet etkeni olarak tespit edilmiştir. Karahan ve Özüekren [4] Konut çalışmalarının, sosyal, ekonomik, politik, demografik bağlamda birbirleri ile etkileşim içinde olduğunu, bu nedenle mevcut çalışmalarda daha bütünlük ve disiplinler arası bir yaklaşıma ihtiyaç duyulduğunu belirtmektedir. Chen *et al.* [30] (1) yönetim politikası ve düzenlemesi, (2) halkın katılımı ve bilgi açıklığı ve (3) geleneksel kültür koruma projedeki en sorunlu konular olarak belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Çalışma konut kullanıcılarının öncelik ve tercihlerini belirlemeyi amaçlamıştır. Elde edilen sonuçlar konut mekânsal özelliklerinin daha öncelikli olduğunu gösterirken, Bireysel kullanım ile kaliteli malzeme ve işçiliğin de konut tercihindeki önemini göstermiştir. Çevresel özelliklerde Güvenlik, Sosyal Özelliklerde, Mahalle kültürü ve güvenlik hissi, Ekonomik özelliklerde ise, Isınma maliyeti ve giderlerin düşüklüğü en yüksek değere sahiptir.

Kapsamlı ağırlıklandırılan kriterlerde ise Mahalle kültürü ve güvenlik hissini kullanıcılar üzerinde en etkili kriter iken Kent içi açık ve yeşil alan varlığı en az etkili kriter olarak belirlenmiştir. Bu durum kullanıcıların mahalleye aidiyet hissederek güvende hissettikleri ancak, yeşil alan önceliği ve isteğinin de düşük olduğu şeklinde

yorumlanabilir. Bulgular kullanıcıların yaşadıkları konut ve mahalleye dair bir bağ oluşturduklarını, kendilerini güvende hissettiklerini göstermektedir.

Konut, yapısı ve çevresi ile sosyal bir sorun olarak ifade edilebilir. Ekonomik, sosyal ve politik amaçlarla inşa edilen toplu konut alanları, planlı kentsel gelişimler, ülke ölçeğinde toplu göç ile tek bir yerde birikimi önlemek, dengeli bir nüfus dağılımı sağlamak, bölgeler arası istikrarsızlık ve yıkımları engellemek için önemli uygulamalardır. Toplu konut alanlarının, konut ve çevre kalitesinde maksimum kullanıcı memnuniyeti sağlayan ve şehrin diğer işlevsel alanlarına ve sosyo-teknik altyapısına güçlü bir şekilde bağlı sosyal ve teknik tesisler içeriyorsa, doğru kentleşmeye katkıda bulunacağı unutulmamalıdır [29].

