



Bitlis Eren Üniversitesi  
**Fen Bilimleri Dergisi**

Bitlis Eren University  
**Journal of Science**

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

Cilt / *Volume*: 10

Sayı / *Number*: 4

Yıl / *Year*: 2021

**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: 2021 - Cilt/Volume: 10 - Sayı/Number: 4

### **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

### **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 LAOUET	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 15 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 10(4), 2021 / B.E.U. Journal of Science 10(4), 2021**  
**İÇİNDEKİLER / CONTENTS**

1. **Mekanik Alaşımlama ve Yeni Geliştirilen Gaz Atomizasyon Yöntemi ile Üretilen AgCu Alaşımlarının Yapısal ve Isısal Özelliklerinin Karşılaştırılması** 1220-1231  
*Comparison of Structural and Thermal Properties of AgCu Alloys Produced by Mechanical Alloying and Newly Developed Gas Atomization Method*  
H. Yaykaşlı, A. Gündeş, H. Özger
2. **Radar HF Bandı RF Güç Yükseltici** 1232-1248  
*Radar HF Band Power Amplifier*  
E. Mehter, R.B. Bilgiç, M. Üçüncü
3. **Fonksiyonel Derecelendirilmiş Silindirin Isı İletiminin Chebyshev Pseudospektral Yöntemi ile Geçici Rejimdeki Analizi** 1249-1259  
*Heat Conduction Analysis of a Functionally Graded Cylinder in Transient Regime with Chebyshev Pseudospectral Method*  
M.A. Kırköse, D. Yarımabuç
4. **Antibakteriyel ve Antikanser Özellikleri Gösteren Piridin ve Kinolin Temelli Schiff Bazı Türevlerinin Sensör Özellikleri** 1260-1271  
*Sensor Properties of Pyridine and Quinoline Based Schiff Bases Derivatives Showing Antibacterial and Anticancer Properties*  
B. Yılmaz, P. Yeşildaş, M. Bayrakçı
5.  **$Z_8+uZ_8$  Halkası Üzerinde Çift Aykırı Devirli Kodlar** 1272-1281  
*Double Skew Cyclic Codes over the Ring  $Z_8+uZ_8$*   
B. Çalışkan
6. **Alev Püskürtme Piroлиз Yöntemi Kullanarak IGZO Nanopartiküllerinin Sentezi ve Karakterizasyonu** 1282-1289  
*Synthesis and Characterization of IGZO Nanoparticles Using Flame Spray Pyrolysis Method*  
S. Yıldırım
7. **Bul-Tak Oyunağı Şekillerinin Klasik Görüntü İşleme ve Derin Öğrenme Yöntemleri ile Tespiti** 1290-1303  
*Detection of Find-Plug Toy Shapes with Classical Image Processing and Deep Learning Methods*  
M. Dersuneli, T. Gündüz, Y. Kutlu
8. **Bir Akış Alanı İçerisine Sıralı Şekilde Yerleştirilen İki Silindir Arasındaki Mesafenin Alt Akış Bölgesindeki Silindire Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi** 1304-1313  
*Experimental Investigation of the Effect of the Distance Between Two Cylinders Placed in Line in the Flow Area on the Cylinder in the Downstream Region*  
D.B. Saydam, C. Özalp, C. Polat, E. Hürdoğan
9. **Effect of Reduction Temperature and Time on The Reduction of Graphene Oxide with White Cabbage Extract** 1314-1323  
*Beyaz Lahana Özütü ile Grafen Oksitin İndirgenmesi Üzerinde İndirgeme Sıcaklığı ve Süresinin Etkisi*  
N. Kütük, S.C. Gürer
10. **Farklı Düzeylerdeki Vermikompost Uygulamasının Atdışi Mısırın (*Zea mays L. indentata*) Verim ve Verim Karakterlerine Etkisi** 1324-1333  
*The Effect of Vermicompost Application at Different Levels on Yield and Yield Characteristics in Dent Corn (*Zea mays L. indentata*)*  
M.R. Özel, A.G. Öktem
11. **Uluslararası Bir Krizin Oyun Teorisi ile Matematiksel Olarak Modellenmesi** 1334-1341  
*Mathematical Modeling of an International Crisis with Game Theory*  
M. Özkaya, B. İzgi

12. **Image Processing of Optical Vortex and Determination of OAM** 1342-1348  
*Optik Vorteks için Görüntü İşleme ve OAM Tayini*  
M. Gök, K. Köksal
13. **CatSumm: Extractive Text Summarization based on Spectral Graph Partitioning and Node Centrality** 1349-1365  
*CatSumm: Spektral Çizge Bölmeleme ve Düğüm Merkeziliklerine Dayalı Çıkarıcı Metin Özetleme*  
T. Uçkan, C. Hark, A. Karci
14. **CoMoCrSi ile Kaplanmış Ferritik Paslanmaz Çeliğin Korozyon Davranışı** 1366-1372  
*Corrosion Behavior of Ferritic Stainless Steel Coated with CoMoCrSi*  
H. Demirören, S. Özel
15. **Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Kolonlarda Kesit Hasar Sınırlarının TBDY 2018'e göre Deneysel Olarak İncelenmesi** 1373-1385  
*Experimental Investigation of Section Damage Limits for Reinforced Columns with Low Strength Concrete According to TBSC 2018*  
H. Elçi
16. **Bicomplex Numbers: Further Contributions to a Fibonacci and Fibonacci -Lucas Matrices Oriented Approach** 1386-1393  
*Bikompleks Sayılar: Fibonacci ve Fibonacci-Lucas Matrislerine Yönelik Yaklaşımına İlave Katkılar*  
F. Babadağ
17. **24. Güneş Döngüsü Boyunca Meydana Gelen Jeomanyetik Fırtınaların Dağılımı** 1394-1403  
*Distribution of Geomagnetic Storms Occuring During the 24th Solar Cycle*  
F. Başçiftçi
18. **Endosülfan ve Metabolitlerinin Su Örneklerinde Vorteks Destekli Sıvı-Sıvı Mikro Ekstraksiyon ve Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi Kullanılarak Analizi** 1404-1415  
*Analysis of Endosulfan and its Metabolites in Water Samples Using Vortex Assisted Liquid-Liquid Micro Extraction and High Performance Liquid Chromatography*  
M. Türkyılmaz, S. Küçükçongar
19. **C,H,O-Katsayılı Sedeniyonların Özel Matris Gösterimleri ve Bazı Özellikleri** 1416-1425  
*Some Properties and Special Matrix Representations of C,H,O- Coefficient Sedenion Numbers*  
Ö. Bektaş
20. **Bitlis İlinde Farklı Yakıtlar ve Duvar Bileşenleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Enerji Tasarrufunun Analizi** 1426-1434  
*Analysis of Optimum Insulation Thickness and Energy Saving for Different Fuels and Wall Components in Bitlis Province*  
B.E. Yüce, M.C. Acar
21. **Aktif Tektonizma Etkisi Altındaki Çaldıran (Van) Yerleşim Alanının Yüzeysel Dalgası Yöntemleriyle İncelenmesi** 1435-1447  
*Investigation of Çaldıran (Van) Settlement Area Under the Effect of Active Tectonics by Surface Wave Methods*  
A. Alkan, İ. Akkaya
22. **Van İli Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme Sorunları ve Çözüm Önerileri** 1448-1463  
*Operational Problems and Solution Suggestions of Van Province Wastewater Treatment Plants*  
A. Durak, A. Özgüven, A. Demir Yetiş
23. **Hesitant Fuzzy Linguistic Decision Approach for Stroller Selection** 1464-1473  
*Bebek Arabası Seçimi İçin Tereddütlü Bulanık Dilsel Karar Yaklaşımı*  
B. Ecer

24. **Yerel (Artvin-Şavşat) ve Tescilli Domates Çeşitlerinde Kuraklık Stresine Karşı Tolerans Seviyelerinin Araştırılması** 1474-1485  
*Investigation of Tolerance Levels Against Drought Stress in Local (Artvin-Şavşat) and Registered Tomato Varieties*  
M. Demiralay
25. **Havalimanı Çalışanlarının Acil Durumlara Yönelik Hazırlığı ve Kriz Yönetimi** 1486-1491  
*The Emergency Preparedness and Crisis Management of the Airport Staff*  
C. Önen, Y. Çiftci, S. Kayar
26. **UVB-313 Lambalarına Ait Yapay Yaşlandırmanın UV Sistem Vernikli Yalancı Akasya Odununda Bazı Yüze Özellikleri Üzerine Etkileri** 1492-1505  
*Effects of Artificial Aging of UVB-313 Lamps on Some Surface Properties of UV System Varnished Black Locust Wood*  
Ü. Ayata, N. Çakıcıer, L. Gürleyen
27. **Özel Bir Hastanenin Yer Seçimi için Bulanık COPRAS Tekniğinin Uygulanması** 1506-1514  
*Application of Fuzzy COPRAS Technique for the Location of a Private Hospital*  
R. Baki
28. **Alkali ile Aktive Edilmiş EPS İkameli Harçların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri ile Yüksek Sıcaklığa Karşı Dirençlerinin Araştırılması** 1515-1526  
*Investigation of Mechanical and Physical Properties and Resistance to High Temperature of Alkali Activated EPS Substituted Mortars*  
H. Eren, S. İlkentapar, U. Durak
29. **Üçüncü Mertebeden Kısmi Diferansiyel Denklemin Homotopy Pertürbasyon Metodu ile Çözümü** 1527-1534  
*Solution of Third Order Partial Differential Equation by Homotopy Perturbation Method*  
M. Modanlı, H. Eş
30. **Derik Halhalı Zeytin Çekirdeğinden Çevre Dostu Selülozik Manyetik Nano-Adsorbent Üretimi ve Benzen Gideriminde Kullanılması** 1535-1551  
*Production of Eco-Friendly Cellulosic Magnetic Nano-Adsorbent from Derik Halhali Olive Seed and Its Use in Benzene Removal*  
S. Kutluay, M.Ş. Ece, Ö. Şahin, Z. Kahraman, F. Önal, F. Atku
31. **Akciğer Histopatoloji Görüntülerinden Çıkarılan Derin Özellikleri Kullanan Makine Öğrenmesi Sınıflandırıcıları ile Akciğer Kanseri Tespiti** 1552-1562  
*Lung Cancer Detection with Machine Learning Classifiers using Deep Features Extracted from Lung Histopathology Images*  
E. Uçar
32. **Improving Machine Learning Performance of Imbalanced Data by Resampling: DBSCAN and Weighted Arithmetic Mean** 1563-1574  
*Dengesiz Verilerin Yeniden Örnekleme ile Makine Öğrenimi Performansını İyileştirilme: DBSCAN ve Ağırlıklı Aritmetik Ortalama*  
S. Güldal
33. **Byık Deseni Üretiminde Çekişmeli Üretici Ağların Performans Karşılaştırması** 1575-1589  
*Performance Comparison of Generative Adversarial Networks in Mustache Pattern Production*  
E. Şahin, M.F. Talu
34. **Cam İpliğinden Farklı Desenlerde Üretilmiş Atkılı Örme Ribana Kumaşların Fiziksel, Yapısal ve Hava Geçirgenliği Özellikleri** 1590-1602  
*Physical, Structural and Air Permeability Properties of Glass Yarn Weft Knitted Rib Fabrics from Different Patterns*  
M.E. İnce, K. Savcı Güneş
35. **Web Sitelerinde Gerçekleştirilen Oltalama Saldırılarının Yapay Zekâ Yaklaşımı ile Tespiti** 1603-1614  
*Detection of Phishing Attacks on Websites Using Artificial Intelligence Approach*  
M. Toğaçar

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Mekanik Alaşımlama ve Yeni Geliştirilen Gaz Atomizasyon Yöntemi ile Üretilen AgCu Alaşımlarının Yapısal ve Isısal Özelliklerinin Karşılaştırılması

Alaaddin GÜNDEŞ<sup>1</sup>, Hakan YAYKAŞLI<sup>2\*</sup>, Hakan ÖZGER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kuyumculuk ve Takı Tasarım Bölümü, Kahramanmaraş,

<sup>2</sup>Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Kahramanmaraş

(ORCID: [0000-0001-9030-0776](https://orcid.org/0000-0001-9030-0776)) (ORCID: [0000-0001-5729-9662](https://orcid.org/0000-0001-5729-9662)) (ORCID: [0000-0002-6422-4260](https://orcid.org/0000-0002-6422-4260))

### Öz

Bu çalışmada, 3B (3 boyutlu) metal yazıcı füzyon makinelerinde kullanılan Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> metal tozları iki farklı metot ile üretilmiştir. İlk olarak normal katılaştırma yöntemi ile Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> külçe alaşımlar elde edilerek tel makinasında çekme işlemi sonrasında çubuk şeritler üretilmiştir. Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> çubuk şeritler kullanılarak yeni geliştirilen gaz atomizasyon (YGGA) yöntemi ile sıvı nitrojen'e düşürülerek toz alaşım elde edilmiştir. İkinci yöntem olarak hidrometalurji (HM) yöntemi ile üretilen saf Cu (bakır) toz metali ve saf Ag (Gümüş) toz metalleri kullanılarak Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> toz metal alaşımı mekanik alaşımlama (MA) tekniği ile üretilmiştir. İki farklı yöntem ile üretilen alaşımların yapısal özellikleri X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu-enerji dağıtım x-ışını spektroskopisi (SEM-EDX) ve ısısal davranışları diferansiyel termal analiz (DTA) ile incelenmiştir. Her iki yöntemle elde edilen alaşımların XRD deseninde kristal yapıda olduğu tespit edilmiştir. SEM görüntülerinde toz tanelerinin ortalama büyüklüklerinin 10 µm olduğu belirlenmiştir. EDX sonuçları ile Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> alaşımının nominal kompozisyon ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. DTA analizleri sonucunda gümüşün erime noktası olan 931 °C'de endotermik bir pik gözlenmiştir. Sonuç olarak Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> alaşımı yeni geliştirilen gaz atomizasyonu ve mekanik alaşımlama ile toz şeklinde başarılı bir şekilde üretilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** AgCu alaşımı, 3B metal yazıcı, XRD, SEM, DTA

## Comparison of Structural and Thermal Properties of AgCu Alloys Produced by Mechanical Alloying and Newly Developed Gas Atomization Method

### Abstract

In this study, Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> metal powders used in 3D (3 dimensional) metal printer fusion machines were produced by two different methods. Firstly, Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> ingot alloys were obtained by normal solidification method, and rod strips were produced after the drawing process in the wire machine. A powder alloy was obtained using Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> rod strips by using the newly developed gas atomization (NDGA) method by dropping it into liquid nitrogen. As the second method, Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> powder metal alloy was produced by mechanical alloying (MA) technique using pure Cu (copper) powder metal and pure Ag (Silver) powder metals produced by hydrometallurgy (HM) method. The structural properties of the alloys produced by two different methods were examined by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy-energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDX) and their thermal behavior by differential thermal analysis (DTA). It has been determined that the alloys obtained by both methods have a crystal structure in the XRD pattern. It was determined that the average size of the dust grains in SEM images was 10 µm. With the EDX results, it was determined that the Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> alloy was compatible with the nominal composition. As a result of DTA analysis, an endothermic peak was observed at 931 °C, the melting point

\* Sorumlu Yazar: [hakan.yaykasli@istiklal.edu.tr](mailto:hakan.yaykasli@istiklal.edu.tr)

Geliş Tarihi: 17.02.2021, Kabul Tarihi: 06.10.2021

of silver. As a result, Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> alloy has been successfully produced in powder form by newly developed gas atomization and mechanical alloying.

**Keywords:** AgCu alloy, 3D Metal printing, XRD, SEM, DTA

## 1. Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile birlikte güncel ihtiyaçlara hızlı şekilde cevap verecek makineler geliştirilmiştir. Bunların başında 3B yazıcılar gelmektedir. 3B yazıcılar tıp, havacılık, otomobil, tasarım ve kuyumculuk gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanlarına göre prototip veya nihai ürün olarak ilk önce plastik ve daha sonra alaşımli tozların üretilmesiyle birlikte metal parça üretimi için birçok model ve boyutta 3B yazıcılar geliştirilmiştir. 3B metal yazıcılarla birlikte yazıcılarda parça üretiminde kullanılan malzemelerin çeşitliliği de bir hayli artmıştır. Bu çeşitliliğin fazla olması ile kullanım alanına ve üretim şartlarına göre malzeme gelişimi 3B yazıcılar ile birlikte hızla devam etmektedir [1, 2].

Son yıllarda 3B yazıcı teknolojisinin ilerlemesi ile birlikte günümüzde kuyumculuk sektöründe aktif olarak kullanılmaktadır. Kuyumculuk sektöründe hassas kalıp üretiminde 3B yazıcı metal füzyon yazıcıları kullanımı yaygındır. Ancak bu yazıcılarda kalıp üretimi için kullanılan metal toz alaşımlarının birim fiyat değeri oldukça yüksektir [3, 4]. Bunun nedeni, alaşımli metal tozlarının üretim sistemlerinin zor olmasından kaynaklanmaktadır. Kuyumculuk alanında değerli metaller (Au, Ag, Pt, Pd vb.) saf olarak kullanılmamaktadır. Değerli metaller çeşitli özelliklere sahip metallerle alaşım yapılarak kullanılmaktadır. Alaşımların elde edilmesinde, üretim maliyetinin düşürülmesi, renk, işlenebilirlik, iletkenlik ve pürüzsüzlük gibi kalitelerin artırılmasına yönelik alaşımların çalışılma sebeplerindedir [5]. Bununla birlikte alaşımların farklı üretim teknikleriyle geliştirilmesi alaşım özelliklerine katkı sağlamaktadır [6].

3B metal füzyon yazıcılarında kullanılan değerli metal tozları için yapılan Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır. AgCu alaşım metal tozları kuyumculuk sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür kuyumculuk malzemelerinin, 3B metal füzyon yazıcılarında kullanımı için yeterli araştırma bulunmamaktadır. Son yıllarda atomizasyon tekniği ile metal toz üretimi yaygınlaşmaktadır. Beş farklı atomizasyon tekniği bulunmaktadır. Bunlar; su, gaz, santrifüj, döner elektrot ve vakum atomizasyonudur [7]. 3B metal füzyon yazıcılarında kullanılan toz alaşımların üretiminde, YGGA ve MA yöntemlerinin yeni malzemelerin keşfinin araştırılmasında ve uygulama alanlarının genişletilmesi için bilim dünyasının ilgisi çekmektedir. YGGA yöntemiyle üretimlerde üstün özelliklere sahip alaşımlar üretilebilmektedir [8, 9]. Bu teknikte üretilen alaşım tozlarının tanecek özellikleri; yapısı küresel, makroskopik boyutta pürüzsüz ve yüksek üretim hızı olabilmektedir.

MA ile deneysel çalışmalar da ve sanayide oda sıcaklığında alaşımların üretimi için kullanılan yeni bir tekniktir [10]. Metal tozlarının fiziksel, termal ve mekanik özelliklerini geliştirmek için uygulanabilmektedir. MA işlemi tozların belirli oranlarda karıştırılması, uygun öğütme süresinde ve öğütme bilyeleri ile gerçekleştirilmektedir. Bu karışım, kararlı bir duruma ulaşan metal tozlarının elde edilmesi için uygun görülen süreye kadar öğütülmesidir. Literatürde, değerli metal alaşımlarının üretimi için YGGA ve MA teknikleri gibi iki yöntemi birlikte kullanarak üretim yapılması konusunda büyük boşluk bulunmaktadır. Toz metalürjisi yöntemleriyle, farklı element ilaveleri ile toz alaşımlarının YGGA ve MA gibi üretim teknikleri, yaygın olarak kullanılmakta ve performans gelişimleri önemli aşamalar göstermektedir.

Akkaş ve ark., (2018) gaz atomizasyonu yöntemi ile Al<sub>12</sub>Si alaşımını üreterek, alaşımların tane yapısının boyutunda küçülme ve toz şeklinin genelde ligament, damla, çubuksu ve karmaşık şekilli olduğu tespit etmişlerdir. Toz dayanımının yüksek olması ve dendritik tozları oluşturabilmek amacıyla ötektik noktanın altında bulunan Al<sub>12</sub>Si üretimi tercih edilmiştir [11]. Shafiei ve ark., (2012) yaptıkları çalışmada, Ag-Cu ikili alaşımını 5 ve 30 saat öğütme yaparak mekanik alaşımlama ile üretmişlerdir. Cu<sub>80</sub>Ag<sub>20</sub> ve Cu<sub>96.36</sub>Ag<sub>3.64</sub> kompozisyonlarında üretilen alaşımların öğütme süresi arttıkça gümüş ve bakır XRD piklerinde değişimin olmadığı ve iki alaşımların ortalama tane büyüklüğü 30 nm olduğu Williamson-Hall yöntemi ile hesaplamışlardır [12]. Metal toz alaşım üretimi 20 yıldır yapılmaktadır. Toz üretimi için öğütücü kullanan bazı yöntemlerin yanı sıra erimiş sıvı eriyiğin atomizasyonu metal tozları üretiminde en yaygın kullanılan tekniktir [13]. Gaz atomizasyon ve mekanik alaşımlama yöntemi ile birçok alaşımların yapısal, ısıl, kimyasal ve mekanik özellikleri literatürde araştırılmıştır. İlk olarak

1985 yılında başlayan GA yöntemi ile araştırmaları özetleyecek olursak: ile Al-20 wt % Si [14], Al<sub>88,7</sub>Ni<sub>7,9</sub>Mn<sub>3,4</sub> alaşımı [15], TiFe-based alaşımı [16], CuNb alaşımları [17] ve mükemmel lazer emiciliğine sahip bakır alaşımlı toz gibi birçok çalışma bulunmaktadır. MA yöntemi ile araştırmaları özetleyecek olursak: Cu-50wt%Ag [18], CuCo alaşımları [19], Ag-Cu alaşımları [20] ve nanokristalin AgCu alaşımları [21] gibi alaşım türleri çeşitli endüstriyel ve akademik çalışmalar için araştırmalar literatürde mevcuttur. Genellikle değerli metal alaşımlarının deneysel çalışmaları birim fiyatı yüksek olması nedeniyle çok çalışılmamaktadır. Ancak günümüzde 3B yazıcılarda kullanılan metal tozlarının güncelliği kuyumculuk gibi sektörlerde kullanıldığı için araştırmalar bu açıdan önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada, yeni geliştirilen gaz atomizasyonu ve mekanik alaşımlama yöntemi ile Ag<sub>92,5</sub>Cu<sub>7,5</sub> değerli metal toz alaşımı üretilerek, kuyumculuk sektörünün gelişimine Türkiye ekonomisine katkı sağlaması hedeflenmiştir. Üretilen alaşımların mikroyapı özellikleri XRD, SEM ve EDX ile ve termal özellikleri DTA ile incelenmiştir. Ag dünyada pahalı maden olması, yüksek ısı ve elektrik iletkenliği, kolay şekil verilebilir olması bakımından önemli bir metaldir. Bu nedenlerden dolayı zıynet eşyası olarak kullanımı yaygındır. Böylece iki farklı yöntemin toz alaşımlara etkisi araştırılmıştır.

Literatür araştırmaları sonucu, YGGA ve MA yöntemi ile Ag<sub>92,5</sub>Cu<sub>7,5</sub>alaşımı tozunun üretimi ile ilgili çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu amaçla, literatürdeki bu boşluğu doldurabileceği düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada yeni geliştirilen gaz atomizasyonu ve mekanik alaşımlama yöntemleri kullanılarak Ag<sub>92,5</sub>Cu<sub>7,5</sub> toz alaşımları üretilmiştir. Alaşımların yapısal ve ısıl özellikleri incelenerek, iki farklı yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

### 2.1. Yeni Geliştirilen Gaz Atomizasyon Yöntemi

Bu çalışmada, YGGA yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde YGGA kulesi tasarlanmış ve GA kulesinin alt kısmına sıvı nitrojen havuzu oluşturulmuştur. YGGA yönteminin deney seti görselleri Şekil 1'de verilmiştir. Öncelikle YGGA'da kullanılacak külçe Ag<sub>92,5</sub>Cu<sub>7,5</sub> alaşımının üretimi ingot yöntemi ile üretilmiştir. Saf Ag (gümüş), ve Cu (bakır) elementleri grafit pota içerisinde eritilerek külçe olarak elde edilmiştir. Ergitme işlemi sırasında potada oluşabilecek oksitleri önlemek için oksit önleyici boraks ile üzeri kapatılmıştır. Ergimiş alaşım tel dereceye dökülerek katılaşmaya bırakılmıştır. Bu işlem sonucunda Ag<sub>92,5</sub>Cu<sub>7,5</sub> külçe alaşımı elde edilmiştir. Ag<sub>92,5</sub>Cu<sub>7,5</sub> külçe alaşım kuyumcu tel ve silindir makinasında tel şerit çekilerek 100 mikron kalınlık olacak şekilde inceltirilmiştir. Yaklaşık 1 cm uzunluğunda olacak şekilde tel şeritler kesilmiştir. Kesilen tel şerit Ag<sub>92,5</sub>Cu<sub>7,5</sub> alaşımları YGGA tekniğinde kullanıma için hazır hale getirilmiştir.

YGGA düzeneğinde, önceden ingot yöntemi ile hazırlanan Ag<sub>92,5</sub>Cu<sub>7,5</sub> metal alaşımı indüksiyon eritme ocağına yerleştirilmiştir. Asal gaz olarak yüksek saflıkta argon gazı kullanılmıştır. Şekil 1'de görülen GA ünitesinin de: fırın, kule, basınç nozulu ve tozların toplanma sıvı nitrojen havuzundan oluşmaktadır. Deneysel çalışma parametreleri: sıcaklık 1000 °C, nozul çapı 3 mm ve basınç 20 bar ve kule gaz açısı 5° olarak belirlenmiştir. Metal eriyiği nozuldan püskürtebilmek, mikronize etmek ve oksidasyonunu önlemek için 20 bar basınç 'ta argon gazı kullanılmıştır. YGGA kulesinin altına yerleştirilen sıvı nitrojen havuzunda tozların toplanması ve tekrar kırılğan yapısını artırarak ikinci kez mikronize edilmiştir.



Şekil 1. Yeni geliştirilen gaz atomizasyon deney seti

## 2.2. Mekanik Alaşımlama Tekniği

MA tekniği ile  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımı Fritsch Pulverisette-5 marka mekanik öğütme cihazında gerçekleştirmiştir. Üretimde kullanılan saf Ag (gümüş), ve Cu (bakır) toz elementleri hidrometalürji yöntemi ile nano boyutta saf (%99,5) Ag ve Cu toz elementlerinden üretilmiştir. Manyetik karıştırıcı da beher içerisine (1:1 oranında)  $HNO_3$  saf su ilave edilerek oluşturulan çözelti içerisinde gümüş metalinin çözünmesi sağlanmıştır. Çözeltiye (1/3 oranında) saf su eklenerek çözelti derişik hale getirilmiştir. Bu derişik çözelti içerisine bakır levha yerleştirilerek yüzey alanı genişletilmiş redoks işlemi yapılmıştır. Bu redoks işlemi sonucunda bakır levha üzerine toplanan Ag tozları safsızlığını (%99,5) elde edebilmek için üç aşamalı yıkama sistemine tabi tutulmuştur. Birinci aşamada kaynar suda Ag tozları süzülerek yıkanmıştır. İkinci aşamada yıkanan Ag tozlarını amonyak ve sıcak su ile tekrar yıkanmıştır. Buradaki amaç Ag tozları içindeki Cu impüritelerini ve nitrat oksidasyonunu yok etmektir. Üçüncü aşamada kaynar suda Ag tozlarına tekrar yıkama işlemi yapılarak tamamen amonyak ve nitrattan arındırılmıştır. Kalan çözelti içerisine demir levha yerleştirilerek, Ag üretimindeki tüm işlem basamakları tekrarlanarak redoks işlemi sonucunda bakır tozları elde edilmiştir. HM yöntemi ile elde edilen saf Ag ve Cu toz elementleri kullanılarak  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  alaşımları 30 dakika, 1 saat ve 2 saat olmak üzere üç farklı öğütme sürelerinde MA yöntemi ile üretilmiştir. Bilye-toz oranı 10:1, dönme hızı olarak ise 300 dev/dak olarak belirlenmiştir. MA deneylerinde aşırı ısınmadan kaçınmak ve verimi artırmak için, her 10 dakika öğütme işleminden sonra 10 dakika bekleme yapılarak öğütme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Mekanik alaşımlama deney seti

## 2.3. Karakterizasyon

Alaşımlarının mikroyapısı, morfolojisi ve ısıl özellikleri sırasıyla X-ışını kırınımı (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-EDX) ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) analizleri ile incelenmiştir. Philips X'Pert PRO marka XRD cihazının çalışma parametreleri: 40kV ve 30mA ayarlı, monokromotik  $CuK_{\alpha}$  radyasyonu ( $\lambda=0.154056$  nm) kullanılarak belirlendi. Ölçümler  $20^{\circ}$ 'den  $100^{\circ}$ 'ye kadar  $0.02^{\circ}/s$  hızında 1 saniye bekletilerek alındı. SEM-EDX analizleri ZEISS EVO LS10 marka SEM cihazı ve

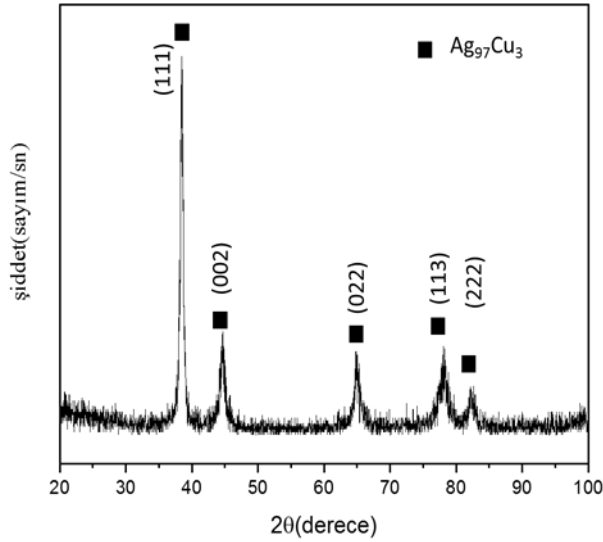
Bruker marka EDX dedektör kullanılarak yapılmıştır. DTA analizinde Perkin Elmer Sapphire ile yapılmıştır. DTA cihazının çalışma parametreleri: 50°C'den 1100°C'ye kadar ısıtma hız oranı 20°C/dak olarak belirlenmiştir. Numune kabı olarak yüksek sıcaklığa dayanan seramik kaplar kullanıldı.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada yeni geliştirilen GA ve MA yöntemleri kullanılarak  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımları üretilmiştir. Alaşımların yapısal ve ısıl özellikleri incelenerek, iki farklı yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır.

#### 3.1. Yeni Geliştirilen Gaz Atomizasyonu Sonuçları

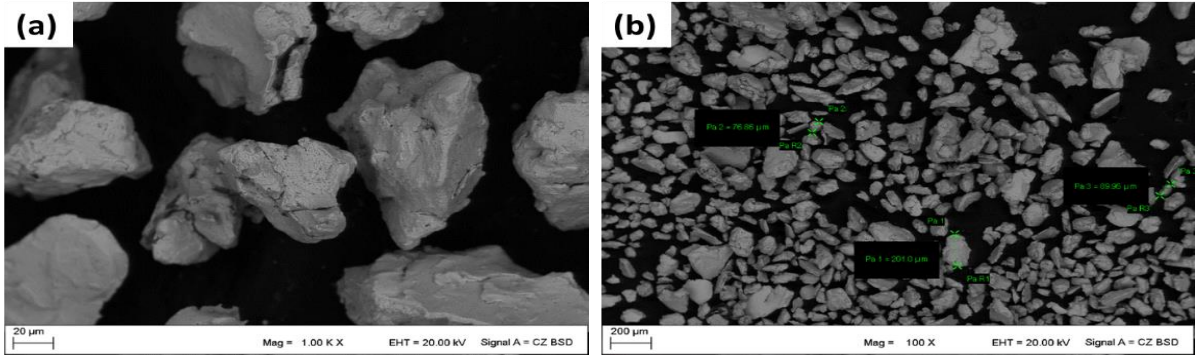
Bu çalışmada  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımının GA yöntemiyle üretilmiştir. Şekil 3'de GA yöntemiyle üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımının XRD grafiği verilmiştir. XRD sonucu incelendiğinde, mikroyapıda  $Ag_{97}Cu_3$  fazı görülmektedir.  $Ag_{97}Cu_3$  fazının kristalografik parametreleri: uzay grubu Fm-3m, COD Card No: 96-150-9855, kristal yapısı kübik, pik listesi  $2\theta = 38.390^\circ, 44.623^\circ, 64.946^\circ, 78.037^\circ$  ve  $82.229^\circ$  yansıma açısı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3. YGGA yöntemiyle üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımının x-ışını kırınımı (XRD) grafiği

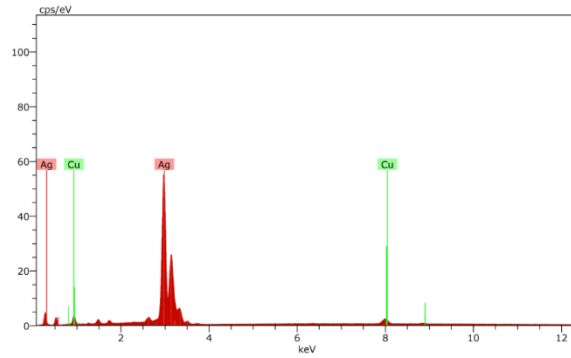
Şekil 4 a-b'de YGGA tekniği ile üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımının SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 4'de verilen SEM görüntüleri incelendiğinde  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımının boyut dağılımı ve toz tane şekilleri, yumrusu ve çapraşık şekilde olduğu, toz yüzeylerinin gözenekli olduğu ve gaz basıncına ve sıvı nitrojendeki kırılmaya bağlı olarak bu gözeneklerin miktarının fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca yüzeyler dikkatli bir şekilde incelendiğinde, bir toz tanesinin alt tanelerden oluştuğu fark edilebilir. 3B metal yazıcılarda kuyumculuk sektörü için kullanılan toz metallerinin genel olarak formları küresel olmasıdır. Çalışmamızın amaçlarından biri de tozların küresel şekilde üretimi olmuştur. Çünkü 3B metal yazıcıların çalışma prensiplerinden biride kullanılan tozların küresel olup hareketinin sağlanmasıdır. Şekil 4-a'da görüldüğü gibi tozların küresel şekilde olmamasının sebebi sıvı nitrojenin toz metali tekrar kırmış ve çatlatmış olmasıdır. Bu toz alaşımlarının küresel şekle getirilebilmesi için YGGA yöntemi sonrası silindir öğütme işlemi uygulanması gerekmektedir. YGGA yöntemiyle toz üretiminde gaz basıncının toz boyutu ve şekli üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bilinmektedir. Ancak 50 mikron altı küresel toz alaşımları 3B yazıcılarda kullanılmaktadır. Tek başına gaz basıncı ile verimli şekilde toz alaşım üretilmemektedir. Bu nedenle GA yöntemi ile üretilen metal tozları sıvı nitrojen havuzunda toplanarak ikinci bir kırılma sağlanmıştır. Bunun yanı sıra küresel şekli sağlamak için küresel toz silindir işlem basamağının uygulanması gerekliliği sonucuna varılmıştır.





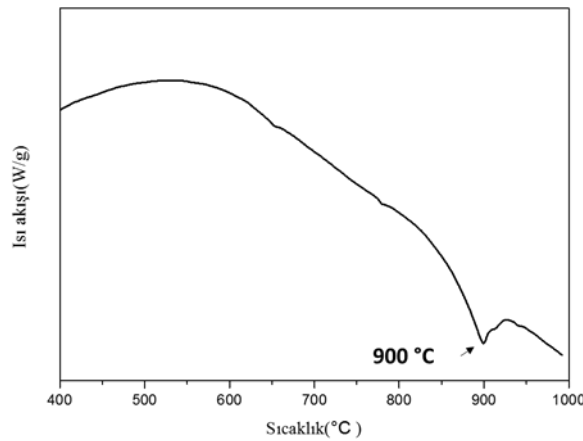
Şekil 4 a-b. YGGA yöntemiyle üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşım SEM görüntüleri

YGGA yöntemiyle üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımının EDX analizi Şekil 5’ de verilmiştir. EDX analizleri sonucunda mikro yapıda Ag ana matris fazı ve Cu fazları gözlemlenmektedir.  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  alaşımın kimyasal bileşimi, nominal oran ile neredeyse aynı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. YGGA yöntemiyle üretilen toz  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  alaşımının EDX spektrumu

Şekil 6’ da YGGA yöntemiyle üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımının DTA grafiği görülmektedir. Üretim sonrası herhangi bir işleme tabi tutulmadan toz alaşımın erimesini temsil eden yaklaşık 900 °C’ de bir endotermik pik görülmüştür. XRD ile DTA sonuçları karşılaştırıldığında, 900 °C’ de gözlenen bu endotermik pikin, Ag-Cu fazının ötektik erime noktası olduğu tespit edilmiştir.

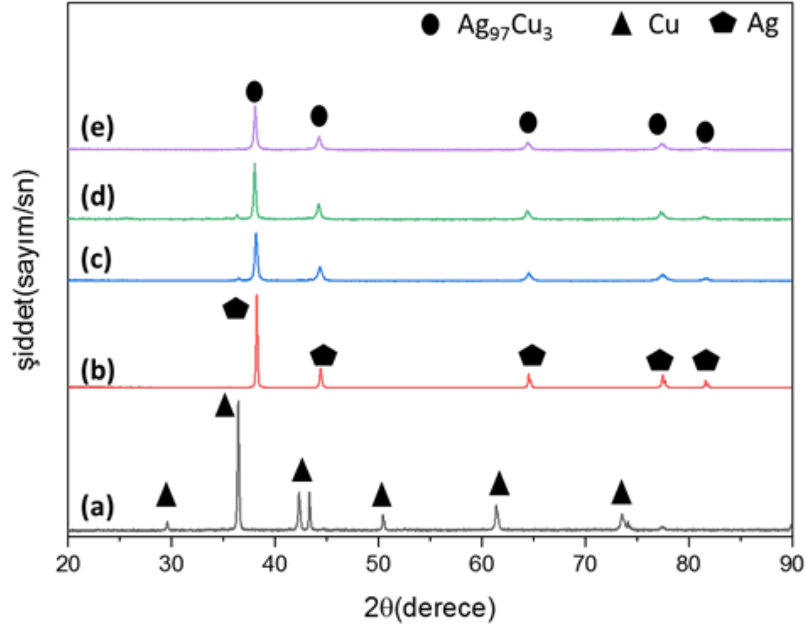


Şekil 6. YGGA yöntemi ile üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşım DTA grafiği

### 3.2. Mekanik Alaşımlama Sonuçları

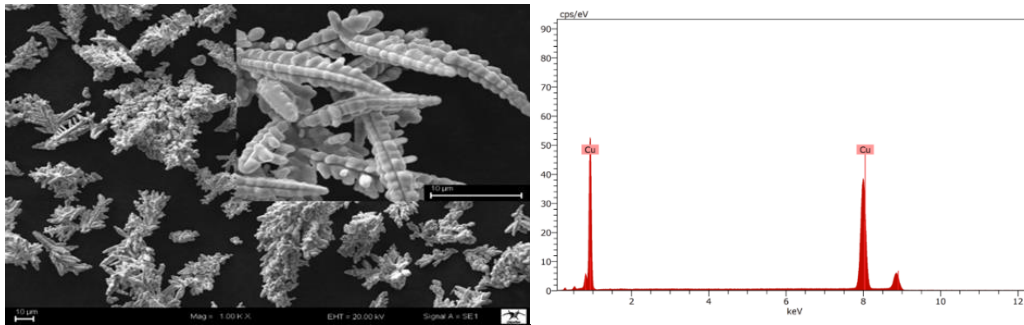
MA yöntemiyle 30, 60 ve 120 dakika süre ile öğütülmüş  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  kompozisyonunu oluşturan toz alaşımının XRD analiz sonuçları Şekil 7 a-e’de verilmiştir. Ayrıca hidrometalürji tekniği ile elde edilen saf Ag ve Cu tozlarının XRD sonuçları Şekil 7 a-b’de verilmiştir. Şekil 7 a-b’de XRD sonuçları

incelendiğinde saf Cu (ICSD Card No: 006-2938, kübik) ve saf Ag (ICSD Card No: 006-2941, kübik) fazlarına ait pikler görülmektedir. Bu sonuçları HM ile Ag ve Cu tozlarının başarılı bir şekilde elde edildiğini göstermektedir. Şekil 7 c-e’de XRD sonuçları incelendiğinde, MA ile elde edilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımlarının, ilk 30 dakikalık öğütme sonrasında başlangıç tozlarından (111), (002), (022), (113) ve (222) miller indisine sahip  $Ag_{97}Cu_3$  fazına ait karakteristik pikleri belirlenmiştir. Pik listesi  $2\theta = 38.214^\circ$ ,  $44.416^\circ$ ,  $64.624^\circ$ ,  $77.627^\circ$  ve  $81.788^\circ$  olarak tespit edilmiştir. Öğütmenin 60 ve 120 dakika sonrası alaşımda, Cu, Ag içerisinde katı çözeltisi oluşturarak  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  kübik yapıda fazı oluştuğu görülmektedir. Bu sonuçlar EDX ve DTA ile uyum içerisinde.



Şekil 7. (a) Cu (Bakır), (b) Saf Ag (Gümüş), (c) 30 dak (d) 60 dak ve (e) 120 dak MA ile öğütme üretilen toz  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  alaşımının XRD grafiği

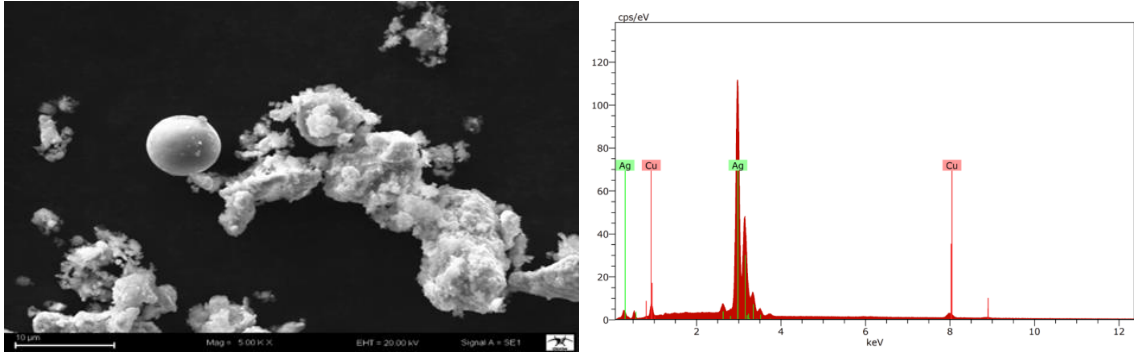
HM yöntemiyle elde edilen saf toz Cu elementinin morfolojik yapısı Şekil 8’de görülmektedir. SEM görüntüleri incelendiğinde saf toz bakır elementinin karakteristik saçaklı yapaksı morfolojik yapısı görülmektedir. SEM görüntülerinde Cu tozlarının yaklaşık boyutları 3-10  $\mu m$  arasında değiştiği görülmektedir. Ayrıca elde edilen Cu elementinin kimyasal kompozisyonunu belirlemek için EDX analiz spektrumu Şekil 9’da verilmiştir. Elde edilen Cu tozlarının saflık derecesinin %99 olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Saf Cu (Bakır) tozu SEM görüntüsü ve Saf Cu (Bakır) tozunun EDX analizi spektrumu

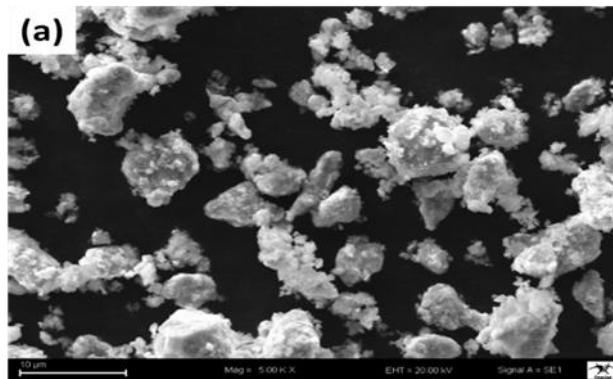
HM yöntemiyle elde edilen saf toz Ag elementinin morfolojik yapısı Şekil 10’de verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde saf toz Ag elementleri küresel ve karmaşık morfolojik yapıya da gözlenmiştir. SEM görüntülerinde Ag tozlarının küresel yapıları yaklaşık 5  $\mu m$  boyutlarında ve diğer karmaşık yapılarda 3-5  $\mu m$  arasında değiştiği görülmektedir. Bunlara ek olarak elde edilen Ag elementinin kimyasal kompozisyonu belirlemek için EDX analiz spektrumu Şekil 11’de verilmiştir.