Günümüzde kentlerde yaşayan nüfusun gittikçe artma eğiliminde olduğu düşünülürse, bu durumun, sürdürülebilir bir altyapı oluşturmayı gerektirdiği açıktır. Özellikle korunan alanlardaki konut kullanıcılarının sürdürülebilir bir koruma anlayışı içerisinde korumaya katkı sağlaması önemlidir. Kendisini bulunduğu konut ve çevreye ait hisseden kullanıcıların, bu alanları gelecek kuşaklara aktaracak bilinç ve yaklaşımda olması oldukça önemlidir. Bu nedenle araştırmada oluşturulan konut kullanıcısı konut ve çevresel kalite memnuniyeti ile ilgili kavramsal model, gelecekte konut ve çevresel kalite memnuniyeti konusunda çalışmalara örnek oluşturabilir ve geliştirilebilir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- [1] A. Jacobs, D. Appleyard, "Toward an urban design manifesto", *Journal of the American Planning Association*, vol.53, pp.112-120, 1987.
- [2] Ö.L. Kellekci, L. Berköz, "Konut ve çevresel kalite memnuniyetini yükselten faktörler", *İTÜ DERGİSİ/A Mimarlık, Planlama, Tasarım*, vol. 5, pp.167-178, September 2006.
- [3] S. Weidemann, J. R. Anderson, "A conceptual framework for residential satisfaction", In *Home environments* (pp. 153-182), Springer. Boston MA, 1985.
- [4] E.Karahan, A. Ş. Özüekren, "Konut kariyerini etkileyen faktörler üzerine nitel bir araştırma yöntemi", *İTÜ DERGİSİ/A*, vol. 8, pp. 69-76, September 2009.
- [5] L. Güremen, "Konut ve yerleşim alanı kullanıcı algısının memnuniyet ve tercih davranışına etkisi üzerine bir araştırmada Amasya örneği", *Technological Applied Sciences*, vol.11, pp. 24-64, April 2016.
- [6] L. Güremen, "Müstakil Villa Tipi Konutların Kullanıcı Memnuniyetini Belirleyen Özellikleri: Niğde Kenti Özelinde Bir Araştırma", *E-Journal of New World Sciences Academy*, vol. 6, pp. 712-732, Article Number: 1A0190, ISSN:1306-3111, 2011.
- [7] M. Amérgo, J. I. Aragones, "A theoretical and methodological approach to the study of residential satisfaction", *Journal of environmental psychology*, vol.17, pp. 47-57, March 1997.
- [8] N. Bacon, D. Cochrane, S. Woodcraf, "Creating strong communities how to measure the social sustainability of new housing developments", *Town and Country Planning Association*, vol. 82, pp. 473-480, 2013.
- [9] N. Dempsey, G. Bramley, S. Power, C. Brown, "The social dimension of sustainable development: Defining urban social sustainability", *Sustainable Development*, vol. 19, pp. 289-300, September 2011.
- [10] E. E. Karahan, "Geleneksel ve günümüz konutunda sürdürülebilirlik ve yaşam alışkanlıkları: Osmaneli örneği", *MEGARON*, vol. 12, pp. 497-510, July 2017.
- [11] Ö. Ü. M. Gür, Y. Erbil, "Konut ve Konut Çevresine İlişkin Kullanıcı Memnuniyeti Araştırması: Bursa/Yıldırım User Satisfaction of Housing and Residential Environment: Bursa/Yıldırım", *Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, vol. 5, pp. 4135-4148, December 2018.
- [12] L. Berköz, "İstanbul'da korunaklı tek-aile konutları: Konut kalitesi ve kullanıcı memnuniyetinin belirlenmesi", *İTÜ DERGİSİ/a*, vol. 7, pp. 110-124, March 2009.
- [13] M. Fried, "Residential attachment: Sources of residential and community satisfaction", *Journal of social issues*, vol. 38, pp. 107-119, 1982.
- [14] T. Davoodi, U. U. Dağlı, "Exploring the determinants of residential satisfaction in historic urban quarters: Towards sustainability of the Walled City Famagusta North Cyprus", *Sustainability*, vol. 11, pp. 6261, November 2019.
- [15] M. Elsinga, J. Hoekstra, "Homeownership and housing satisfaction", *Journal of housing and the built environment*, vol. 20, pp. 401-424, November 2005.
- [16] R. W. Marans, K. F. Spreckelmeyer, "Evaluating built environments: A behavioral approach". 1981. <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/99211>
- [17] T. L. Saaty, M. Sagir, "Global awareness, future city design and decision making", *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, vol. 21, pp. 337-355, September 2012.
- [18] H. S. El Din, A. Shalaby, H. E. Farouh, S. A. Elariane, "Principles of urban quality of life for a neighborhood", *Hbrc Journal*, vol. 9, pp. 86-92, April 2013.
- [19] S. S. Abdalla, S. A. Elariane, S. H. El Defrawi, "Decision-making tool for participatory urban planning and development: Residents' preferences of their built environment", *Journal of Urban Planning and Development*, vol 142, p. 04015011, March 2016.
- [20] B. Vodopivec, R. Žarnić, J. Tamošaitienė, M. Lazauskas, J. Šelih, "Renovation priority ranking by multi-criteria assessment of architectural heritage: the case of castles", *International journal of strategic property management*, vol. 18, pp. 88-100, March 2014.
- [21] P. Fiore, E. Sicignano, G. Donnarumma, "An AHP-Based Methodology for the Evaluation and Choice of Integrated Interventions on Historic Buildings", *Sustainability*, vol.12, p.5795, July 2020.

- [22] V. Kutut, E. K. Zavadskas, M. Lazauskas, "Assessment of priority alternatives for preservation of historic buildings using model based on ARAS and AHP methods", *Archives of civil and mechanical engineering*, vol. 14, pp.287-294, December 2014.
- [23] V. Kutut, E. K. Zavadskas, M. Lazauskas, "Assessment of priority options for preservation of historic city centre buildings using MCDM (ARAS) ", *Procedia Engineering*, vol.57, pp.657-661, 2013.
- [24] Y. Wang, J. Li, G. Zhang, Y. Li, M. H. Asare, "Fuzzy evaluation of comprehensive benefit in urban renewal based on the perspective of core stakeholders", *Habitat International*, vol.66, pp. 163-170,2017.
- [25] Kilis Kültür ve Turizm Müdürlüğü, "Kilis Gezi Rehberi", Ofset Matbaa,2014.
- [26] Kilis Belediyesi, <http://www.kilis.bel.tr/index.php/2019/04/16/cografi-yapi/> (Erişim tarihi:02.06.2021), 2021.
- [27] H. D. Türkoğlu, "Residents' satisfaction of housing environments: the case of Istanbul, Turkey", *Landscape and urban planning*, vol. 39, pp. 55-67, 1997.
- [28] M., Chen, Q. Ren, Y. Li, W. L. Hsu, "Analytic Hierarchy Process to Establish Criteria for Design Planning of Historical Sites", *In 2020 IEEE 2nd Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability (ECBIOS)* (pp. 186-189), IEEE,2020.
- [29] L. Berköz, Ş. Ş. Turk, Ö. L. Kellekci, "Environmental quality and user satisfaction in mass housing areas: the case of Istanbul “ *European Planning Studies*, vol. 17, pp.161-174, December 2009.
- [30] Y. Chen, S. Yoo, J. Hwang, "Fuzzy multiple criteria decision-making assessment of urban conservation in historic districts: Case study of Wenming Historic Block in Kunming City", China. *Journal of Urban Planning and Development*, vol. 143, p.05016008, 2017.
- [31] A. Rapaport, "Human aspects of urban form", New York, Pergamar Press, 1977.



Düzeltilme: Yanma Odası Elemanları Bor Kaplı Bir Dizel Motorun Cr₃C₂ Kaplı Egzoz Borusu Üzerine Etkisi

Yeni başlık: Yanma Odası Elemanları Kaplanmış Bir Dizel Motorun Cr₃C₂ Kaplı Egzoz Borusu Üzerine Etkisi

Serhat ŞAP^{1*}, Hanbey HAZAR², Emine ŞAP¹

¹Bingöl Üniversitesi, Teknik Bilimler M.Y.O., Bingöl, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elazığ, Türkiye

(ORCID: [0000-0001-5177-4952](https://orcid.org/0000-0001-5177-4952)) (ORCID: [0000-0001-7699-0088](https://orcid.org/0000-0001-7699-0088)) (ORCID: [0000-0002-7739-0655](https://orcid.org/0000-0002-7739-0655))



Anahtar Kelimeler:

Plazma sprey kaplama,
Krom karbür, Dizel motor

Öz

BEÜ Fen Bilimleri Dergisinde yayınlanan (8 (1), 98-108, 2019) makalemizde sehven yapılan hatalardan dolayı düzeltmeler yapılması gerekmektedir. Yapılan düzeltmeler sayfa numarası belirtilerek yapılmıştır. Özet kısmı son cümlesi “ Bu çalışmada yanma odası elemanları kaplanmış bir dizel motorun, içi ve dışı krom karbür kaplı bir egzoz borusu üzerindeki etkisi araştırılmıştır” olarak değiştirilmiştir. Anahtar kelimeler kısmında “bor” kelimesi yerine “Plazma sprey kaplama” eklenmiştir.

Correction to: Effect of Combustion Chamber Elements on the Cr₃C₂ Coated Exhaust Pipe of a Boron-Coated Diesel Engine

New title: The Effect of a Coated Diesel Engine on Combustion Chamber Elements on Exhaust Pipe with Cr₃C₂ Coating

Keywords: Plazma spray coating, Chrome carbide, Diesel engine

Abstract

In our article published in BEU Journal of Science (8 (1), 98-108, 2019), corrections are required due to inaccurate errors. The corrections were made by specifying the page number. The last sentence of the summary part has been changed as “In this study, the effect of a diesel engine with coated combustion chamber elements on an exhaust pipe covered with chrome carbide inside and outside was investigated”. In the keywords section, "Plasma spray coating" has been added instead of the word "boron".

*Sorumlu yazar: ssap@bingol.edu.tr

Geliş Tarihi: 15.11.2021, Kabul Tarihi: 04.01.2022

1. Giriş

Sayfa 99, ikinci paragraf “Bu çalışmada krom karbür kaplanmış egzoz borularının kaplanmış bir dizel motor üzerindeki egzoz emisyon etkileri araştırılmıştır. Egzoz borularının iç ve dış kısımları plazma sprey yöntemi ile kaplanarak NO_x (Azotoksit), CO (Karbonmonoksit), CO₂(Karbondioksit), HC (Hidrokarbon), duman yoğunluğu ve EGS (Egzoz Gaz Sıcaklığı) deneyleri yapılmıştır. Kaplanmış borulardan elde edilen sonuçlar ile, kaplanmamış borulardan elde edilen sonuçlar mukayese edilerek tartışılmıştır” olarak değiştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Sayfa 99, üçüncü paragraf “Plazma sprey yöntemiyle parçaların kaplama yapılacak olan yüzeylerinde bir ya da iki kaplama tabakası oluşturulmaktadır. Birinci tabaka bond (bağ) tabaka olarak adlandırılıp görevi hem altlık yüzeye hem de kendinden sonra gelecek olan asıl kaplama tabakasına yapışma mukavemetini ve oksidasyon direncini artırmaktır. İkinci tabaka ise istenilen amaç doğrultusunda seçilen toz içeriğiyle bond (bağ) tabaka üzerine uygulanmaktadır veya bond malzeme kullanılmaksızın malzeme yüzeye direkt uygulanmaktadır. Deneysel olarak yapılan bu çalışmada boyları 2’şer metre olan 3 adet egzoz borusu deney numuneleri olarak kullanılmıştır. Birinci standart egzoz borusuna (SB) herhangi bir kaplama işlemi yapılmamıştır. İkinci dışı kaplı boruda (DKB) ise sadece dış kısımlar ortalama 100 mikron kalınlığında krom karbür (Cr₃C₂) kaplanarak ikinci deney numunesi hazırlanmıştır. Daha sonra içi dışı kaplı egzoz borusunun (İDKB) hem iç hem de dış kısımları ortalama 100 mikron kalınlıkta krom karbür malzeme ile kaplanarak üçüncü deney numunesi elde edilmiştir. Kaplama işlemleri, seramik kaplama işlemleri yapan özel bir firmaya yaptırılmıştır. Egzoz borularının kaplama üretim parametreleri Tablo 1’de görülmektedir. Kaplanmış egzoz boruları kaplanmış bir dizel motor üzerine monte edilerek kaplanmış egzoz borularının kaplanmış motor üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Tek silindir 6LD 400 Lombardini marka dizel motor deney motoru olarak kullanılmıştır. Kullanılan dizel motorun teknik özellikleri Tablo 2’de görülmektedir” olarak değiştirilmiştir.