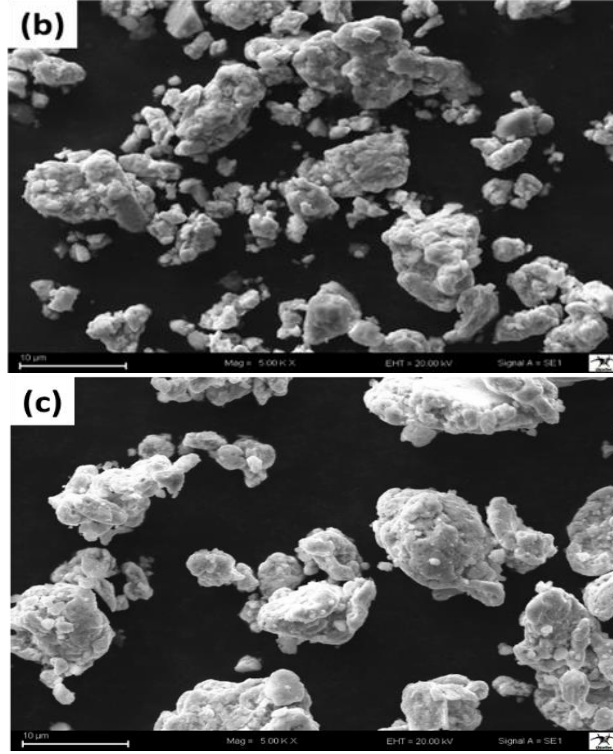
Elde edilen Ag tozlarının saflık derecesinin %99'a yakın olduğu tespit edilmiştir. Ag tozlarının kimyasal yapısında kısmi olarak bakır tozlarının olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi HM tekniğinde redoks işleminde ki impüritelere kaynaklanmaktadır.



Şekil 9. Saf Ag (Gümüş) tozu SEM görüntüsü ve Saf Ag (Gümüş) tozunun EDX analizi spektrumu

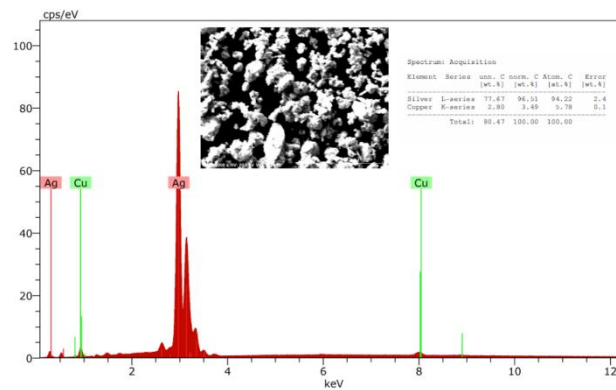
MA yöntemi ile 30, 60 ve 120 dakika öğütme sonrası elde edilen toz  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  alaşımlarının tane yapılarının değişim süreci Şekil 12 a-c'de SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 12'de SEM görüntüleri incelendiğinde ilk olarak 30 dakika öğütme sonrası Şekil 12-a'da toz parçacıklarının morfolojik boyut dağılımı Ag ve Cu tozlarından oluşmaktadır. Şekil 12-a'da görüldüğü gibi parçacık boyutları yaklaşık 1-8  $\mu m$  arasındadır. MA ile 60 dakika öğütme sonrası SEM görüntüleri Şekil 12-b'de verilmiştir. MA işleminin ikinci aşamasında (60dak) soğuk kaynaşma ve parçalanma süreçlerinin başladığı durum olduğu gözlenmiştir. Toz Ag ve Cu parçacıklarının bir araya geldiği görülmekte ama soğuk kaynaşmanın tamamlanmadığı, toz yüzeylerinin detaylı incelenmesi ile yüzeyde çatlakların varlığı tespit edilmiştir. Son olarak MA yöntemi ile 120 dakika öğütme sonrası elde edilen SEM görüntüleri Şekil 12-c'de verilmiştir. Bu aşamada soğuk kaynaşmanın tamamlandığı tozların yapısında bütünleşmenin olduğu, katı bir çözelti oluşturduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca toz tanelerin 30 ve 60 dakika öğütme sonrası büyümesi sonucunda 10-15  $\mu m$  olduğu tespit edilmiştir. Şekil 12'de verilen SEM görüntülerinden  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  alaşımlama süresine göre toz boyutu değişiminin SEM görüntüleri de toz tanelerinin yapısal değişimlerinin XRD analiz sonuçları ile uyumlu olduğunu görülmektedir. MA yöntemi ile 30, 60 ve 120 dakika öğütme sonrası elde edilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımlarının Şekil 12-c'deki 120 dakikalık öğütme sonrası SEM görüntüsü incelendiğinde; 2 saatlik MA işlemi süresince toz boyutu ve morfolojisinde, toz tanelerinin kırılmaya başladığı ve bunun sonucu olarak da toz tane yapılarının yumrumsu ve çapraşık şekiller aldığı gözlenmiştir. Nouri vd. [22] yaptıkları çalışmada MA sırasında tozların kırılması sonrası elde edilen toz morfolojisinin de yumrusu ve çapraşık şeklinde olduğunu rapor etmişlerdir. Kuyumculuk sektörü hedeflenerek yapılan bu çalışmada, YGGA'ye alternatif olarak MA ile küresel tozların üretilmesi amaçlanmıştır. Ancak MA'da farklı öğütme süresi ve bilye/toz oranı ve farklı kompozisyon oranlarının gibi parametreler çalışılarak, MA'da gerinim ve katı çözelti sertleşmenin etkisiyle küresel tozlar elde edilebileceği düşünülmektedir. MA ile elde edilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımların (Şekil 12-c) 2 saat öğütme sonrası toz tanelerinin boyutları ortalama 80  $\mu m$  olarak gözlenmiştir.





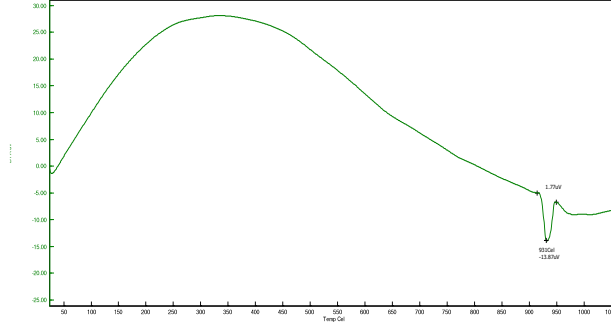
Şekil 10. (a) 30 dak (b) 60 dak ve (c) 120 dak öğütme ile MA üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımının SEM görüntüleri

MA ile 2 saat öğütme sonrası toz  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  alaşımının EDX elementel analiz spektrumları Şekil 13’de verilmiştir. EDX analizi incelendiğinde tozların homojen bir dağılım gözlenmiştir. Ayrıca MA ile Wang vd. [13,15] yaptıkları çalışmalarında 24, 12, 8 ve 4 saat öğütme sonrası da sinterleme işlemi gerçekleştirmiş ve mikro yapı incelemelerinde tane boyutlarının öğütme sürenin artmasıyla azaldığını gözlemlemişlerdir. EDX sonuçlarında Ag ve Cu elementleri tespit edilmiştir. Ancak nominal olarak hesaplanan Cu konsantrasyonunun az çıkmasının sebebi yapıda oluşan soğuk kaynaşma safhasında kaynaklanmaktadır. Bu sonuçlar 2 saatlik MA’dan sonra, öğütme işleminin devam etmesi gerektiğini göstermektedir. Öğütmenin devam etmesi sonucu soğuk kaynaşma sonrası toz tanelerinin kırılma aşamasına geçmesi beklenmektedir.



Şekil 11. MA ile üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  (2 saat) toz alaşımının EDX analiz spektrumu

MA yöntemi ile 2 saat öğütme sonrası elde edilen toz  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  alaşımının termal özellikleri DTA ile incelenerek, grafiği Şekil 12’te verilmiştir. Bu sonuç incelendiğinde, sadece tek endotermik pik tespit edilmiştir. Bu da yeni elde edilen toz alaşımın kararlı yapıda olduğunu ve  $931^{\circ}C$ ’de endotermik pikin alaşımın erime pikine karşılık geldiğini göstermektedir. XRD ile DTA sonuçları uyumlu olduğu görülmüştür. MA ile üretilen  $Ag_{92.5}Cu_{7.5}$  toz alaşımının mikro yapıda kararlı malzeme olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 12. MA ile üretilen Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> (2 saat) toz alaşımının DTA grafiği

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın amacı YGGA ve MA yöntemi ile üretilen Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> toz alaşımlarının (piyasada 925 ayar gümüş olarak bilinen Ag %92,5, Cu %7,5 oranında) yapısal ve ısıl özelliklerinin karşılaştırılmasıdır.

YGGA ve MA yöntemleri ile toz Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> alaşımları başarıyla üretilmiştir. YGGA yönteminde kullanılan külçe alaşımlar döküm yöntemiyle üretilmiştir. MA yönteminde kullanılan Ag ve Cu toz malzemeleri HM ile üretilmiştir. Üretilen alaşımların yapısal, morfolojik özellikleri için XRD, SEM-EDX ve termal özellikler DTA ile incelenmiştir.

YGGA yönteminde üretilen toz alaşımlarının mikro yapı özellikleri XRD’de Ag<sub>97</sub>Cu<sub>3</sub> fazlarına sahip olduğu, SEM’de toz tane şekilleri, yumrumsu ve çapraşık şekilde olduğu, toz yüzeylerinin gözenekli olduğu, EDX’de kimyasal bileşimin nominal oranlarla uyumlu olduğu ve DTA analizi sonucuna göre toz alaşımın kararlı ve erime sıcaklığına karşılık gelen endotermik pikine sahip olduğu gözlenmiştir.

MA tekniği üretilen Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> toz alaşımlarının sonuçları şu şekilde özetlenebilir; MA ile öğütme işlemi sonucunda Ag<sub>97</sub>Cu<sub>3</sub> katı çözümlü fazına sahip olduğu, SEM sonuçlarından, öğütme işleminin ilk safhalarında elementel tozların deformasyona uğrayarak birbiriyle reaksiyona girdiği anlaşılmıştır. Bu sayede tozların birbirleriyle kaynaştığı görülmekte, artan öğütme süresiyle beraber (2 saat) homojen bir yapı meydana gelmiştir. EDX analizi sonuçlarına göre homojen bir yapının oluştuğu görülmüştür. DTA analizinde 2 saat öğütme sonrası, kararlı faz da toz alaşımlarının üretildiği ve Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> toz alaşımlarının ergimesini temsil eden 931°C de endotermik pik tespit edilmiştir.

İki yöntemde de üretilen alaşımların 3B metal yazıcıda kullanılmasında gözlenen en önemli sorun, toz tane yapılarının küresel şekilde olmamasıdır. Bunun içinde; YGGA yönteminde üretilen toz Ag<sub>92.5</sub>Cu<sub>7.5</sub> alaşımlarının, sıvı nitrojen havuzundan sonra dik milli yuvarlama silindirleriyle tekrar öğütme işleminin yapılması ve MA yöntemi ile 2 saatten daha uzun sürelerde öğütme işlemlerinin denemesi gerektiği düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: 2017/6-8 YLS

#### Yazarların Katkısı

Makale, yazarların birlikte katkıları ile ortaya çıkarılmıştır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



## Kaynaklar

- [1] Kang J. W., Ma Q. X. 2017. The role and impact of 3d printing technologies in casting. *China Foundry*, 14 (3): 157-168.
- [2] Ramya A., Vanapalli S. L. 2016. 3D Printing technologies in various applications. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 7 (3): 396-409.
- [3] Reinman S.L., 2013. Patent research, *Information Literacy Instruction that Works: A Guide to Teaching by Discipline and Student Population*. Chicago (IL): Neal-Schuman, 299-311.
- [4] Shahrubudin N., Lee T. C., Ramlan R. 2019. An overview on 3D printing technology: technological materials, and applications. *Procedia Manufacturing*, 35: 1286-1296.
- [5] Yükçü S., Atağan G. 2014. Anadolu’da ilk paranın ayar ve alaşımı. *Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi*, 7: 28-48.
- [6] Yan X., Hao L., Xiong W., Tang D. 2017. research on influencing factors and its optimization of metal powder injection molding without mold via an innovative 3D printing method. *RSC Advances*, 7 (87): 55232-55239.
- [7] Oğuz Ş., Öztürk Z., Uzun E., Kurt A., Boz M. 2011. Gaz Atomizasyonu Yöntemi ile Kalay Tozu Üretiminde Gaz Basıncının Toz Boyutu ve Şekline Etkisi. 6th International Advanced Technologies Symposium, 565-568.
- [8] Zhao X., Xu J., Zhu X., Zhang S. 2009. Effect of atomization gas pressure variation on gas flow field in supersonic gas atomization. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 52 (10): 3046-3053.
- [9] Uslan İ., Küçükarslan S. 2010. Kalay tozu üretimine gaz atomizasyonu parametrelerinin etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25 (1).
- [10] Barış A. 2019. Nanokristal Co70Si15B15 toz alaşımların yapısal, termal ve manyetik özelliklerinin incelenmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23 (1): 83-89.
- [11] Akkaş M., Çetin T., Mustafa B. 2018. Gaz atomizasyonu yöntemi ile Al<sub>12</sub>Si tozu üretimi ve karakterizasyonu. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 9 (2): 795-804.
- [12] Shafiei B., Shahabpour J. 2012. Geochemical aspects of molybdenum and precious metals distribution in the sar cheshmeh porphyry copper deposit, Iran. *Mineralium Deposita*, 47 (5): 535-543.
- [13] Wallner S. 2019. Powder production technologies. *BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte*, 164 (3): 108-111.
- [14] Rai G., Lavernia E., Grant N. 1985. Powder size and distribution in ultrasonic gas atomization. *JOM*, 37 (8): 22-26.
- [15] Hong S.-J., Chun B.-S. 2003. Extrusion behavior of gas atomized nanostructured Al<sub>88.7</sub>Ni<sub>7.9</sub>Mn<sub>3.4</sub> alloy powders. *Materials Science and Engineering: A*, 348 (1-2): 262-270.
- [16] Ulate-Kolitsky E., Tougas B., Neumann B., Schade C., Huot J. 2020. First hydrogenation of mechanically processed TiFe-based alloy synthesized by gas atomization. *International Journal of Hydrogen Energy*. 46 (10): 7381-7389.
- [17] Ellis T., Anderson I., Downing H., Verhoeven J. 1993. Deformation-processed wire prepared from gas-atomized Cu-Nb alloy powders. *Metallurgical Transactions A*, 24 (1):21-26.
- [18] Shen H., Li Z., Günther B., Korznikov A., Valiev R. 1995. Influence of powder consolidation methods on the structural and thermal properties of a nanophase Cu-50wt% Ag alloy. *Nanostructured Materials*, 6 (1-4): 385-388.
- [19] Enzo S., Cocco G., Macrí P. 1993. Phase analysis in materials prepared by mechanical alloying in key engineering materials. *Trans Tech Publications*, 81: 49-58.
- [20] Ghosh P., Kormout K., Todt J., Lienert U., Keckes J., Pippan R. 2019. An investigation on shear banding and crystallographic texture of Ag–Cu alloys deformed by high-pressure torsion. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 233 (3): 794-806.
- [21] Pu M., Li X., Liu H., Zhou J. 2018. The experimental investigation and modeling on the mechanical behavior of dual-phase approximate equiaxial nanocrystalline AgCu alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 734, 129-138.

- [22] Nouri A., Chen X., Li Y., Yamada Y., Hodgson P. D. 2008. Synthesis of Ti–Sn–Nb alloy by powder metallurgy. *Materials Science and Engineering: A*, 485 (1-2): 562-570.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Radar HF Bandı RF Güç Yükselteci**

Egemen MEHTER<sup>1</sup>, Rıdvan Berk BİLGİÇ<sup>1</sup>, Murat ÜÇÜNCÜ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Başkent Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, Bağlıca Kampüsü, Ankara*  
(ORCID: [0000-0003-4020-1993](https://orcid.org/0000-0003-4020-1993)) (ORCID: [0000-0003-4941-6640](https://orcid.org/0000-0003-4941-6640)) (ORCID: [0000-0002-2113-1398](https://orcid.org/0000-0002-2113-1398))

---

### **Öz**

Bu çalışmada; Radar HF bandında (9-10 MHz) 1kW çıkış gücüne sahip RF güç yükselteci tasarımı ve üretimi yapılmıştır. Sistem; 2 adet güç yükselteci, 1 adet güç bölücü, 1 adet güç birleştirici olmak üzere 4 ana üniteden oluşmaktadır. Güç yükselteçlerinin (2 adet) her biri yaklaşık 600W çıkış gücüne sahip olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Kayıplar göz önüne alınarak 600W çıkış gücü hedef olarak belirlenmiştir. Minimum %50 verimlilik elde edilmesi öngörülmüştür. Her bir yükselteçten minimum 20 dB kazanç elde edilmektedir. Tek girişte sağlanan gücün 2 ayrı kola bölünerek güç yükselteçlerinin girişlerine bağlanması amacıyla güç bölücü tasarlanmıştır. İki ayrı güç yükseltecinden gelen çıkış güçlerinin tek bir noktada toplanarak çıkışta 1kW güç alınabilmesi amacıyla güç birleştirici tasarlanmıştır. Sonuç olarak, belirtilen tüm alt sistemler bir araya getirilerek istenilen tasarım kriterlerini sağlayan 1kW çıkış gücüne sahip bir güç yükselteci tasarlanmış ve üretilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** RF güç yükselteç, Güç bölücü, Güç birleştirici, HF radar bandı.

---

## **Radar HF Band Power Amplifier**

### **Abstract**

In this study, an RF power amplifier with 1kW output power suitable for Radar HF band (9-10 MHz) is designed and produced. The system is composed of 4 main units: 2 power amplifiers, 1 divider and 1 combiner. Power amplifiers (2 units) are each designed to have an output power of approximately 600W. Considering the losses, 600 W output power is determined as the target. It is aimed to achieve a minimum efficiency of 50%. Minimum 20 dB gain is obtained from each amplifier. A divider is designed to divide the power provided in the single input into 2 separate branches and connect it to the inputs of the power amplifiers. A combiner is also designed in order to collect 1kW power at the output by integrating the two output powers from the two separate power amplifiers in a single point. As a result, a high-power amplifier with 1 kW output power is designed and manufactured by integrating all subsystems.

**Keywords:** RF power amplifier, Divider, Combiner, HF radar band.

---

### **1. Giriş**

RF güç yükselteci, DC giriş gücünü önemli bir verim ile bir RF çıkış gücüne dönüştüren elektronik bir devredir. Doğrusallık, verimlilik, çıkış gücü seviyesi, bant genişliği ve kullanılan tasarım teknikleri bakımından çeşitli güç yükselteçleri bulunmakla birlikte; RF güç yükselteçleri çıkışta, giriş sinyalinin orijinal dalga şeklini korumaya çalışan doğrusal yükselteçler ile giriş sinyalinin orijinal dalga şeklini koruyamayan, dolayısıyla doğrusal olmayan güç yükselteçleri olarak iki ana kategori altında incelenebilir.

Güç yükselteçleri, haberleşme, seyrüsefer ve radyo yayınları için HF' den milimetrik dalgalara kadar uzanan geniş bir frekans bandında kullanılırlar. Uygulamalara göre güç düzeyleri farklılıklar göstermekte; uzun menzilde 10 kW gibi çok yüksek güce kadar, kısa menzil kablosuz iletişimde ise 1 mW gibi çok düşük güç seviyelerinde güç yükselteçleri kullanılabilir. Bazı uygulamalarda farklı yüksek güç seviyeleri gerekebilmektedir. Bu uygulamalar için doğrusallık, güç, bant genişliği, verimlilik

---

\*Sorumlu yazar: [murat.ucuncu@yahoo.com.tr](mailto:murat.ucuncu@yahoo.com.tr)

Geliş Tarihi: 08.03.2021, Kabul Tarihi: 06.10.2021



ve maliyet önemli parametrelerdir [1].

Önceki çalışmalara ilişkin yapılan literatür taramasında çoğunlukla E Sınıfı anahtarlama modu güç yükselteçleriyle ilgili çalışmaların ön planda olduğu görülmektedir. E Sınıfı güç yükselteçlerinde; transistör, anahtar gibi çalıştırılarak akım ve voltaj dalga formları şekillendirilmekte, eşzamanlı olarak yüksek akım ve yüksek voltaj oluşması engellenmektedir. Bu şekilde yüksek verimlilik elde edilmektedir [2].

Frederick H. Raab [3] tarafından gerçekleştirilen çalışmada 1.8 – 128 MHz frekanslarında 200 W çıkış gücü elde edilmiş ve 128 MHz’de minimum verimlilik %70 olarak ölçülmüştür.

E Sınıfı güç yükselteç tasarımı alanında Masahiko Yamazoe, Kazuhisa Haeiwa, Shoji Hirose [4] tarafından yapılan çalışmada; itme-çekme topolojisinden faydalanılmış ve 3-26 MHz frekans bandında %74 verimlilikle 100 Watt çıkış gücü elde edilmiştir.

Arturo Mediano, Francisco Javier Ortega-Gonzalez [5] tarafından gerçekleştirilen çalışmada 2 adet E Sınıfı güç yükselteç tasarlanmıştır, HF ve VHF bantlarını kapsayan bu güç yükselteçlerinde %90 verimlilikle sırasıyla 50 W ve 150 W çıkış gücü elde edilmiştir.

Bu çalışmaların ortak özellikleri E Sınıfı olmalarıdır. Bu sebeple de güç yükselteçlerinin verimlilik değerleri yüksek, doğrusallıkları ise düşüktür.

Mincheol Seo [6] tarafından yapılan A Sınıfı güç yükselteci tasarım çalışmasında; 2-512 MHz aralığında minimum 40W (46dBm) çıkış gücü elde edilmiştir. Söz konusu çalışma kapsamında; LDMOS transistör ve itme-çekme topolojisi tercih edilmiştir. Frekans Bandı boyunca güç yükselteç kazancının minimum 41.5 dB, güç eklemeli verimlilik (PAE: Power Added Efficiency) değerinin minimum %28.3 olduğu belirtilmektedir.