Sayfa 100, son paragraf “Deney motoru olarak kaplanmış bir dizel motor kullanılmıştır ve egzoz emisyon deneyleri için, gerçek çalışma şartlarında çalıştırılmıştır” olarak değiştirilmiştir.

3.1.1 NO_x Emisyonu

Sayfa 101, son paragrafın ilk cümlesi “SEB’ daki azotoksit gazı değerine nazaran yaklaşık % 6.93 daha fazla olduğu tespit edilmiştir” olarak değiştirilmiştir.

2.1.1. CO Emisyonu

Sayfa 102, son paragrafın ilk cümlesi “Uygulanan deneyler neticesinde kaplanmış tüm boruların SEB’ ya nazaran karbonmonoksit gazı değeri yaklaşık % 5.86 daha düşük çıkmıştır” olarak değiştirilmiştir.

2.1.2. CO₂ Emisyonu

Sayfa 103, 4. paragraf ilk cümle “Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış tüm boruların SEB’ya göre CO₂ emisyon değerinde ortalama % 9.53’lük bir azalma tespit edilmiştir” olarak değiştirilmiştir.

2.1.3. HC Emisyonu

Sayfa 104, ilk paragraf ilk cümle “Deney neticesinde kaplı tüm boruların SEB’ ya göre hidrokarbon gazı değerinde yaklaşık % 5.60’lık bir düşüş görülmektedir” olarak değiştirilmiştir.

2.1.4. Duman (İs) Yoğunluğu

Sayfa 104, son paragraf ilk cümle “Yapılan deneyler sonucunda kaplanmış tüm borularda SEB’ ya göre duman yoğunluğu değerlerinde ortalama % 6.71’lik bir azalma tespit edilmiştir” olarak değiştirilmiştir.

3. Sonuçlar ve Öneriler

Sayfa 107, ikinci paragraf ilk cümle “Yapılan deneylere göre kaplanmış tüm borulardaki azotoksit gazı değerinin SEB’deki azotoksit gazı değerine nazaran yaklaşık % 6.93 daha fazla olduğu tespit edilmiştir” olarak değiştirilmiştir.

Sayfa 107, üçüncü paragraf ilk cümle “Deneyler sonucunda kaplanmış boruların SEB’a göre CO emisyon değeri ortalama % 5.86 daha düşük çıkmıştır” olarak değiştirilmiştir.

Sayfa 107, dördüncü paragraf ilk cümle “Emisyon deneyleri neticesinde kaplanmış tüm boruların SEB’ a göre karbondioksit gaz seviyesinde yaklaşık % 9.53’lük bir azalma belirlenmiştir” olarak değiştirilmiştir.

Sayfa 107, beşinci paragraf ilk cümle “Seramik kaplama işlemi ardından yapılan deney sonucu kaplanmış tüm boruların SEB’a

göre hidrokarbon gaz seviyesinde yaklaşık % 5.60’lık bir düşüş tespit edilmiştir” olarak değiştirilmiştir.

Sayfa 107, altıncı paragraf ilk cümle “Kaplanmış tüm boruların SEB’a göre duman yoğunluğu değerlerinde ortalama % 6.71’lik bir azalma tespit edilmiştir” olarak değiştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] S. Şap, H. Hazar, and E. Şap, “Yanma Odası Elemanları Bor Kaplı Bir Dizel Motorun Cr3C2 Kaplı Egzoz Borusu Üzerine Etkisi,” *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 98–108, 2019.