Güç kazancı ile ilgili bir diğer çalışma Juliusz Modzelewski [7] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada E Sınıfı güç yükselteçlerinde itme-çekme topolojisinin yüksek verimlerde daha yüksek çıkış güçlerini desteklediği belirtilmektedir.

İncelenen bir diğer çalışma Ahmad Zakaria Ahmad, Ekta Aggrawal ve Karun Rawat [8] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada LDMOS transistör kullanılarak 2.1 GHz’de 100 W (50dBm) çıkış gücü elde edilmiş, kazanç ise 10.8 dB olarak ölçülmüştür. Çalışmada %52.5 verimlilik elde edildiği belirtilmektedir.

Adnan Raza ve Jeff Gengler [9] tarafından GaN HEMT transistör teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada ise 100-1000 MHz bant aralığında 70 W çıkış gücü ve %60 verimlilik elde edilmiştir.

E Sınıfı güç yükselteçlerinin verimlilikleri yüksek, doğrusallıkları ise düşüktür. Bu özelliklerinden dolayı QAM (Quadrature Amplitude Modulation : Dördün Genlik Modülasyonu), OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing : Dikey Frekans Bölmeli Çoklama) ve benzeri modülasyon teknikleri ile modüle edilen sinyalleri yükseltmek için E sınıfı yükselteçler tercih edilmez. A, B, AB Sınıfı güç yükselteçleri ise doğrusal güç yükselteçleridir [10-12]. Bu nedenle QAM, OFDM sinyallerin yükseltilmesinde doğrusal güç yükselteçleri kullanılır. A Sınıfı güç yükselteçlerinin doğrusallığı yüksek, verimleri ise düşüktür, B Sınıfı yükselteçlerin ise A Sınıfı yükselteçlere kıyasla verimi yüksek, doğrusallıkları ise düşüktür. A ve B sınıfı yükselteçlerin ara sınıfı olan AB Sınıfı yükselteçler ise A sınıfının doğrusallık, B sınıfının verimlilik özelliklerine sahiptir. Bu çalışmada belirtilen nedenlerle AB Sınıfı güç yükselteci tasarımı tercih edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu makalede, Radar HF (9-10 MHz) bandında 1 kW çıkış gücüne sahip güç yükselteci tasarımı ve üretimi ele alınmaktadır. Yükselteç tasarımında güç kayıpları dikkate alınarak her biri 600 W çıkış gücüne sahip 2 yükselteç tasarımı ele alınmış ve her bir yükselteç için 20 dB kazanç ve minimum %50 verimlilik öngörülmüştür. Belirtilen 2 ayrı güç yükseltecinin bölünmesi ve birleştirilmesi için kullanılan birleştirici – bölücü yapılarının 0.3 dB araya girme kaybı, 15 dB geri dönüş kaybı ve 20 dB izolasyon kriterlerini sağlaması hedeflenmiştir.

Güç yükselteci devresinde donanım olarak; yüksek güç kapasiteli ve doğrusal olma gibi temel etmenlerden dolayı LDMOS teknolojisine sahip 2 adet Ampleon BLF188XR güç transistörü kullanılmıştır [13]. LDMOS teknolojisi çeşitli RF uygulamaları için önde gelen teknolojilerden biridir. VHF, UHF baz istasyonu, RF aydınlatma ve mikrodalga pişirme aygıtları bu teknolojinin kullanıldığı bazı örneklerdir [14]. Bu uygulamada kullanılan transistörler, çift dereceli harmonikleri teorikte

tamamen, pratikte de yüksek oranlarda bastırabilme özelliği nedeniyle itme-çekme topolojisinde seçilmiştir. İtme-çekme topolojisinin bir diğer avantajı da yüksek giriş ve çıkış empedansından dolayı geniş bant genişliğine olanak sağlamasıdır [15]. Bu transistörlerin seçilmesindeki diğer bir parametre ise kullanılmaya aday farklı transistörler arasında yapılan değerlendirmede BLF188XR transistörünün HF bandında istenilen kazanç, çıkış gücü ve verimlilik kriterlerini sağlamasıdır.

## 2.1. Donanım Mimari Yapısı

Güç yükselteçlerinin girişinde bölücü kullanılmıştır. Bu kapsamda tasarlanan ve üretilen 2-yollu bölücü donanımının amacı, tek girişte sağlanan gücün 2 ayrı kola bölünerek güç yükselteçlerinin girişlerine bağlanmasıdır. Güç yükselteçlerinin çıkışlarında ise birleştirici kullanılmıştır. Bu çalışmada tasarlanan ve üretilen 2-yollu birleştirici yapısının görevi ise iki ayrı güç yükselteçinden gelen çıkış güçlerinin tek bir noktada toplanarak çıkışta 1kW güç elde edilmesini sağlamaktır.

## 2.2 Tasarım Parametreleri

Güç yükselteçleri, haberleşme sistemlerinin verici yapılarından yayılan sinyalin bozulmaya uğramadan yükseltilerek antene ulaşabilmesini sağlayan devre elemanları olarak tanımlanabilir. Bir RF güç yükselteci güç transistörleri, giriş uyumlaştırma devresi, çıkış uyumlaştırma devresi ve kutuplama (bias) devresi ana bloklarından oluşmaktadır. Güç transistöründen maksimum oranda kazanç ile çıkış gücü alınabilmesi için transistörün giriş ve çıkışında empedans uyumlama devreleri kullanılması gerekir. Kutuplama devresinin amacı ise, güç yükseltecinin çalışma noktasını ayarlayabilmektir. DC giriş gücünü, RF çıkış gücüne dönüştüren temel eleman ise güç transistörleridir. Günümüzde tasarlanan devrelerin, ölçüm cihazlarının, akademik çalışmaların büyük çoğunluğunda empedans uyumu için 50  $\Omega$  kullanılmaktadır. Bu nedenle sistemin giriş ve çıkış empedansları 50  $\Omega$  olarak seçilmiştir. Böylece yansımalarından kaynaklı kayıplar en aza indirilmeye çalışılmıştır.

Tasarımın başlangıcında çıkış gücü, verimlilik, güç eklemeli verimlilik, bant genişliği, kazanç, doğrusalık, yansıma, S parametreleri ve kararlılık temel tasarım parametreleri olarak seçilmiştir. Bu parametrelere ilişkin detay tanımlamalar çeşitli kaynaklarda açıklanmaktadır [16,17].

## 2.3 Güç Yükselteci Sınıfları

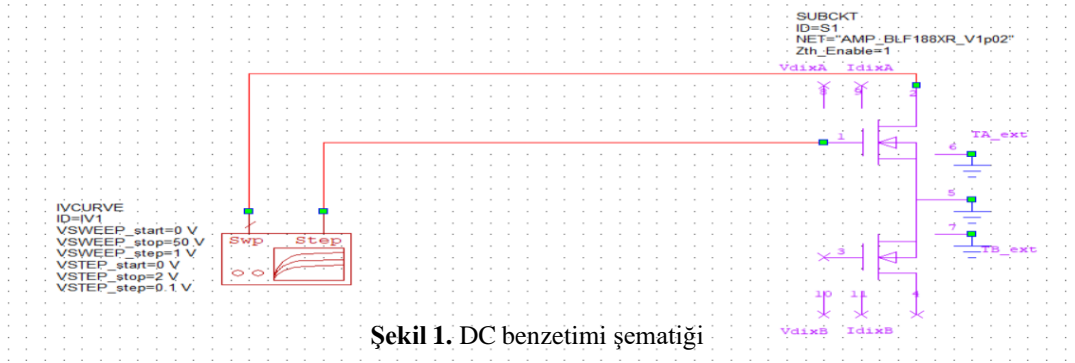
Bu makalede tasarımı ele alınan yükselteç AB sınıfı yükselteçtir. AB sınıfı, A sınıfı ve B sınıfı yükselteçlerin özelliklerini kendi yapısı altında bir arada toplar ve böylece A sınıfının doğrusalık, B sınıfının verimlilik özelliklerini taşır. Hem doğrusalık, hem de verimlilik ihtiyaçlarını karşılamak için eşik geriliminin üzerinde dikkatlice kutuplama yapılır. AB sınıfı yükselteçler, B sınıfı yükselteçler gibi sıklıkla itme-çekme yapıda kullanılır. Transistör yarım döngüden fazla aktif bölgede çalıştığı için birleşme noktasındaki bozulma azdır ve böylece daha doğrusal ve verimli bir yapı elde edilmektedir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Güç Yükselteci Tasarımı Simülasyon Çalışmaları

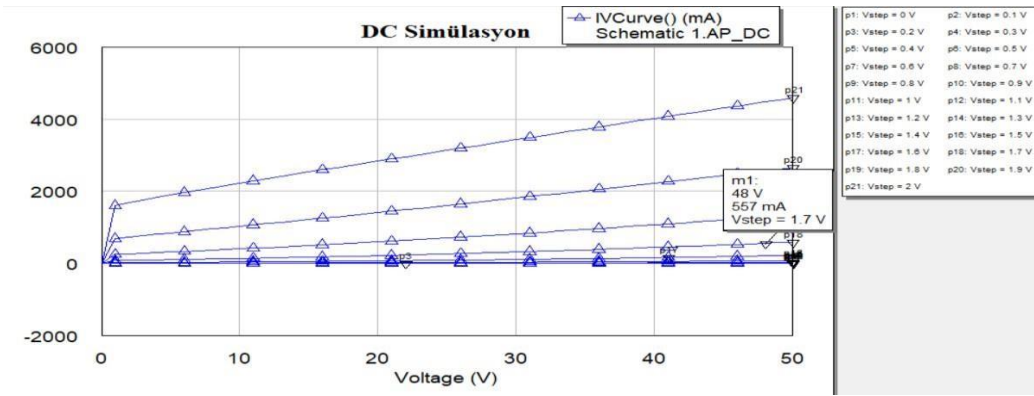
#### 3.1.1 DC Benzetimi

DC benzetiminin amacı güç yükseltecinde kullanılacak transistörün istenilen çalışma sınıf aralığında çalışabilmesi için en uygun besleme voltaj değerinin belirlenmesidir. Bu kapsamda öncelikle DC benzetim çalışması yapılmıştır. Güç yükselteci kapsamında kullanılması planlanan “Ampleon BLF188XR” transistörünün teknik özellikleri incelendiğinde VDS geriliminin 50V’a kadar yükseltilebileceği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, VDS değeri 48V olarak belirlenmiştir. Güç yükselteç tasarımında; VDS değerine karşılık gelen VGS değerinin hesaplanması gerekmektedir. Bu maksatla AWR yazılımı desteği ile Şekil 1’deki devre kurulmuştur. Devrede IVCURVE kullanarak VGS ve VDS voltajlarını istenilen değer aralıklarında değiştirerek ortaya çıkan IDS akımı gözlemlenmiştir.



Şekil 1. DC benzetimi şematığı

AWR yazılım paketi kullanılarak yapılan DC benzetim sonucu Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. IV eğrisi

Şekil 2’de VDS değerlerinin 0-50 V arasındaki değişimi ile VGS değerlerinin 0-2 V aralığındaki değişimleriyle birlikte transistörden akacak IDS akım değerinin ayarlanması gösterilmektedir. VDS değeri bir önceki paragrafta açıklandığı üzere 48V olarak belirlenmiştir. AB Sınıfı tasarım için çalışma noktasını kesim bölgesinden bir miktar yukarıda seçmek gerekir. Bu nedenle transistör için IDS akımını yaklaşık 500-550 mA olarak ayarlamının uygun olacağı belirlenmiştir. Burada, ‘m1’ işaretçisinin de gösterdiği üzere 48V VDS ve 1.7V VGS değerine karşılık IDS akımı 557mA’dır. Bu sonuçla birlikte VGS değeri 1.7V olarak belirlenmiştir.

### 3.1.2 Yük Çekme ve Kaynak Çekme Analizleri

Bu analizlerin amacı; transistörün en uygun giriş ve çıkış empedansını belirlemektir. Transistörün en uygun giriş ve çıkış empedansını belirlemek uyumlama devresini tasarlamak için önemlidir. Kazanç, çıkış gücü, verimlilik gibi kısıtların sağlanması için giriş-çıkış empedansları doğru bir şekilde belirlenmelidir.

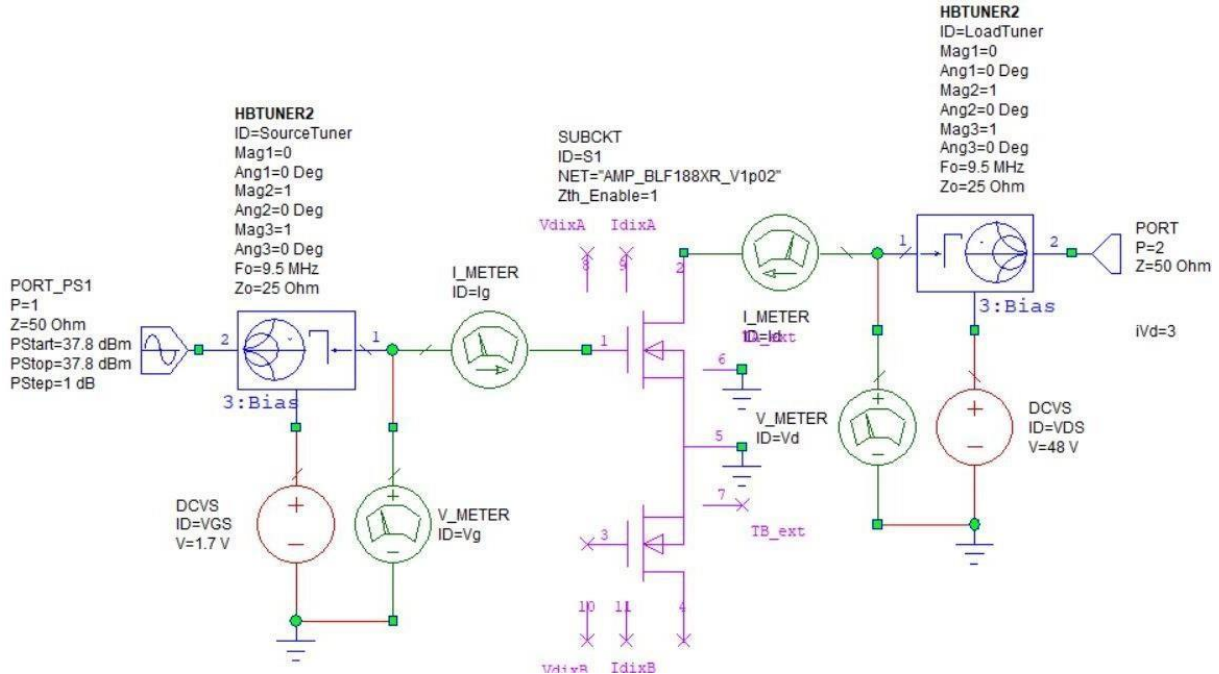
Yük çekme analizi için AWR yazılımı desteği ile Şekil 3’deki devre kurulmuş ve belirtilen değerler elde edilmiştir. Bu devrede güç transistörleri çalıştırma noktasına uygun VGS ve VDS değerleriyle beslenerek, istenilen frekansta kullanıcının belirlediği yansıma katsayısı büyüklük ve açı değerlerinde en uygun giriş ve çıkış empedansını ayarlamak için ‘HBTUNER2’ kullanılmıştır. Devrenin giriş ve çıkışında 1:1 Bal-un yapısı kullanılarak 25  $\Omega$  olan empedans 50  $\Omega$  değerine dönüştürülmektedir. Bu nedenle benzetim çalışmasında akort empedans değerleri 25  $\Omega$  olarak kullanılmıştır.

Smith diyagramı radyo ve mikrodalga frekanslarındaki iletim hatlarının tasarımı ve empedans eşleşmesinde sıklıkla kullanılan bir grafikdir. Şekil 4’de Smith diyagramı üzerinde 3 çeşit kontur bulunmaktadır. Mavi konturlar çıkış gücünü, pembe konturlar verimliliği, kahverengi konturlar ise kazancı temsil etmektedir.

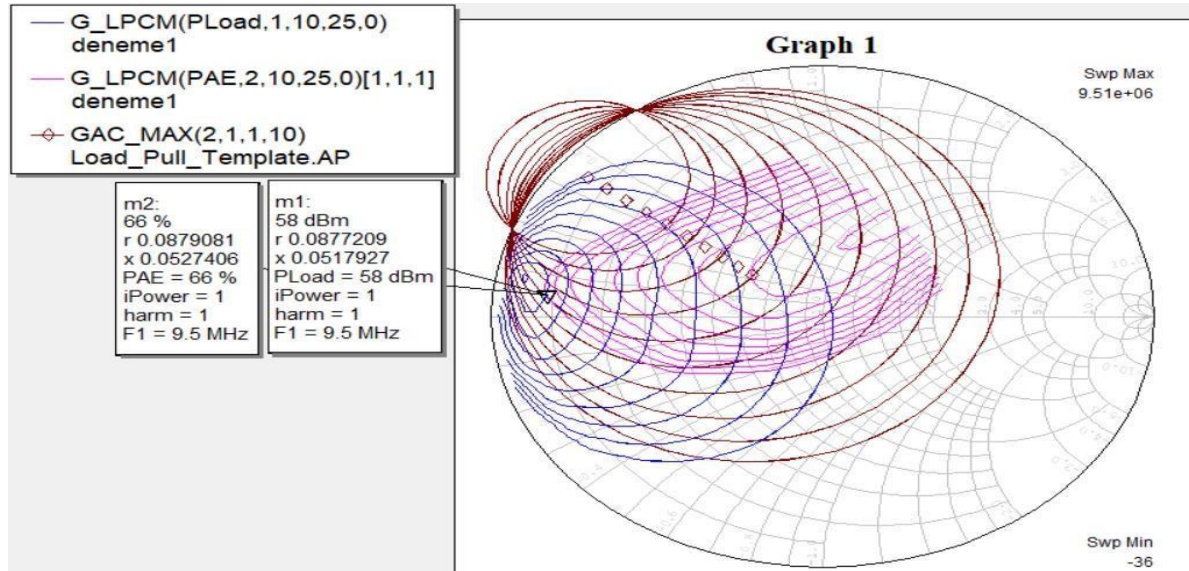
Bu konturlar üzerinde en uygun çıkış empedans belirlemesi yapılmıştır. Seçilen noktanın 58 dBm çıkış gücü ve %66 verimliliğe sahip olduğu, bu değerlerin de isterleri sağladığı görülmektedir.

Seçilen empedans değeri Şekil 4’de görüldüğü gibi  $0.087 + j 0.051 \Omega$  ‘dur. Bu değer  $25\Omega$  ile normalize edilmiş değerdir. Başka bir deyişle, transistörün en uygun çıkış empedansı bu değer 25 ile çarpılması ile elde edilen yaklaşık  $2.17 + j1.27 \Omega$  değeridir.

Kaynak Çekme analizi ile benzer işlemler transistörün en uygun giriş empedansını belirlemek için yapılmıştır. Belirlenen en uygun giriş ve çıkış empedanslarına göre giriş ve çıkış empedans uyumlama devreleri tasarlanmıştır.



Şekil 3. Yük çekme analiz şematığı



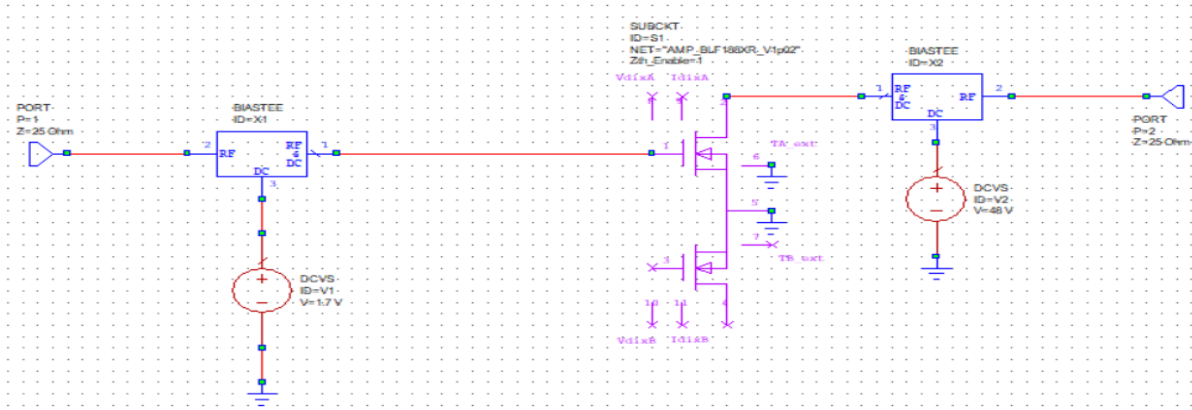
Şekil 4. Yük çekme analiz sonucu

### 3.1.3 Kararlılık Analizleri

Kararlılık analizlerinde AWR yazılım paketi kullanılmış, Rollet Kararlılık (K) ve B1 yardımcı kararlılık faktörü değerleri incelenmiş ve bu değerlerin bulunmasını sağlayan denklemler [18]-[19] kullanılarak AWR programında kararlılık ile ilgili benzetimler yapılmıştır.

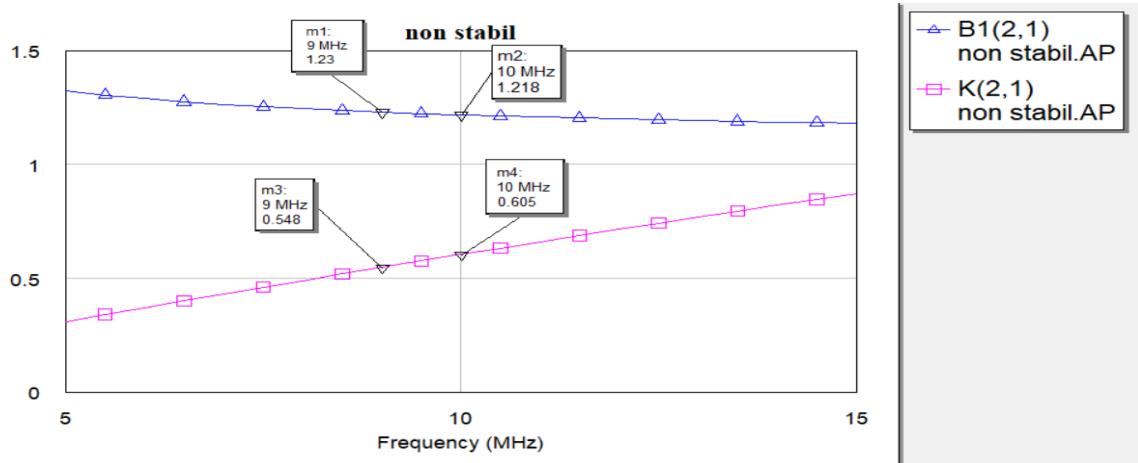
Burada, temel hedef transistörün koşulsuz kararlı şekilde çalışmasıdır. Bunun için  $K>1$ ,  $B1>0$  şartlarının sağlanması gerekmektedir [18]. Şekil 5’de kararlılık analizi için tasarlanan devre ve Şekil

6’da benzetim sonuçları gösterilmektedir.



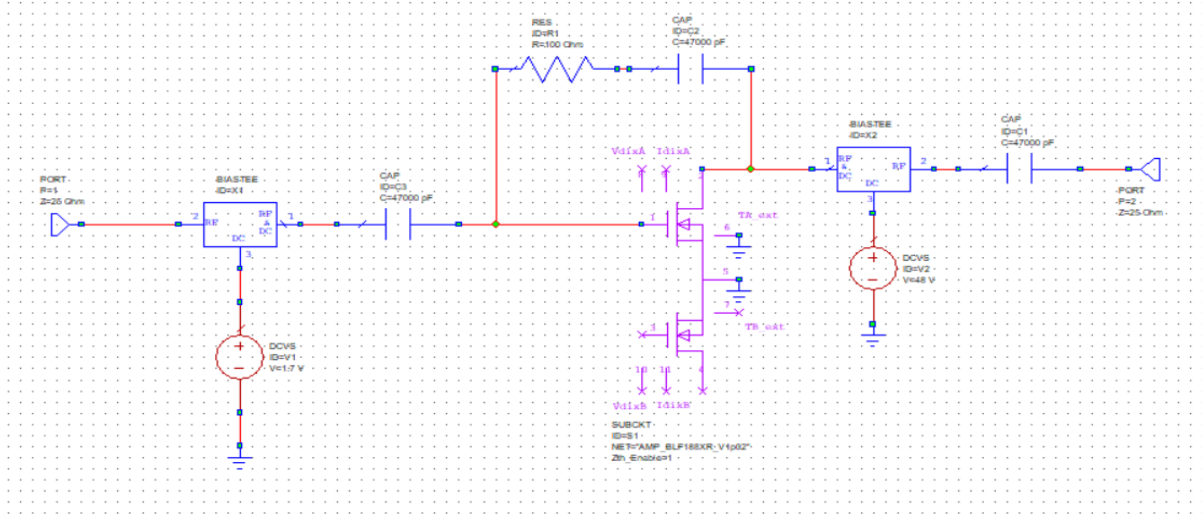
Şekil 5 Kararlılık analizi için kurulan devre şematiği

Şekil 6’daki sonuca göre  $B1 = 1.2$ ,  $K$  ise yaklaşık olarak  $0.55$ ’dir. Bu değerlere göre tasarlanan sistem “koşulsuz kararlılık” kriterini sağlamamaktadır. Transistörü koşulsuz kararlı çalıştırmak için araştırma yapılmış ve savak – kapı geri beslemesi kullanılmasının kararlılığa olumlu yönde etki ettiği gözlemlenmiştir [1]. Savak – kapı geri beslemesi sisteme eklenmiş ve kararlılık benzetimleri tekrar edilmiştir. Savak – kapı geri beslemesinde kullanılan değerler AWR programında ince ayar yapılarak belirlenmiştir. Elde edilen yeni değerler dikkate alındığında  $K > 1$ ,  $B1 > 0$  koşulları sağlanarak “koşulsuz kararlılık” elde edilmiştir.

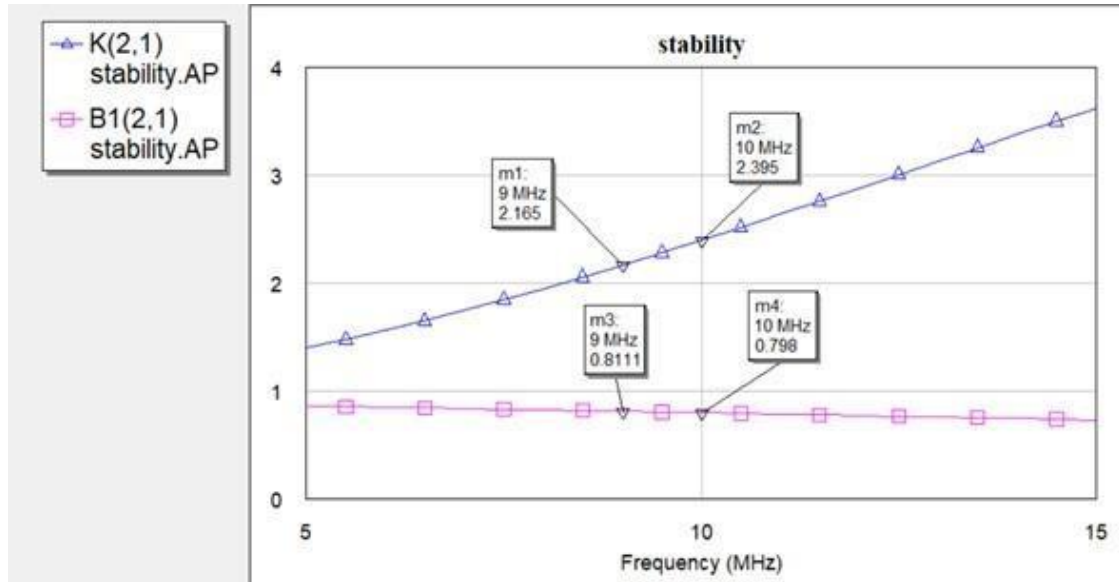


Şekil 6. Kararlılık analiz sonucu

Şekil 7’de RC geri besleme eklenmiş sistem, Şekil 8’de ise elde edilen yeni değerler gösterilmektedir. Şekil 8’deki sonuçlara göre 9 – 10 MHz aralığında  $K = 2.2$ ,  $B1 = 0.8$  olduğu görülmektedir. Eklenen geri besleme yapısıyla tasarlanan sistem “koşulsuz kararlılık” kriterine uygun hale getirilmiştir. Geri besleme devresinde kullanılacak değerlerin tespiti için AWR yazılımı kullanılmıştır.



Şekil 7. Geri besleme eklenmiş devre

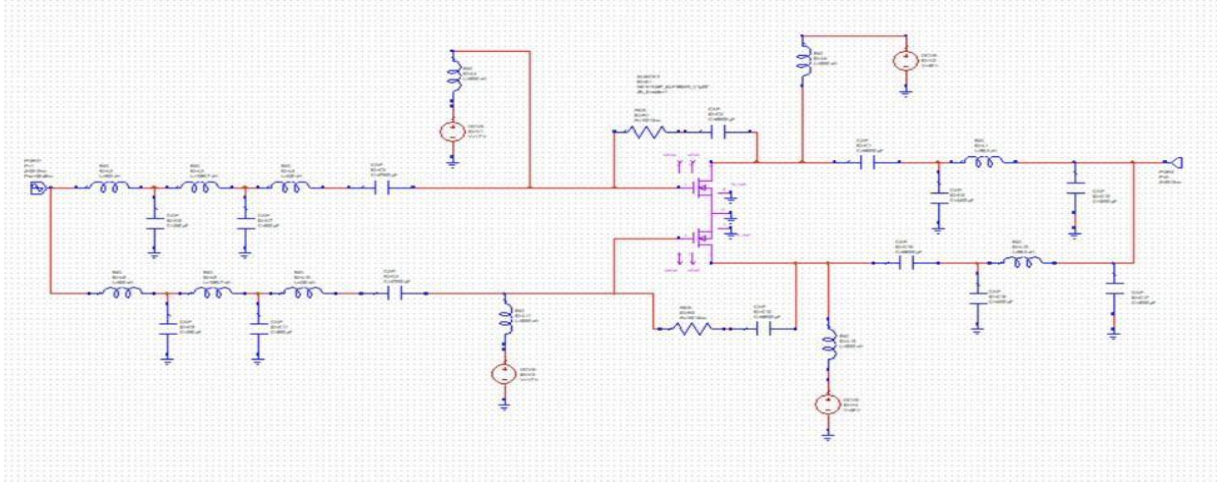


Şekil 8. Geri beslemeli devrenin kararlılık analiz sonucu

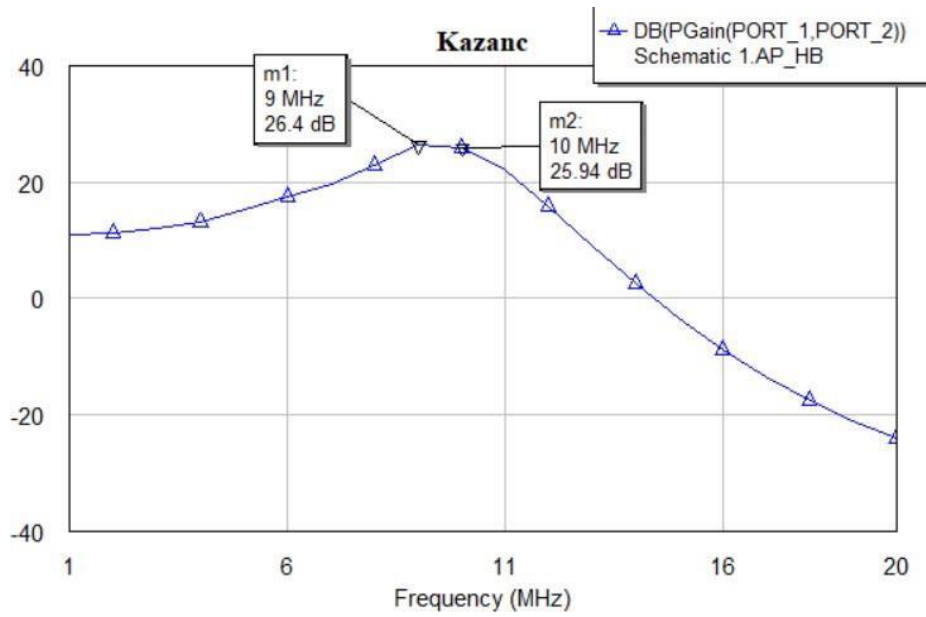
### 3.1.4 Kazanç – Çıkış Gücü – Verimlilik Ölçüm Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde AWR kullanılarak yapılan “Yük Çekme ve Kaynak Çekme” analizleri, giriş – çıkış empedans uyumlama devre tasarımı; kazanç, çıkış gücü, verimlilik hesaplamaları açıklanmaktadır. Ayrıca, benzetim çalışmalarında kıstasların sağlanıp sağlanmadığı irdelenmektedir. Şekil 9’da tasarlanan devrenin son hali gösterilmektedir. Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12’de ise sırasıyla kazanç, çıkış gücü, verimlilik sonuçları yer almaktadır.



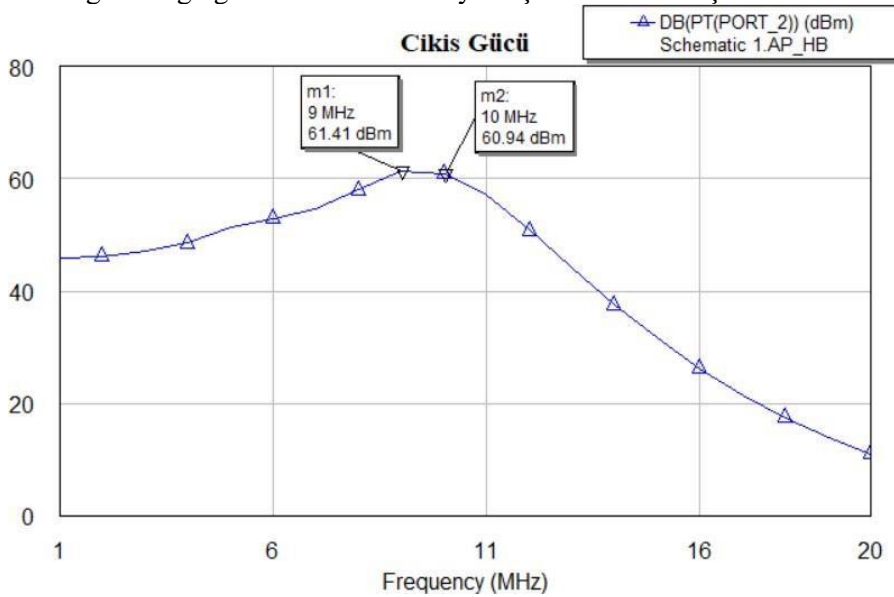


Şekil 9. Tasarlanan devrenin son hali



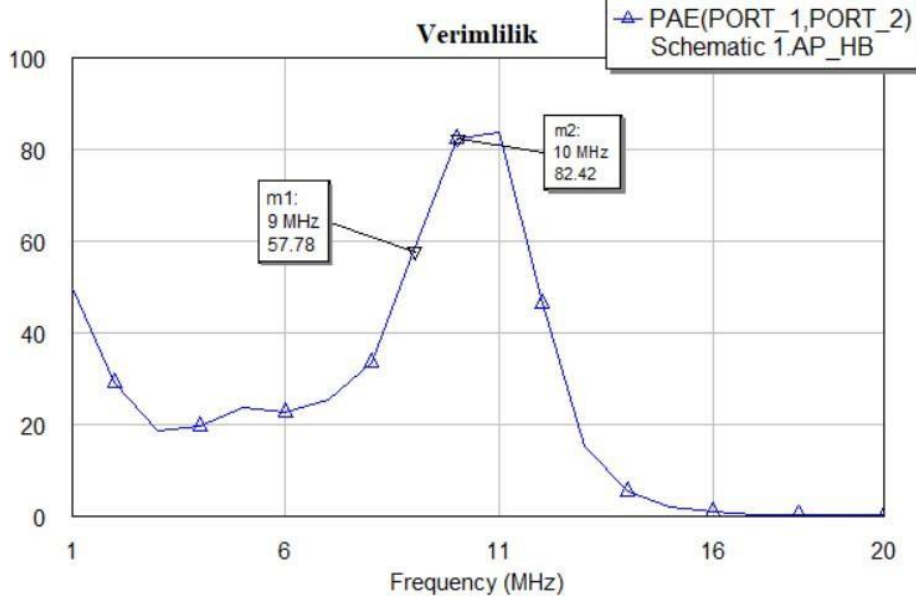
Şekil 10. Kazanç için benzetim sonucu

Şekil 10'da görüldüğü gibi 9 – 10 MHz' de yaklaşık 26 dB kazanç vardır.



Şekil 11 Çıkış gücü için yapılan benzetim sonucu

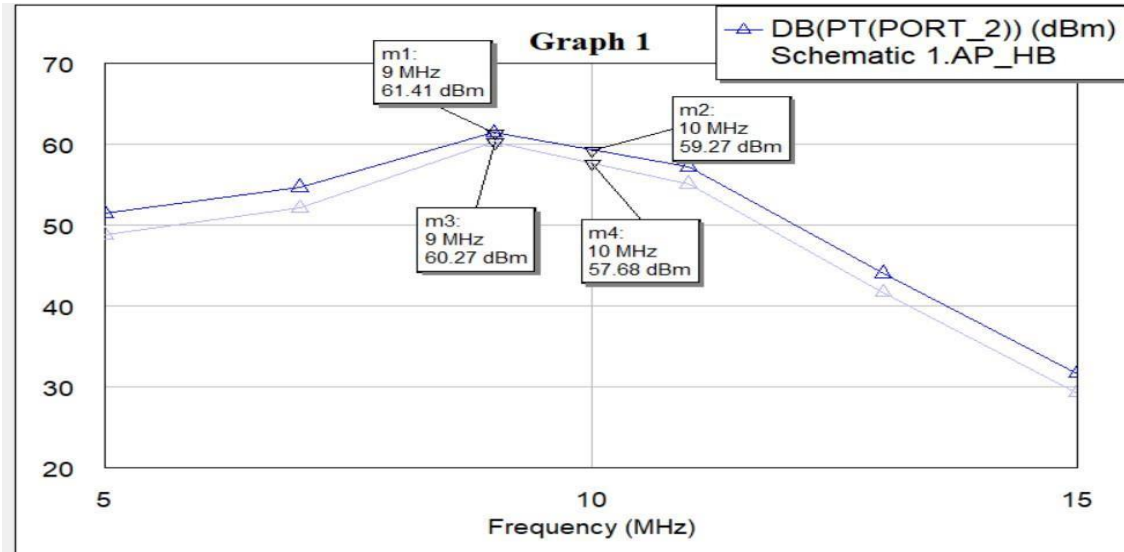
Şekil 11’de görüldüğü üzere 9 – 10 MHz’de yaklaşık 61 – 61.4 dBm çıkış elde edilmiştir.



Şekil 12. Verimlilik için yapılan benzetim sonucu

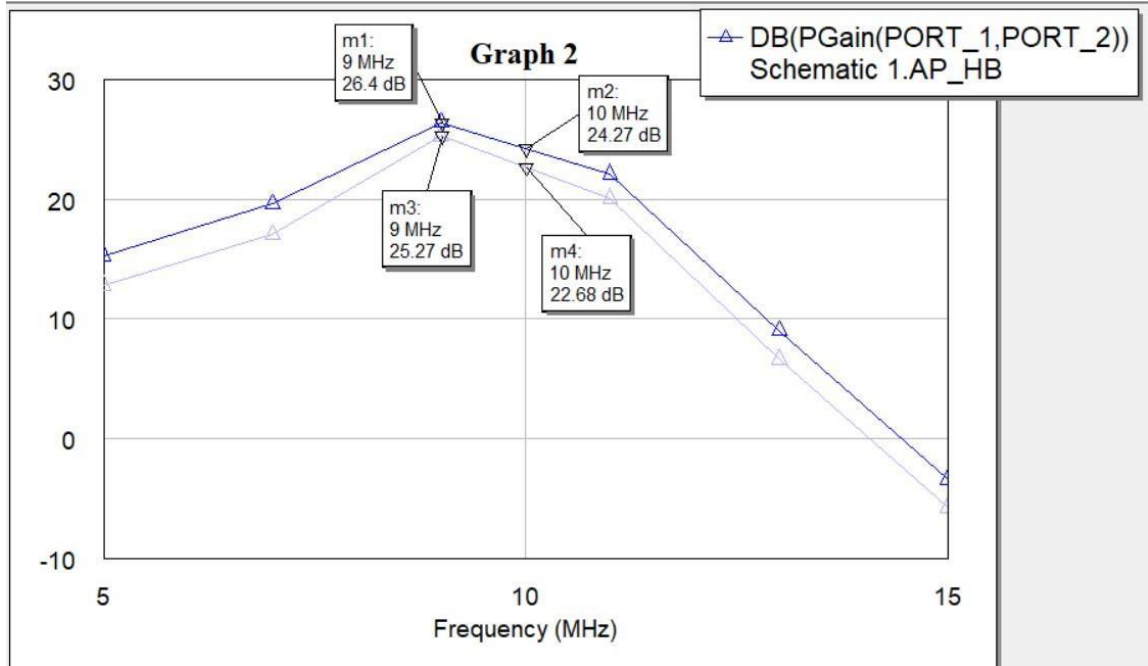
Şekil 12’de görüldüğü gibi istenilen frekanslarda yaklaşık yüzde 57 – 82 arası verimlilik elde edilmiştir. Netice olarak, kıstasların tümünün sağlandığı görülmektedir.

Geri besleme devresinde denenen tüm değerlerde “koşulsuz kararlılık” kıstası sağlanmaktadır. Bunun için seçilecek direnç değeri belirlenirken kazanç ve çıkış gücü benzetimlerinden istifade edilmiştir. Şekil 13 toplam çıkış gücü ölçümleri, Şekil 14 ise kazanç ölçümlerini göstermektedir. Şekil 13 ve Şekil 14’de açık renk ile gösterilen ölçüm sonuçları geri besleme devresinde 50  $\Omega$  direnç kullanıldığında elde edilen değerleri, koyu renk olarak gösterilen sonuçlar ise geri besleme devresinde 100  $\Omega$  kullanıldığında elde edilen değerleri göstermektedir. Her iki ölçümde de direnç olarak 100  $\Omega$  kullanıldığında elde edilen değerlerin daha iyi olduğu görülmektedir. Bu nedenle geri besleme devresinde 100  $\Omega$  kullanımına karar verilmiştir.



Şekil 13. Geri besleme devresi değeri belirlemek için çıkış gücü benzetimi





Şekil 14 Geri besleme devresi değer belirlemek için kazanç benzetimi

### 3.1.5 Güç Yükselteç Tasarımı ve Testi

#### 3.1.5.1 İlk Yükselteç Test Aşaması

Üretimi ve dizgisi tamamlanan yükseltecin test aşamasında öncelikle DC test yapılmıştır. DC testinin amacı benzetim çalışmasında yapıldığı şekilde  $V_{DS} = 48V$  iken  $I_{DS}$  akımının yaklaşık 1A olduğu  $V_{GS}$  değerini belirlemektir.  $V_{GS} = 1.8 V$  iken istenilen değere ulaşılmıştır. DC test aşamasından sonra çıkış gücü ve kazanç test edilmiştir. RF sinyalinin güç yükseltecine vermeden önce ön yükseltme işlemi yapılmıştır. RF güç yükseltecinin çıkış gücünü ölçmek için 'Yönlü Güç Ölçer' kullanılmıştır. Son işlem olarak, yükseltelen sinyalinin zayıflatma işlemi yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde tespit edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'deki değerler dikkate alınarak Verimlilik Denklem 1 'de belirtildiği şekilde hesaplanabilir.

Tablo 1. Test Ölçüm Sonuçları

$P_{in}$	$P_{out}$	Kazanç	Akım
34.6 dBm	58.44 dBm	23.80 dB	29.40 A

Kazanç yaklaşık olarak 23.8 dB'dir. Çıkış gücü ise 58.4 dBm, diğer bir deyişle çıkış gücü yaklaşık olarak 690 Watt'tır. Görüldüğü gibi verimlilik tasarım kistası olarak hedeflenen %50'ye çok yakındır. Böylece yükseltecin tasarım kistasını sağladığı anlaşılmaktadır.

$$PAE = \frac{P_{out} - P_{in}}{PDC} = \frac{698 - 3}{48 * 29,4} * 100 = 49,2\% \quad (1)$$

#### 3.1.5.2 İkinci Yükselteç Test Aşaması

İlk yükselteçte yapıldığı gibi önce DC test yapılarak, transistörün çalışma noktası ayarlanmıştır. Daha sonra RF sinyal üretici, ön yükselteç, zayıflatıcı ve tayf analizörü (spectrum analyser) kullanarak ölçüm yapılmıştır. Ölçüm yapıldıktan sonra kazanç değerini hesaplamak için ön yükselteç çıkış gücü

ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde tespit edilen değerler Tablo 2’de verilmiştir.

$P_{in}$	$P_{out}$	Kazanç	Akım
36 dBm	57.83 dBm	21.83 dB	26.1 A

Tablo 2’deki değerler dikkate alınarak verimlilik Denklem 2’de belirtildiği şekilde hesaplanabilir. Görüldüğü gibi verimlilik tasarım kistası olarak hedeflenen %50’ye çok yakındır. Böylece ikinci yükseltecin de tasarım kistasını sağladığı anlaşılmaktadır.

$$PAE = \frac{P_{out} - P_{in}}{PDC} = \frac{606 - 4}{48 * 26,1} * 100 = 48\%$$

(2)

### 3.2. Birleştirici-Bölücü Tasarımı ve Simülasyon Çalışmaları

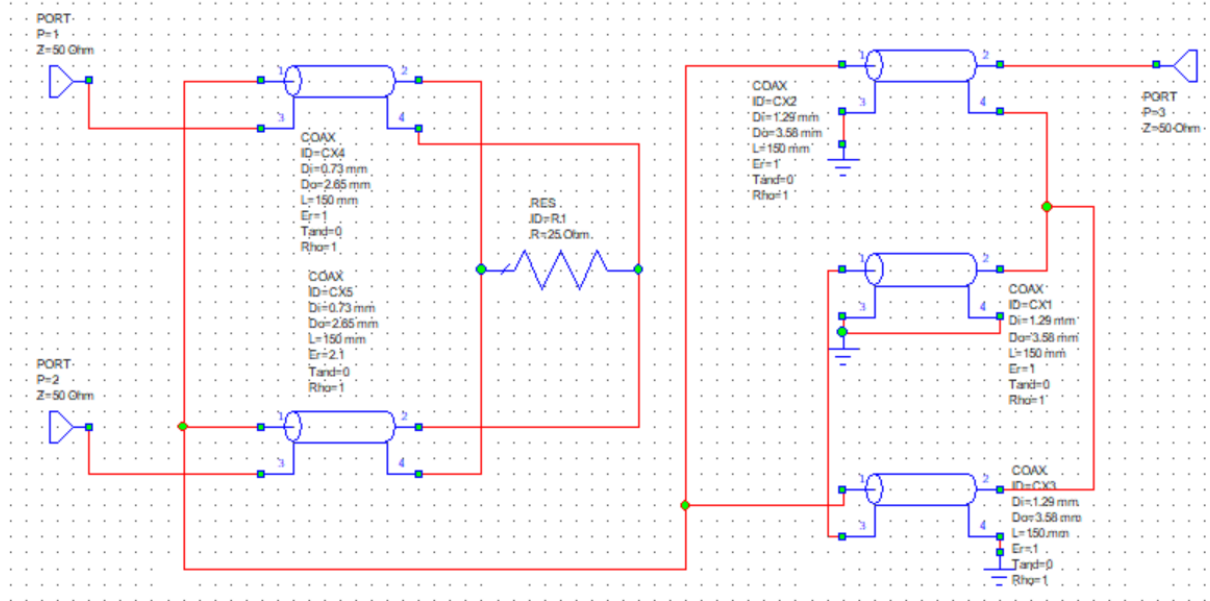
Tek girişte sağlanan gücün 2 ayrı kola bölünerek güç yükselteçlerinin girişlerine bağlanması amacıyla bölücü tasarımı, iki ayrı güç yükseltecinden gelen çıkış güçlerinin tek bir noktada toplanarak çıkışta 1kW güç alınabilmesi amacıyla da birleştirici tasarımı yapılmıştır.

Birleştirici – bölücü yapıları temelde aynıdır. Sadece yalıtım için kullanılan direncin güç değeri değişmektedir. Bölücü yapısında kullanılan direnç 5W, birleştirici yapısında kullanılan direnç ise 150W güce dayanacak şekilde seçilmiştir.

Birleştirici – bölücü yapısı 2 farklı bloktan oluşmaktadır. Bu yapıda ilk olarak 2 adet güç yükseltecinden gelen güçlerin birleştirildiği 2-yollu birleştirici bloğu ve arkasından 2:1 Un-Un TLT bloğu gelmektedir. 2-1 Un – Un TLT bloğunun amacı empedans dönüşümüdür. 2 girişten uygulanan güç önce birleştirici yapısına girmekte, daha sonra birleştirici yapısından çıkan 25  $\Omega$  değerinde empedans 2:1 Un-Un TLT yapısından geçerek çıkışta 50  $\Omega$  değerinde ve 1kW büyüklüğünde güç elde edilmesi hedeflenmiştir.

#### 3.2.1 Birleştirici – Bölücü Yapısı ve Benzetim Çalışmaları

Tasarlanan birleştirici-bölücü yapının AWR üzerinde çizilmiş şematik görüntüsü Şekil 15’deki gibidir.

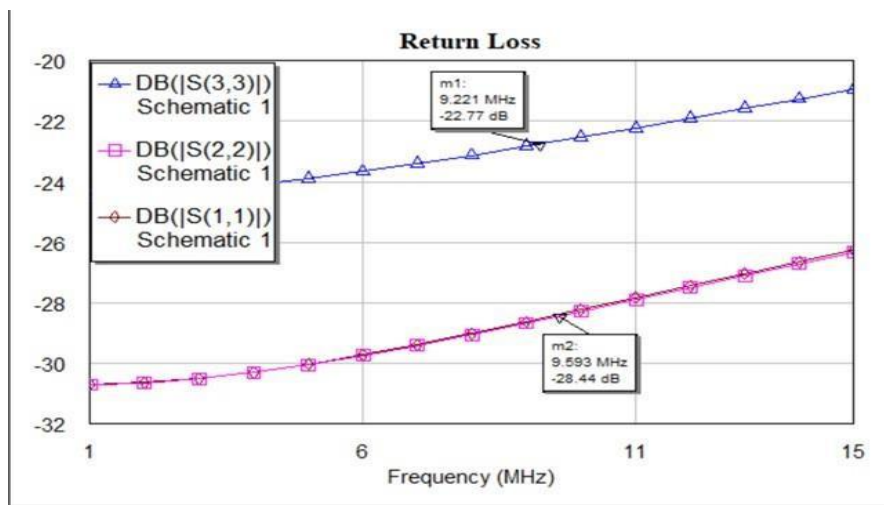


Şekil 15. Bölücü-birleştirici şematik çizimi

Şekil 15’de 2-yollu birleştirici ve 2:1 Un-Un TLT yapıları birleştirilmiştir. Sağ tarafta 3 koaksiyel kablo yapısı ile birleştirilmiş olan kısım 2:1 Un-Un TLT yapısıdır. Birleştirici yapısında çok yüksek güçler kullanıldığından iki kapı arasında yalıtım sağlanmıştır. Geri dönüş kayıplarını engellemek ve 2.kapıdan 1.kapıya olan yansımaları azaltmak için  $25 \Omega$  direnç kullanılmıştır.

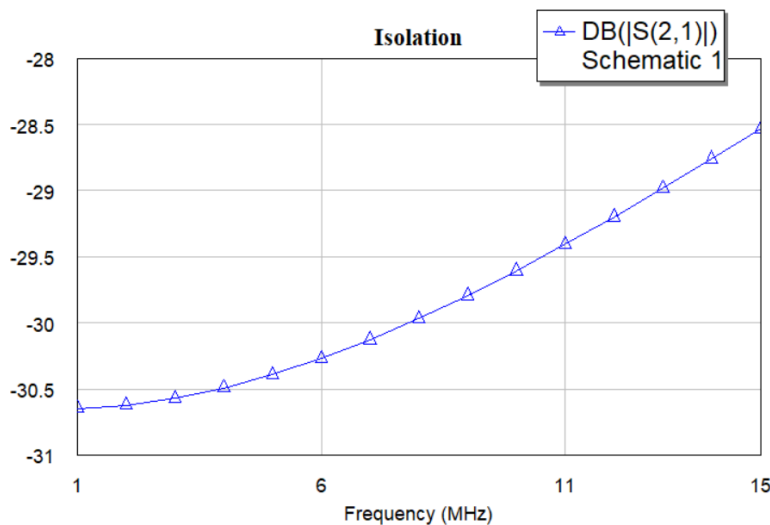
Bu yapıda kullanılan birleştirici modeli In-Phase Type B modelidir [1]. RF güç yükseltecı devrelerinde, devrelerin herhangi birinde oluşacak bir arızanın tüm yükseltecı etkilememesi için yalıtım çok önemlidir. Bu modelin kullanılma sebebi yüksek güçlerde çalışan bu devrelerin yalıtımının çok iyi yapılması gerektiğindedir.

Güç yükseltecı tasarımında önemli parametrelerden biri de geri dönüş kayıplarıdır. Bu maksatla S11, S22, S33 parametrelerinin değerleri incelenmiştir. S1, S22, S33 Geri Dönüş Kaybı (Return Loss ) değerleridir. Geri Dönüş Kaybı değeri girişten geri yansıyan gücün ne miktarda olduğunu gösterir. Tasarımını yaptığımız güç yükseltecı için Geri Dönüş Kaybının en az 15 dB olması arzu edilir. Yapılan benzetim çalışmasında (Şekil-16) 9-10 MHz aralığında Geri Dönüş Kaybının istenilenden daha iyi bir değer olarak 22 dB civarında olduğu görülmektedir.



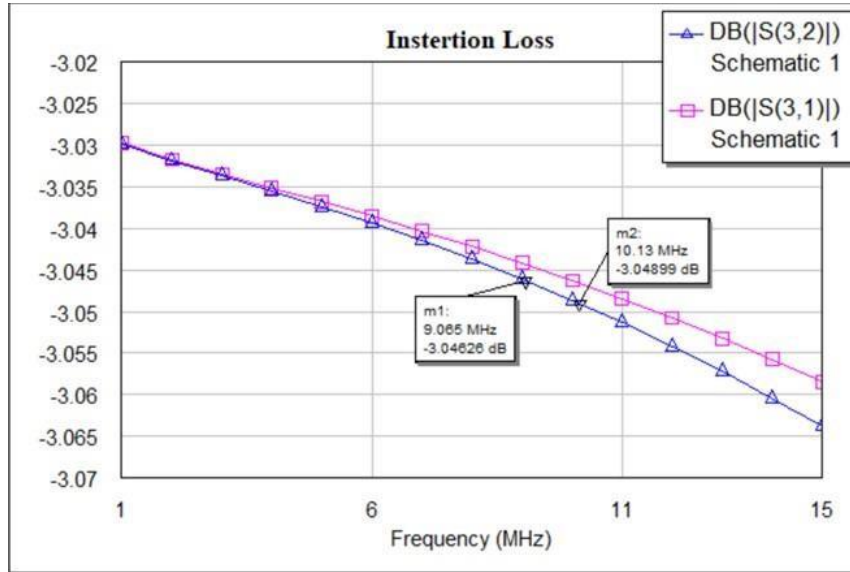
Şekil 16. Geri yansıyan güç

Diğer bir parametre ise yalıtım değerini gösteren S21 Parametresidir. S21 parametresi; 2 giriş kapısı arasında yansıma olup olmadığına ilişkin bir göstergedir. İzolasyon; giriş kapılarından biri arıza yaptığında diğer kapının bundan etkilenmemesi açısından önemlidir. İzolasyon değerinin de 15 dB veya üstünde bir değer olması genellikle arzu edilen bir durumdur. Benzetim neticesinde (Şekil 17) izolasyon değerinin 29.5 ve 30 dB aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 17. İzolasyon

Diğer bir parametre de Araya Girme Kaybı (Insertion Loss) olarak bilinen S31, S32 parametreleridir. Araya Girme Kaybına ilişkin benzetim neticesi Şekil 18’de verilmiştir.



Şekil 18. Araya girme kaybı

### 3.2.2 Bölücü Testi

Tasarlanan ve üretilen bölücü, ağ analizörü kullanılarak test edilmiştir. Kullanılan ağ analizörü 2 kapılı olduğu için ölçüm alınmayan kapı  $50 \Omega$  ile sonlandırdıktan sonra ölçüm alınan kapıların S parametreleri ölçülmüştür. Ölçüm 5 – 15 MHz aralığında yapılmış, 9 ve 10 MHz frekansları marker kullanılarak işaretlenmiştir. Bölücü için 5 – 15 MHz aralığında toplam 1601 nokta ile yapılan Geri Dönüş Kaybına ilişkin elde edilen değerler Tablo 3’de özetlenmiştir. Burada; 1. Kapı Giriş, 2. ve 3. Kapı ise Çıkış kapısıdır. Tablo 3’de belirtilen değerler 9 – 10 MHz aralığında yapılan ölçümlerde elde edilen en kötü değerlerdir. S11, S22 ve S33 Geri Dönüş Kaybı (Return Loss) değerlerini belirtmektedir. Bu kapsamda, tasarım çalışmasında “Geri Dönüş Kaybı” minimum değeri olarak 15 dB hedeflenmiştir. Tablo 3’deki sonuçlardan görüldüğü gibi hedef kıstas belirlenen frekans aralığı içinde sağlanmaktadır.

Tablo 3. S Parametre Değerleri (dB )

S11	S22	S21	S33	S32	S31
-20.3	-20.8	-3.10	-21.0	-43.40	-3.11

S21 ve S31 Araya Girme Kaybı (Insertion Loss) değerleri için kullanılmaktadır. Tasarım kriteri olarak Araya Girme Kaybı maksimum 0.3 dB olarak belirlenmiştir. Bu kıstasın  $3.11 - 3 = 0.11$  ile sağlandığı Tablo 3’de görülmektedir.

S32 yalıtım değerini belirtmektedir. Tasarım çalışmasında bu değer için minimum 20 dB kıstas olarak belirlenmiştir. Yapılan test neticesinde yalıtım değerinin Tablo 3’de görüldüğü gibi 43.4dB olduğu görülmüştür. Böylece, bu kıstasın da sağlandığı anlaşılmaktadır. Netice olarak, bölücü tasarımı için tüm kıstasların sağlandığı görülmektedir.

### 3.2.3 Birleştirici Testi

Üretimi tamamlanan birleştirici, ağ analizörü ile test edilmiştir. Kullanılan ağ analizörü 2 kapılı olduğu için ölçüm alınmayan kapısı  $50 \Omega$  ile sonlandırdıktan sonra ölçüm alınan kapıların S parametreleri ölçülmüştür. Birleştirici için 5 – 15 MHz aralığında toplam 1601 nokta ile yapılan Geri Dönüş Kayıplarına ilişkin elde edilen değerler Tablo 4’de özetlenmiştir. Burada; 1. ve 2. Kapı Giriş, 3. kapı ise çıkış kapısıdır. Tablo-4’de belirtilen değerler 9 – 10 MHz aralığında yapılan ölçümlerde elde edilen en

kötü değerlerdir. S11, S22 ve S33 Geri Dönüş Kaybı değerlerini belirtmektedir. Bu kapsamda tasarım çalışmamızda Geri Dönüş Kaybı minimum değeri olarak 15 dB hedeflenmiştir. Tablo 4'deki sonuçlardan görüldüğü gibi bu hedef kıstas belirlediğimiz frekans aralığı içinde sağlanmaktadır.

**Tablo 4.** S Parametre Değerleri

S11	S22	S21	S33	S32	S31
-25.0	-25.0	-30.8	-21.0	-3.10	-3.10

S31 ve S32 Araya Girme Kaybı değerleri için kullanılmaktadır. Tasarım kıstası olarak Araya Girme Kaybı maksimum 0.3 dB olarak belirlenmiştir. Bu kıstasın 3.10 dB (S31 ve S31 değeri) - 3.00 dB (Yarı Güç Değeri) = 0.1 dB ile sağlandığı Tablo 4'de görülmektedir.

S21 izolasyon değerini belirtmektedir. Tasarım çalışmasında bu değer için minimum 20 dB kıstas olarak belirlenmiştir. Yapılan test neticesinde yalıtım değerinin Tablo 4'de belirtildiği üzere 30.8dB olduğu görülmüştür. Böylece, bu kıstasın da sağlandığı anlaşılmaktadır. Netice olarak, birleştirici tasarımı için tüm kıstasların sağlandığı görülmektedir.

### 3.3 Yapıların Entegrasyonu ve Nihai Sistem Testi

Önceki alt bölümlerde, 2 adet güç yükselteci, 1 adet bölücü ve 1 adet birleştirici olmak üzere 4 alt sistemin de isterleri sağladığı yapılan testler sonucunda görülmüştür. Son aşama, bu 4 yapının birleştirilerek 9-10MHz'de 12 Watt maksimum giriş gücüyle 1000 Watt çıkış gücü elde edilmesidir.

Bu maksatla bir test ortamı kurulmuştur. Her iki transistörün ayrı ayrı DC çalışma noktaları ayarlanmış, daha sonra RF sinyali, ön yükselteç ile yükselttilerek birleştirici yapısının girişine uygulanmıştır. Birleştirici, giriş gücünü ikiye bölerek güç yükselteçlerine iletmiştir. Güç yükselteçlerinde yükselttilen sinyaller birleştirici yapısı ile birleştirilmiştir. Tayf analizörü ile Offset değeri dB olarak ayarlanmış, böylece birleştirici yapısından çıkan güç Tayf Analizör'de ölçülmüştür. Son aşama olarak bölücü'ye uygulanan giriş gücünü ölçmek için ön yükselteç çıkışına Yönlü Güç Ölçer bağlanarak giriş gücü okunmuştur.

Yapılan testlerde elde edilen sonuçlar Tablo 5'de verilmektedir. Bölücü girişinden 12 Watt, yaklaşık olarak 40.8 dBm giriş gücü uygulanarak sistemden 1kW çıkış gücü elde edilmesi temel hedef olarak başlangıçta belirlenmiştir. Yapılan testte 9-10 MHz aralığında maksimum 39.64 dBm, diğer bir deyişle 9.2 W giriş gücüyle, 1kW çıkış gücü elde edildiği görülmüştür. Denklem (3) ile gösterildiği üzere 9.5 MHz'de %45 verimlilik elde edilmiştir.

Sonuç olarak, tasarım kıstaslarının tümünün sağlandığı tespit edilmiştir.

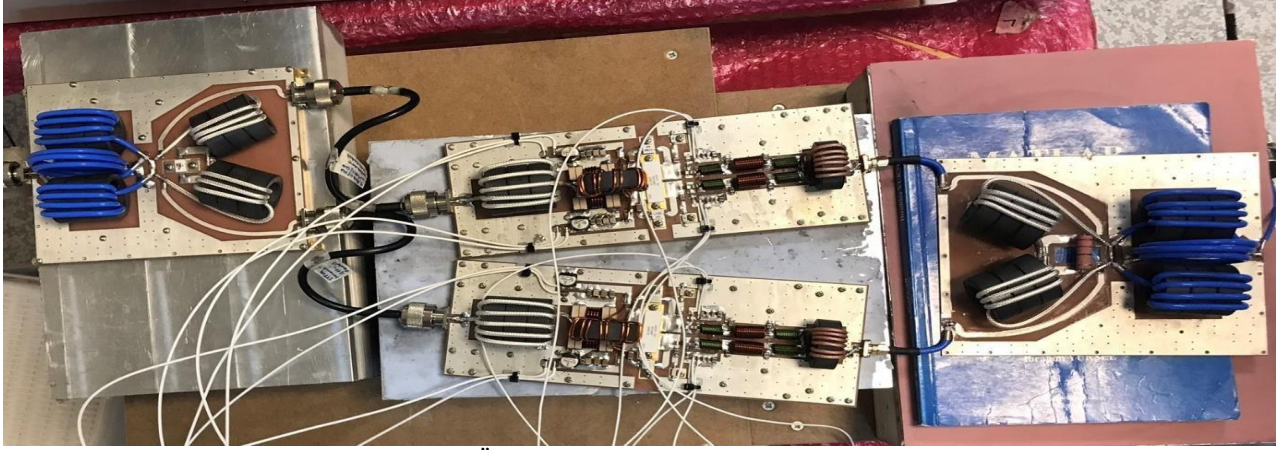
**Tablo 5.** Nihai Güç ve Kazanç Değerleri

Frekans (MHz)	Pin	Pout	Kazanç
9 MHz	39.3 dBm	60.05 dBm	20.75 dB
9.5 MHz	38.86 dBm	60.09 dBm	21.23 dB
10 MHz	39.64 dBm	60.30 dBm	20.66 dB

$$PAE = \frac{P_{out} - P_{in}}{PDC} = \frac{1020 - 7,7}{48 * 46,5} * 100 = 45\% \quad (3)$$

Üretimi tamamlanan sistemin nihai hali Şekil 19'da verilmektedir.





Şekil 19. Üretilen sistemin birleştirilmiş hali

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Radar HF bandında çalışan 1kW çıkış gücüne sahip RF Güç Yükselteci tasarımı yapılmıştır. Çalışma kapsamında 2 Güç Yükselteci, 1 Bölücü, 1 Birleştirici bulunmaktadır. Güç yükselteç tasarımı isterlere uygun transistöre karar verilerek başlanmıştır. Transistör seçiminde itme-çekme topolojisinde bir transistör seçilmiştir. Çift dereceli harmonikleri büyük ölçüde bastırabilme özelliğinden dolayı tasarlanan ve üretilen güç yükselteçinde İtme-Çekme yapı kullanılmıştır. Transistör seçimi tamamlandıktan sonra seçilen transistörün çalışma noktasını ayarlamak için DC benzetim yapılmıştır.

Bu benzetimde transistörün istenilen noktada çalışması için gereken voltaj besleme değerleri belirlenmiştir. Güç yükseltecinin çalışma frekans aralığında koşulsuz kararlı olması hedeflenir. Koşulsuz kararlılık için Kararlılık Analizleri başlığı altında anlatılan K ve B1 yardımcı kararlılık faktörleri incelenmiştir. Koşulsuz kararlılık  $K>1$ ,  $B1>0$  olduğunda sağlanmaktadır. Bunun için tasarlanan sistemin kararlılık benzetimi yapılmıştır. Tasarlanan sistem ilk başta bu koşulları sağlamamıştır. Bunun için araştırma yapılmış ve savak – kapı geri beslemesi kullanılmasının kararlılığa olumlu yönde etki ettiği gözlemlenmiştir. [3] Savak – kapı geri beslemesi eklenmiş ve kararlılık benzetimleri tekrarlanmıştır. Son elde edilen sonuca göre  $K>1$ ,  $B1>0$  koşulları sağlanarak koşulsuz kararlılık elde edilmiştir. Savak – kapı geri beslemesinde kullanılan değerler, AWR programında ince ayar yapılarak belirlenmiştir.

Kararlılık analizlerinden sonra transistörden bakıldığında en uygun giriş ve çıkış empedansının belirlenmesi için Kaynak Çekme ve Yük Çekme analizleri yapılmıştır. Yansıma sonucu oluşacak kayıpları en aza indirmenin yolu empedans uyumlama devrelerini titizlikle tasarlamaktır. Bunun için de en uygun giriş ve çıkış empedansının belirlenmesinin önemi büyüktür. En uygun empedans belirleme işleminden sonra giriş uyumlama ve çıkış uyumlama devreleri tasarlanmıştır.

Empedans uyumlama işleminden sonraki aşama tasarlanan devrenin çıkış gücü, kazanç ve verimlilik benzetim sonuçları incelenmiştir. Sonuçlar istenilen şekilde olduğu için güç yükseltecinin benzetim çalışmaları noktalanıp üretim aşamasına geçilmiştir.

Birleştirici yapısı için ise 2 farklı yapının tasarlanan sistem için kullanıma uygun olduğu görülmüştür. Yüksek güç seviyelerinde çalışıldığından yalıtımı daha iyi olan birleştirici yapısı seçilmiştir. Birleştirici yapısıyla birlikte 2-1 Un-Un TLT yapısı empedans uyumlamak için kullanılmıştır.

Birleştirici için araya girme kaybı, geri dönüş kaybı ve yalıtım değerleri benzetimler ile ölçülmüştür. Benzetim sonuçlarının çalışma frekans aralığında isterleri sağladığı görülmüştür.

Bu aşamaların tamamlanmasından sonra sistemlerin üretimi yapılmış ve her yapının ayrı ayrı testleri gerçekleştirilmiştir. 4 yapı da isterleri sağlamıştır. Çalışma sonucunda bu 4 yapı uygun şekilde birleştirilerek 1kW çıkış gücüne sahip bir sistem elde edilmiştir.

Bu makalede ele alınan çalışmamızda tasarımı ve üretimi yapılan güç yükselteci ile; E Sınıfı güç yükselteçlerine göre daha düşük, A Sınıfı yükselteçlere kıyasla daha yüksek bir verim elde edilmiştir.

Bu makalede ortaya konan güç yükseltecinin diğer çalışmalardan en önemli farkı elde edilen 1

kW yüksek çıkış gücü olarak belirtilebilir. Yüksek çıkış gücü olan güç yükselteçlerinde ısınma konusuna ilave önlem alınması gerekmektedir. Bu maksatla modüllerin köşelerine soğutucu plakalar için montaj delikleri eklenmesi planlanmalıdır. Bu işlemin, hava kanalları ile modülün güç akış yönü paralel olacak şekilde yapılması önemlidir. Soğutucu plakaların amacı yüzey alanını artırarak, ısının daha kolay atılmasını sağlamaktır. Bu şekilde yapılandırılan modüllerin önüne fan eklenerek ısı probleminin giderilmesi düşünülmelidir. Bu makalede detaylı olarak ortaya konan sistemin bir prototip olması ve kutulanmaması nedeniyle soğutma alt yapısı uygulanmamıştır.

Yapılan çalışma neticesinde; sistem girişte verilen 12W'lık gücü, çıkışta 1kW'lık RF gücü olarak elde edilmiştir.

## **Teşekkür**

Bu makalede özetlenen 1 kW Güç Yükselteci projesinin tasarımı , üretimi ve testi konusunda projenin başından sonuna kadar ihtiyaç duyduğumuz yazılım, donanım ve test cihazı konusundaki tüm ihtiyaçlarımızı bize sağlayan RFTR Genel Müdürü Dr. Necip ŞAHAN ve RFTR Tasarım Direktörü Dr. Vahdettin TAŞ'a çok teşekkür ederiz. RFTR A.Ş. desteği olmadan bu projenin tamamlanması ve bu makalede yer alan çıktılara ulaşmamız mümkün olmazdı.

## **Yazarların Katkısı**

Yazarlar makaleye eşit oranda 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] Şahan N. 2007. High Power Wideband Linear RF Power Amplifier Design. Yüksek Lisans Tezi Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 1-149.
- [2] Sokal N.O. 1998. Class E High-Efficiency Power Amplifiers, from HF to Microwave, IEEE MTT-S International Microwave Symposium, 21-26 June, Baltimore, 1109-1112.
- [3] Raab F.H., Rupp D.J. 1994. High-efficiency single-sideband HF/VHF transmitter based upon envelope elimination and restoration, Sixth International Conference on HF Radio Systems and Techniques, 4-7 July, York, 21-25.
- [4] Yamazoe M., Haeiwa K. 2008. Hirose S. Development of a High efficiency HF power amplifier, 14th Asia-Pacific Conference on Communications, 14-16 October, Tokyo, 1-5.
- [5] Mediano A., Ortega-Gonzalez F.J. 2017. Class-E amplifiers and applications at MF, HF, and VHF, IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS), 4-9 June, Honolulu, 1319-1322.
- [6] Seo M. 2010. Design of a 40-Watt Ultra broadband linear power amplifier using LD MOSFETs, Asia-Pacific Microwave Conference, 7-10 December, Yokohama, 414-417.
- [7] Modzelewski J. 2004. Power Gain of Class E and Class B VHF Tuned Power Amplifiers, 15th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, 17-19 May, Warsaw, 41-44.
- [8] Ahmad A.Z., Aggrawal E., Rawat K. 2020. Design of 100 W LD MOS Based Power Amplifier for Cellular Applications, 7th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN), 27-28 February, Noida, 166-169.
- [9] Raza A, Gengler J. 2018. Design of a 70 W Wideband GaN HEMT Power Amplifier with 60% Efficiency over 100–1000 MHz Bandwidth, IEEE Topical Conference on RF/Microwave Power Amplifiers for Radio and Wireless Applications (PAWR), 17-20 January, San Diego, 72-74.

- [10] Du X., Helaoui M., You C.J., Li X., Zhao Y., Cai J., Ghannouchi F.M. 2019. Analytical design space of power amplifiers including the class-A/B/J continuum for dynamic load modulation, *IEEE Access*, 7: 71933-71942.
- [11] Shukla S.N., Pandey B., Srivastava S. 2012. New Circuit Models of Complementary Symmetry Class-AB and Class-B Push-Pull Amplifiers, 10th IEEE International Conference on Semiconductor Electronics (ICSE), 19-21 September, Kuala Lumpur, 538-542.
- [12] Dhar S.K., Sharma T., Zhu N., Holmes D., Darraji R., Ghannouchi F.M. 2019. Comprehensive Analysis of Input Waveform Shaping for Efficiency Enhancement in Class B Power Amplifiers, *International Microwave Symposium (IMS)*, 2-7 June, Boston, 1164-1167.
- [13] BLF188XR. 2019. <https://www.ampleon.com/products/broadcast/0-500-mhzrf-power-transistors/BLF188XR.html> (Erişim Tarihi: Kasım 15, 2019).
- [14] Theeuwen S.J.C.H., Qureshi J.H. 2012. LDMOS technology for RF power amplifiers. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 60 (6): 1755-1763.
- [15] Sahan N., Inal M.E., Demir S., Toker C. 2008. High-power 20-100-MHz linear and efficient power-amplifier design. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 56 (9): 2032-2039.
- [16] Şahin B. 2018. Yüksek Verimli ve Geniş Bantlı Güç Kuvvetlendirici Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-162.
- [17] Pozar, D.M. 2012. *Microwave Engineering*. Wiley, New Jersey.
- [18] Stability Factor K. [https://awrcorp.com/download/faq/english/docs/Measurements/k\\_meas.htm](https://awrcorp.com/download/faq/english/docs/Measurements/k_meas.htm) (Erişim Tarihi: 25.11.2019).
- [19] Stability Factor: K. <https://awrcorp.com/download/faq/english/docs/Measurements/b1.htm> (Erişim Tarihi: 25.11.2019).



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Fonksiyonel Derecelendirilmiş Silindirin Isı İletiminin Chebyshev Pseudospektral Yöntemi ile Geçici Rejimdeki Analizi

Mehmet Akif KIRKÖSE<sup>1</sup>, Durmuş YARIMPABUÇ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Osmaniye*  
(ORCID: [0000-0002-0833-4684](https://orcid.org/0000-0002-0833-4684)) (ORCID: [0000-0002-8763-1125](https://orcid.org/0000-0002-8763-1125))

---

### Öz

Fourier olmayan hiperbolik ısı iletim modeli kullanılarak fonksiyonel derecelendirilmiş sonsuz uzunlukta içi boş silindirin geçici rejimdeki analizi yapılmıştır. Termal gevşeme süresi dışında malzeme özelliklerinin radyal yönde üstel olarak değiştiği kabul edilmiştir. Sonsuz uzunlukta bir silindir ele alındığından silindirin alt ve üst ucundaki etkiler ihmal edilmiştir. Bu koşullar altında, uzay yönünde sadece radyal değişkene bağlı değişken katsayılı kısmi diferansiyel denklem elde edilir. Bu diferansiyel denkleme Laplace dönüşümü uygulanarak, Laplace uzayında zamandan bağımsız elde edilen lineer adi diferansiyel denklem, Chebyshev Pseudospektral yöntemi kullanılarak sayısal olarak çözümlenir, Modifiye Edilmiş Durbin Ters Dönüşüm Yöntemi kullanılarak zaman uzayındaki çözüm elde edilir. Sıcaklık ve ısı akısının geçici dinamik tepkileri, özel bir metal-seramik karışımı alınarak ve çeşitli göreceli sıcaklık değişikliklerine göre incelenmiştir. Farklı zamanlarda sıcaklık dağılımı ve ısı akısının davranışı farklı şekiller üzerinde gösterilmiştir. Bu birleştirilmiş yöntemin doğruluğunu göstermek için literatürde mevcut olan çözümler kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan birleştirilmiş yöntemin, iyi yapılandırılmış, basit, etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Silindirlerde hiperbolik ısı iletimi, Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme, Laplace dönüşümü, Chebyshev pseudospektral yöntemi, Durbin ters dönüşüm yöntemi.

---

## Heat Conduction Analysis of a Functionally Graded Cylinder in Transient Regime with Chebyshev Pseudospectral Method

### Abstract

Transient analysis of functionally graded infinite length hollow cylinder is performed using non-Fourier hyperbolic heat conduction model. Except the thermal relaxation time, the material properties are assumed to change exponentially in the radial direction. Since an infinite-length cylinder is considered, the effects at the upper and lower ends of the cylinder are neglected. Under these conditions, a partial differential equation with variable coefficients is obtained which is only depend on the radial variable in the space direction. By applying Laplace transform to this differential equation, the linear ordinary differential equation obtained in Laplace space is solved numerically by using Chebyshev Pseudospectral method and the solution in time space is obtained by using Modified Durbin Inverse Transformation Method. The transient dynamic responses of temperature and heat flux are investigated by taking a special metal-ceramic mixture and examining various relative temperature changes. The behavior of temperature distribution and heat flux at different times is shown in the form of graphs. The solutions available in the literature are used to demonstrate the accuracy of this combined method. The combined method used in this study has been shown to be a well structured, simple, effective.

**Keywords:** Hyperbolic heat conduction in cylinders, Functionally graded material, Laplace transform, Chebyshev pseudospectral method, Durbin inverse transform method.

---

\*Sorumlu Yazar: [durmusyarimpabuc@osmaniye.edu.tr](mailto:durmusyarimpabuc@osmaniye.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10.03.2021, Kabul Tarihi: 08.11.2021

## 1. Giriş

Materyaller, dünyadaki ilk insandan beri insanların yaşamında önemli bir rol oynamıştır. Farklı dönemlerde uygulamada kolaylığı için değişik tip malzemeler kullanılmış veya kompozit malzemeler yapılmıştır. Homojen malzemeye göre daha hafif, daha güçlü ve tasarım esnekliği sağlayan kompozit malzemeler araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Geniş uygulama alanlarının yanı sıra korozyona ve aşınmaya karşı dirençli olmasından dolayı literatürde bu alanda birçok çalışma yapılmıştır. Ancak bu tip malzemelerin birleşme yerindeki özelliklerinin keskin geçişi, delaminasyon sürecinde bileşenlerin bozulmasına neden olmaktadır [1].

Bu durumun üstesinden gelebilmek için ilk olarak Shen ve Bever fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemeler üzerine bir çalışma yapmışlar ancak üretiminin karmaşık ve zor olması gerekli ilgiyi görmesinin önüne geçmiştir [2]. Daha sonra Japonya'daki bir grup araştırmacı tarafından yapılan uzay mekiği projesinde, yüksek sıcaklık ve sıcaklık farkına dayanabilecek ısı bariyer malzeme ihtiyacından dolayı yeni bir kompozit materyal cinsi olan fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme (FDM) önerisi ile ortaya çıkmıştır [3]. Elastik ve termal olarak heterojen olan bu malzemeler bir yüzeyden diğerine sürekli değişen özelliklere sahiptirler. Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemeler, yaygın olarak, metallerin mukavemet, işlenebilirlik ve bağ kurabilme özellikleri ile seramiklerin ısı, aşınma ve oksitlenme dirençlerinden dolayı metalden seramiğe doğru bir derecelendirmenin olduğu yapılardır. Isıya karşı dirençli, erozyon ve korozyona dayanıklı ve kırılma tokluğu yüksek olmalarından dolayı, bugüne kadar, biyomedikal, kimyasal, nükleer, madencilik ve enerji santrali gibi hemen hemen her alanda kullanılmışlardır [1].

FDM elemanlardaki termal stresin doğru olarak hesaplanabilmesi için ısı iletim analizinin doğru yapılması gerekir. Katılardaki ısı iletiminin matematiksel modellenmesi ile ilgili farklı teoriler vardır. Bunlardan en çok kullanılanı olan Fourier ısı iletimi teorisidir. Bu teoride katılardaki ısı iletkenliği kullanılarak, ısı akısının doğrudan sıcaklık gradyanına eşit olduğu varsayılmaktadır. Bu teori birçok mühendislik uygulaması için yeterli olmasına karşın, termal şok, darbeli lazerli ısıtma gibi çok çeşitli termal yüklemelerin neden olduğu durumlarda ısı iletimini doğru bir şekilde açıklayamaz. Ani bir termal şoka maruz kalan bir levhanın yüzey sıcaklığı ile ilgili yapılan bir çalışmada, elde edilen yüzey sıcaklığının Fourier yasasının öngördüğünden 300 °C daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [4]. Fourier ısı iletim teorisinde, fiziksel olarak gerçekçi olmayan sonsuz bir ısısal dalga yayılma hızı ile sonuçlanmasının yanında, düşük ve yüksek sıcaklıklarda ve çok büyük ısı akısının olduğu durumlarda doğru sonuç vermez.

Bu durumu daha iyi açıklayabilmek için Fourier olmayan ısı iletim modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerden de en çok kullanılanı hiperbolik ısı iletim modelidir. Diferansiyel denklemin yapısından dolayı bu şekilde adlandırılan bu modelde, diferansiyel denkleme de geçen termal gevşeme süresi sıcaklığın termal düzensizliklerinin geçmesi için gereken zaman olarak tanımlanmıştır. Bu teori kullanılarak, silindirik geometrideki sıcaklık ve ısı akısının davranışları üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Wilhelm ve Choi [5], Fourier (parabolik) ve Fourier olmayan (hiperbolik) ısı iletim modelini kullanarak silindirik geometride termal dalgalar için kapalı formda bir çözüm sunmuşlardır. Chen ve Lin [6], Fourier olmayan hiperbolik ısı iletim modelinin analizi için bir hibrid yöntemi sunmuşlardır. Lin ve Chen [7], Fourier olmayan ısı iletim modellerinden biri olan hiperbolik ısı iletim modeli kullanarak silindirik ve küresel geometri için birleştirilmiş bir sayısal yöntem kullanmışlardır. Antaki [8], Fourier olmayan ısı iletim modellerinden biri olan hiperbolik ısı iletim problemlerine, hareketli ısı kaynağı ve faz değişimleri içeren durumlar hariç, analitik çözümler sunmuştur. Zanchini ve Pulvirenti [9], Fourier olmayan kararlı-periyodik hiperbolik ısı iletim problemi kullanılarak sonsuz uzunluktaki silindir için analitik bir çözüm takdim etmişlerdir. Al-Nimr ve Naji [10], Fourier olmayan hiperbolik ısı iletim modelini kullanarak izotropik olmayan bir cisimdeki termal davranışı incelemişlerdir. Chen vd. [11], ters hiperbolik ısı iletimdeki bilinmeyen yüzey koşullarını tahmin etmek için sayısal bir birleştirilmiş yöntem kullanmışlardır. Tarn ve Wang [12], fonksiyonel olarak derecelendirilmiş silindirik bir anizotropik tüpteki ısı iletimini incelemişlerdir. Liu vd. [13], doğrusal olmayan sınır

koşullarına sahip sonsuz uzunlukta tabakalı katı bir silindirdeki hiperbolik ısı iletim problemini, Laplace dönüşümü tekniği ve kontrol hacmi yöntemi ile birlikte hiperbolik şekil fonksiyonunu kullanarak çözmüşlerdir. Lu vd. [14], tabakalı kompozit dairesel silindirde bulunan geçici sıcaklık çözümüne giden analitik bir yöntem üzerinde çalışma yapmışlardır. Hosseini vd. [15], Fourier olmayan hiperbolik ısı iletim modelini kullanarak, işlevsel olarak derecelendirilmiş sonsuz uzunlukta kalın cidarlı silindirik kabuğun geçici rejimdeki analizi için analitik bir çözüm sunmuşlardır. Darabseh vd. [16], yüksek sıcaklık değişimi etkisinde bulunan silindirlerdeki termal gerilme analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Babaei ve Chen [4] fonksiyonel olarak derecelendirilmiş bir içi boş silindirdeki hiperbolik ısı iletimini incelemişlerdir. Chen [17], silindirik malzemelerdeki hiperbolik ısı iletim problemlerini hibrit Green fonksiyon metodu kullanarak analiz etmiştir. Keles ve Conker [18], fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeden oluşan içi boş silindir ve kürede hiperbolik ısı iletimi problemini analitik olarak çözmüşlerdir. Afshin vd. [19] çalışmalarında, fonksiyonel derecelendirilmiş kalın cidarlı döne silindirik basınçlı kabın geçici rejimdeki termal-elastik analizini sunmuşlardır.

Bu çalışmada, fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) içi boş kalın cidarlı sonsuz uzunluktaki silindirin geçici rejimdeki analizi hiperbolik ısı iletim modeli kullanılarak Laplace- Chebyshev-Pseudospektral Durbin birleşik yöntemiyle sayısal olarak incelenmiştir. Sonsuz uzunlukta bir silindir ele alındığından, silindirin alt ve üst ucundaki etkiler ihmal edilmiştir. Termal gevşeme süresi hariç, malzeme özelliklerinin radyal eksen boyunca üstel olarak değiştiği kabul edilmiştir. Bu koşullar altında, radyal ve zaman değişkene bağlı analitik yöntemlerle çözülmesi zor olan doğrusal bir kısmi diferansiyel denklem elde edilir. Bu kısmi diferansiyel denklemin zaman yönündeki bağımlılığı Laplace dönüşümü kullanılarak ortadan kaldırıldıktan sonra elde edilen adi diferansiyel denklem yüksek doğruluk derecesinde Chebyshev Pseudospektral Yöntemi [20, 21, 22] ile doğrusal denklem sistemine dönüştürülür. Doğrusal denklem sistemi uygun bir ayrıklaştırma yöntemi ile çözüldükten sonra, Laplace uzayındaki vektörün fiziksel uzaydaki değeri Modifiye Edilmiş Durbin Yöntemi [23] kullanılarak bulunur. Bu çalışmada fonksiyonel derecelendirilmiş silindirin malzeme özelliklerinin her birinin gerçekte olması gerektiği gibi farklı homojensizlik parametrelerine göre değiştiğinin varsayılması ve geçici rejimdeki analiz için düşük sayıda ızgara noktasıyla yüksek doğruluk düzeyinde çözümler sunan Chebyshev pseudospektral yöntemi ile Durbin yönteminin birlikte kullanılması bu çalışmayı literatürden ayırmaktadır. Sıcaklık ve ısı akısının geçici dinamik tepkileri, seramik-metal karışımı özel bir malzeme için ve çeşitli görel sıcaklık değişikliklerine göre incelenmiştir. Farklı zaman ve malzeme özellikleri arasındaki sıcaklık dağılımı ve ısı akısının korelasyonu farklı şekiller üzerinde vurgulanmıştır. Literatürde mevcut analitik çözümler, kullanılan birleştirilmiş yöntemle çözümler yöntemin doğruluğu gösterilmiştir. Bu çalışmada fonksiyonel olarak derecelendirilmiş silindirik kaptaki gerilme analizlerini yapmak için kullanılan bu birleştirilmiş yöntemin, basit, kolay uygulanabilir ve yüksek hassasiyette çözümler sunan bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Fonksiyonel derecelendirilmiş kalın cidarlı, sonsuz uzunluktaki silindirin hiperbolik ısı iletim problemi ele alınmıştır. Silindirin iç yarıçapı  $a$  ve dış yarıçapı  $b$  olmak üzere kesit alanı Şekil 1'deki gibi verilmiştir.

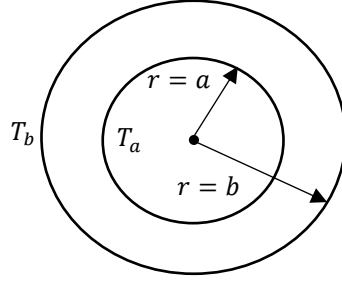
İzotropik ortamlar için hiperbolik ısı iletim denklemi [24] en genel formda

$$\vec{q} + \tau \frac{\partial \vec{q}}{\partial t} = -\lambda \nabla T \quad (2.1a)$$

ve iç ısı üretiminin ihmal edildiği enerji denge denklemi [8] ise

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} = -\nabla \cdot \vec{q} \quad (2.1b)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $\vec{q}$ ,  $T$ ,  $\tau$ ,  $\lambda$ ,  $\nabla$ ,  $\rho$  ve  $c_p$  sırasıyla ısı akı vektörünü, sıcaklığı, termal gevşeme süresini, ısı iletkenliği, gradyan operatörünü, yoğunluğu ve özgül ısıyı göstermektedir.



Şekil 1. Fonksiyonel derecelendirilmiş sonsuz uzunluktaki kalın cidarlı silindirin kesiti

Fonksiyonel derecelendirilmiş malzemenin (FDM), metal ve seramik karışımını ihtiva eden bir malzeme olduğu kabul edilmiştir. Bu varsayım altında, malzeme özelliklerinin silindirin kalınlığı boyunca üstel olarak değişimi

$$\lambda(r) = \lambda_a e^{\beta(r-a)} \quad (2.2a)$$

$$\rho(r) = \rho_a e^{\gamma(r-a)} \quad (2.2b)$$

$$c_p(r) = c_{pa} e^{\omega(r-a)} \quad (2.2b)$$

biçiminde olup, homojensizlik parametreleri  $\beta = \ln(\lambda_b/\lambda_a)/(b-a)$ ,  $\gamma = \ln(\rho_b/\rho_a)/(b-a)$  ve  $\omega = \ln(c_{pb}/c_{pa})/(b-a)$  bağıntıları kullanılarak hesaplanır. İç yüzeyi sadece metal, dış yüzeyi ise sadece seramik olacak şekilde bir yapı oluşturulmuştur. Malzeme özelliklerinin radyal yönde üstel olarak değiştiği kabul edilen silindirin, metalce zengin iç cidarı ile yüksek mukavemetli, seramikçe zengin dış cidarı ile de yüksek sıcaklığa dayanıklı heterojen silindirik bir malzeme elde edilmiştir. Bu bağıntılarda,  $a$  alt indisi iç ve  $b$  alt indisi ise dış yüzeydeki malzeme özelliklerini göstermektedir.

Sistemi idare eden denklemlerdeki tüm değişkenlerin etkisinin aynı derecede sayısal çözüme yansımaları için boyutsuzlaştırma işlemi yapılmıştır. Boyutsuzlaştırma işlemlerinde aşağıdaki değişkenler kullanılmıştır:

$$\eta = \frac{r}{b}, \quad r_a = \frac{a}{b}, \quad \theta = \frac{T - T_i}{T_b - T_i}, \quad T_\alpha = \frac{T_a - T_i}{T_b - T_i} \quad (2.3a)$$

$$\xi = \frac{\kappa_a t}{b^2}, \quad \varepsilon_0 = \frac{\kappa_a \tau}{b^2}, \quad \kappa_a = \frac{\lambda_a}{\rho_a c_{pa}}, \quad Q = \frac{b q_r}{\lambda_a T_i} \quad (2.3b)$$

Burada,  $\kappa_a$ ,  $T_i$ ,  $\varepsilon_0$  ve  $T_\alpha$  sırasıyla seramik iç yüzeydeki ısı yayılımını, işlevsel derecelendirilmiş silindire etki eden ilk sıcaklığı, boyutsuz termal gevşeme süresini ve bağıl sıcaklığı göstermektedir.

Kalın cidarlı içi boş silindirin aksel-simetri koşulunu sağladığı ve sonsuz uzunlukta olduğu kabul edildiğinden aksel yönde etkilerin olmadığı varsayılmıştır. Bu koşullar altında, sıcaklık ve ısı akısı sadece radyal koordinata ve zamana bağlıdır. Malzeme özellikleri (2.2) ve boyutsuzlaştırma parametreleri (2.3) kullanarak silindirik geometride boyutsuz hiperbolik ısı transfer denklemi ve boyutsuz enerji denkleminin bağlaşımlı (coupled) formu aşağıdaki şekilde oluşturulur:

$$P_1(\eta) \frac{\partial Z(\eta, \xi)}{\partial \xi} + P_2(\eta) \frac{\partial Z(\eta, \xi)}{\partial \eta} + P_3(\eta) Z(\eta, \xi) = 0 \quad (2.4)$$

öyleki

$$Z(\eta, \xi) = \begin{bmatrix} \theta(\eta, \xi) \\ Q(\eta, \xi) \end{bmatrix}$$

bilinmeyen sıcaklık ve ısı akısı içeren vektörü ve

$$P_1(\eta) = \begin{bmatrix} 0 & \varepsilon_0 \\ \frac{T_b - T_i}{T_i} e^{(b\eta - a)(\gamma + \omega)} & 0 \end{bmatrix}, \quad P_2(\eta) = \begin{bmatrix} \frac{T_b - T_i}{T_i} e^{\beta(b\eta - a)} & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad P_3(\eta) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & \frac{1}{\eta} \end{bmatrix},$$

kısmi diferansiyel denklemin uzay değişkenine bağlı katsayılar matrisleridirler.

### 2.1. Başlangıç ve Sınır Koşulları

Fonksiyonel olarak derecelendirilmiş silindirin geçici rejimdeki sıcaklık davranışını ölçebilmek ve kullanılan hiperbolik ısı iletimi denklemi ile enerji denkleminin aşikâr olmayan çözümünü elde etmek için sisteme etki eden başlangıç ve sınır koşullarını belirlemek gerekir. Silindirik yüzeye herhangi bir etki olmadan önce sabit bir sıcaklık ( $T_i$ ) etkisi altında olduğu varsayılmıştır. Isı akısının da ilk anda sıfır olduğu kabul edilmiştir. Dolayısı ile başlangıç koşulları boyutsuz parametreler (2.3) kullanılarak  $\theta(\eta, 0) = Q(\eta, 0) = 0$  şeklinde elde edilir.

Silindirin iç ve dış cidarına etki eden sabit sıcaklıkların olduğu durağan sınır koşulu ele alınmıştır. İç ve dış cidar arasındaki sıcaklık farkının fazla ( $T_b \gg T_a$ ) olduğu varsayılmıştır. Bu koşullarının boyutsuz formları da (2.3) kullanılarak,

$$\theta(r_\alpha, \xi) = T_\alpha, \quad \theta(1, \xi) = 1 \quad (2.5)$$

olarak bulunur.

### 2.2. Laplace Dönüşümü

Isı iletim denklemi ile enerji denkleminde oluşan kısmi diferansiyel denkleme (2.4) zaman yönünde Laplace dönüşümü uygulanırsa,  $\eta$  değişkenine bağlı adi diferansiyel denklem elde edilir. Bilinmeyen sıcaklık ve ısı akısını içeren  $Z(\eta, \xi)$  vektörünün Laplace uzayındaki dönüşümü  $\mathcal{L}[Z(\eta, \xi)] = \bar{Z}(\eta, s)$  olsun. İlk anda sıcaklık ve ısı akısının değeri sıfır olduğundan, Laplace dönüşümünde kullanılacak olan başlangıç koşulu  $Z(\eta, 0) = [0 \ 0]^T$  şeklindedir. Bu koşullar altında kısmi diferansiyel denklemin (2.4) Laplace dönüşümü alınır

$$P_2(\eta) \frac{\partial \bar{Z}(\eta, s)}{\partial \eta} + (P_1(\eta)s + P_3(\eta)) \bar{Z}(\eta, s) = P_1(\eta)Z(\eta, 0) \quad (2.6)$$

bağlı (coupled) formda bir adi diferansiyel denkleme dönüşür. Buradaki  $s$  değişkeni Laplace parametresidir.

### 2.3. Chebyshev Pseudospektral Yöntemi

Spektral yöntemler ailesi içinde yüksek doğruluk derecesinde çözümler sunan Chebyshev pseudospektral yöntemi yerel olmayan bir yaklaşım ile problemi ele alırken, sonlu elemanlar yöntemleri yerel bir yaklaşım kullanır. Yani uzayda belirli bir noktada bir türevin değeri sonlu elemanlar yöntemlerindeki gibi sadece komşu ızgara noktaları değil, uzaydaki diğer tüm noktalardaki çözüme bağlıdır. Ayrıca, daha düşük sayıda ızgara noktasıyla yüksek doğruluk düzeyinde çözümler verir. Bu

nedenlerle, Chebyshev pseudospektral yöntemi iyi tanımlı problemler için hızlı ve üstel yakınsama özelliğine sahiptir. Ancak, karmaşık geometriler ve süreksizlik durumlarında diğer yöntemlere göre daha az esnektir ve genellikle uygulanması daha karmaşıktır. Örneğin, şok ve süreksizlik içeren problemlerde spektral yönteminin keskin gradyanlarla birleştirilmesi zordur.

Bu çalışmada, boyutsuz radyal yündeki türevlere sahip Laplace uzayındaki adi diferansiyel denklem birinci tip Chebyshev polinomu yaklaşımına dayanan Chebyshev Pseudospektral Yöntemi (CPY) ile çözülecektir. Diferansiyel matris yaklaşımına dayanan yöntemde, hatayı minimum yapacak şekilde bir nokta dağılımı seçilerek bu noktalara karşılık gelen interpolasyon polinomu aranır. Sınırdaki nokta dağılımı orta noktalara göre daha sık olan Chebyshev-Gauss-Lobatto noktaları

$$\eta_j = \cos\left(\frac{j\pi}{N}\right), \quad j=0,1,2,3,\dots,N \quad (2.7)$$

ile daha az örgü noktası kullanılarak elde edilecek olan diferansiyel matrisi, sayısal çözümlemede yüksek hassasiyette sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır [22]. Yarım çember üzerine eşit aralıklarla yerleştirilmiş olan bu noktaların yatay eksene izdüşümleri alındığında sınırlarda sık, orta noktalarda daha seyrek bir dağılım oluşturmaktadırlar. Chebyshev-Gauss-Lobatto noktalarında Lagrange interpolasyon polinomu ile oluşturulan diferansiyel matris ( $D_N$ ), sol taraftan bir kere  $\bar{Z}(\eta, s)$  vektörü ile çarpıldığında bu vektörün birinci türevine  $\bar{Z}'(\eta, s) = D_N \bar{Z}(\eta, s)$ , iki kere çarpıldığında bu vektörün ikinci türevine  $\bar{Z}''(\eta, s) = D_N^2 \bar{Z}(\eta, s)$ , üç kere çarpıldığında bu vektörün üçüncü türevine  $\bar{Z}'''(\eta, s) = D_N^3 \bar{Z}(\eta, s)$  karşılık gelir. Bu şekilde soldan diferansiyel matris ile çarpım yapılarak yüksek mertebeli türev ifadelerine yüksek hassasiyetli yaklaşımlar sağlar. Bu yöntemin, yüksek hassasiyete sahip, basit, etkili bir metot olduğu Trefethen'nin [22] bu konu ile ilgili kitabında gösterilmiştir.

Laplace dönüşümü ile adi diferansiyel denkleme dönüştürülen (2.6) bağlı (coupled) formdaki kısmi diferansiyel denklem, Chebyshev Gauss-Lobatto noktalarında elde edilmiş olan diferansiyel matrisi kullanılarak

$$L_N \bar{Z} = Rhs \quad (2.8)$$

doğrusal bir denklem sistemine dönüştürülür. Burada,  $L_N$  doğrusal denklemin operatörü iken  $Rhs$  ise bilinen sağ taraf vektörü olup,

$$L_N = P_2(\eta)D_N + P_1(\eta)s + P_3(\eta), \quad Rhs = P_1(\eta)Z(\eta, 0)$$

şekindedir. Bu elde edilen doğrusal denklem sistemine (2.8) sınır koşulları (2.5) uygulanarak sıfırdan farklı olan (aşıkâr olmayan) çözüm, uygun bir ayrıklaştırma yöntemi ile kolayca bulunur.

#### 2.4. Modifiye Edilmiş Durbin Yöntemi

Uygulamaya yönelik gerçek problemlerde, Laplace uzayındaki değerlerin fiziksel uzaydaki karşılığını ters dönüşüm formüllerini kullanarak elde etmek zordur. Laplace dönüşümü ile adi diferansiyel denkleme dönüştürülen bağlı (coupled) formdaki kısmi diferansiyel denklem, CPY ile çözüldükten sonra zaman uzayındaki çözümü analitik olarak elde etmek çok zor hatta çoğu zaman mümkün değildir. Bunun için bu ters dönüşümü sayısal olarak hesaplayabilecek bir yöntem ihtiyacı vardır. Bu çalışmada ters dönüşüm için modifiye edilmiş Durbin yöntemi uygulanmıştır [23]. Fourier cosinüs seri yaklaşımına dayanan ve Dubner ve Abate'nin [26] geliştirdiği ters dönüşüm yönteminin geliştirilmiş hali olan bu yöntemde Fourier cosinüs-sinüs seri yaklaşımı birlikte kullanılmaktadır. Durbin'nin [23] ters Laplace dönüşümündeki sonuçları iyileştirmek için, ters dönüşümü yapılan her bir terim Narayanan [25] tarafından önerildiği gibi Lanczos faktörü ile çarpılmıştır. Yöntemin detaylı uygulaması ve formülasyonu için Keles ve Conker'in [18] çalışması incelenebilir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, hiperbolik ısı iletim teorisi ile sonsuz uzunlukta kalın cidarlı silindirin geçici rejimdeki sıcaklık ve ısı akı analizi sayısal bir yöntem olan Chebyshev Pseudospektral Yöntemi (CPY) ile çözülmüştür. Sonsuz uzunlukta bir silindir ele alındığından silindirin alt ve üst ucundaki etkiler ihmal edilmiştir. Silindirin iç yarıçapı  $a = 0.6$  ve dış yarıçapı  $b = 1$  olarak alınmıştır. Termal gevşeme süresi hariç malzeme özelliklerinin üstel bir fonksiyona bağlı olarak cidar boyunca değiştiği kabul edilmiştir. Silindirin iç yüzeyi metalce ( $Ti - 6Al - 4V$ ) zengin iken dış yüzeyi seramikçe ( $ZrO_2$ ) zengin olacak şekilde kademeli olarak metal ve seramik karışımından oluştuğu varsayılmıştır. Bu özel malzemenin ısı iletim katsayısı, yoğunluğu ve özgül ısı değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu metal-seramik karışımının homojensizlik parametreleri, bu malzeme özelliklerine göre  $\beta = -3.1944$ ,  $\gamma = 0.5409$  ve  $\omega = -0.7311$  değerlerine karşılık gelmektedir. Malzeme özelliklerinin derecelendirilmesinde kullanılan parametreler sıfır alındığında ( $\beta = \gamma = \omega = 0$ ), sadece metal malzemeden ( $Ti - 6Al - 4V$ ) oluşan bir silindirin elde edileceği, (2.2) bağlantılarından kolayca görülebilir.

**Tablo 1.** Karışımda kullanılacak malzemelerin özellikleri (Metal-Seramik)[27]

Malzeme	$\lambda, W/(mK)$	$\rho, kg/m^3$	$c_p, J/(kg.K)$
$Ti - 6Al - 4V$	7.5	4430	560
$ZrO_2$	2.09	5500	418

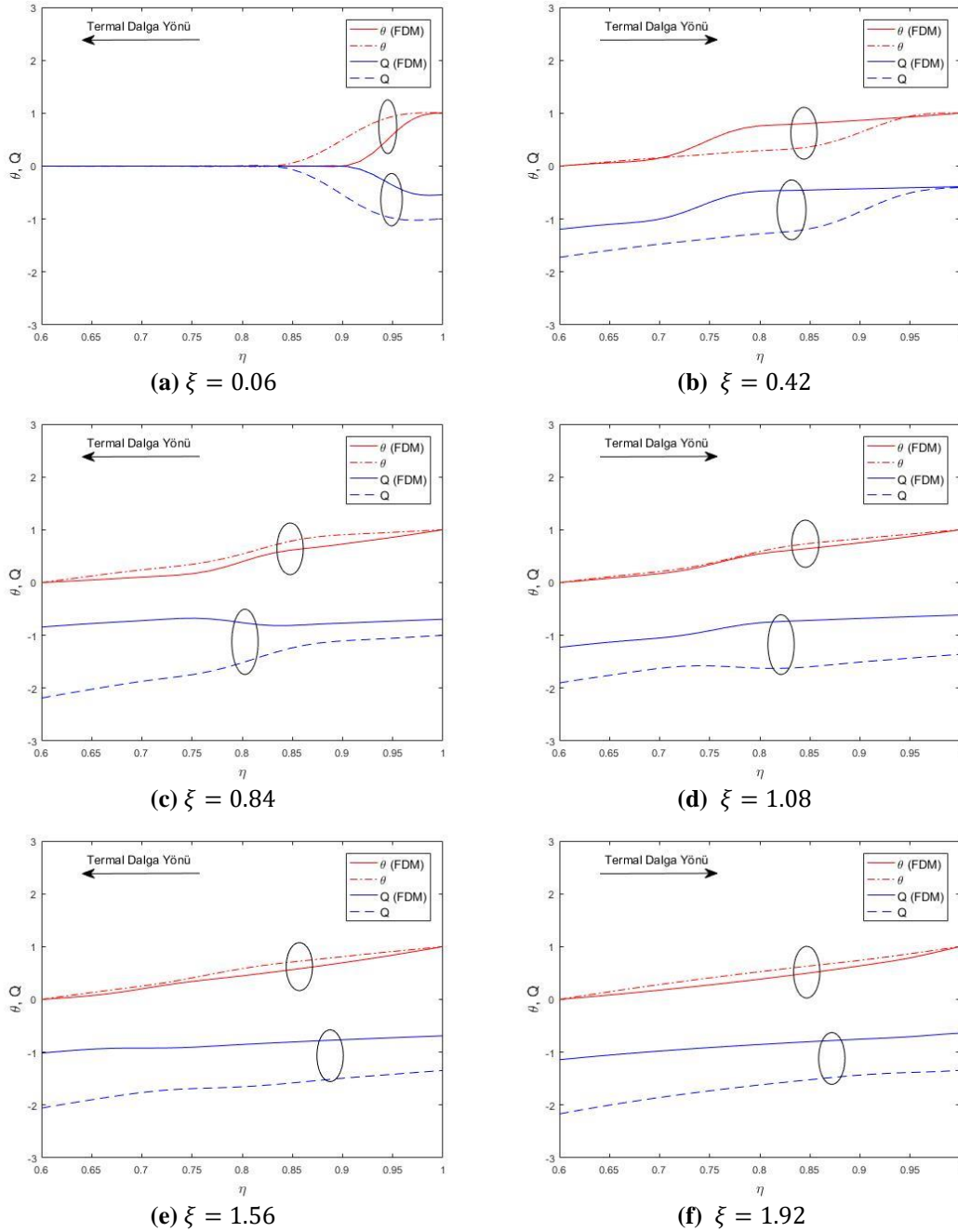
Literatürde, termal gevşeme süresinin sabit, ısı iletim katsayısı, yoğunluk ve özgül ısının radyal yönde kuvvet kuralına göre aynı homojensizlik parametresi ( $\beta$ ) ile değiştiği  $\lambda = \lambda_a r^\beta$ ,  $\rho = \lambda \rho_a r^\beta$  ve  $c_p = c_{pa} r^\beta$  durum için sayısal çözümleme Laplace Chebyshev Pseudospektral Durbin birleşik yöntemiyle farklı boyutsuz zaman değerlerinde elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Babaei ve Chen'nin [4] yapmış oldukları analitik çalışma ile Tablo 2'de mukayese edilmiştir. Yüksek dış sıcaklığın sisteme etki ettiği ilk anlarda ( $\xi = 0.06$ ), ilk yansımadan sonra ( $\xi = 0.42$ ) ve dengeye ulaşmaya yakın bir zaman dilimindeki ( $\xi = 1.92$ ) aşamalarda boyutsuz zamanlarda karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada sunulan birleştirilmiş yöntem ile analitik sonuçların 18 örgü noktası için birbirine yakın olduğu ve en az beş haneli hassasiyette sonuçlar verdiği görülmüştür.

**Tablo 2.** Sıcaklığın farklı boyutsuz zaman değerlerinde Babaei ve Chen [4] ile mukayesesi

$\eta$	$\xi = 0.06$		$\xi = 0.42$		$\xi = 1.92$	
	CPY	[4]	CPY	[4]	CPY	[4]
0.60	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
0.61	0.00176698	0.00176689	0.02433694	0.02433704	0.06622243	0.06622241
0.65	0.00224459	0.00224437	0.08534814	0.08534826	0.23700556	0.23700555
0.70	-0.00312640	-0.00312649	0.16176567	0.16176551	0.43397485	0.43397491
0.77	0.00400921	0.00400888	0.25064558	0.25064580	0.59966400	0.59966405
0.83	0.02679526	0.02679518	0.32278354	0.32278356	0.74050394	0.74050396
0.90	0.56737873	0.56737881	0.37209449	0.37209468	0.85444848	0.85444843
0.95	0.99088250	0.99088265	0.50771622	0.50771616	0.93615857	0.93615855
0.99	1.01774540	1.01774539	0.85043128	0.85043125	0.98482252	0.98482253
1.00	1.00584200	1.00584200	1.00071672	1.00071672	1.00069693	1.00069693

İç ve dış çeperde sabit bir sıcaklığın var olduğu ve dış çeperdeki sıcaklığın iç çeperdeki sıcaklıktan daha yüksek olduğu durumda cidar boyunca boyutsuz zaman noktalarında sıcaklık ( $\theta$ ) ve ısı akı ( $Q$ ) dağılımları Şekil 2'de verilmiştir. Silindirin dış çeperindeki sıcaklık değeri daha fazla olduğu için termal dalga yönü öncelikle dışarıdan içeriye doğrudur (Şekil 2(a)). Doğrultusu dış çeperden iç çepere olan sıcaklık ve ısı akı dalgasının iç çepere çarptıktan sonra düşey doğrultuda aynen geri yansıyor tekrar dış çepere doğru yönelmesi ise Şekil 2(b)'de gösterilmiştir. Bu yansımalar periyodik olarak tekrarlanarak düşey yönde dalga genliği azalıp dengeye ulaşana kadar sürmektedir (Şekil 2(c-f)). Ayrıca Şekil 2'den, fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme için sıcaklık ve ısı akısı dalgalarının hızının,

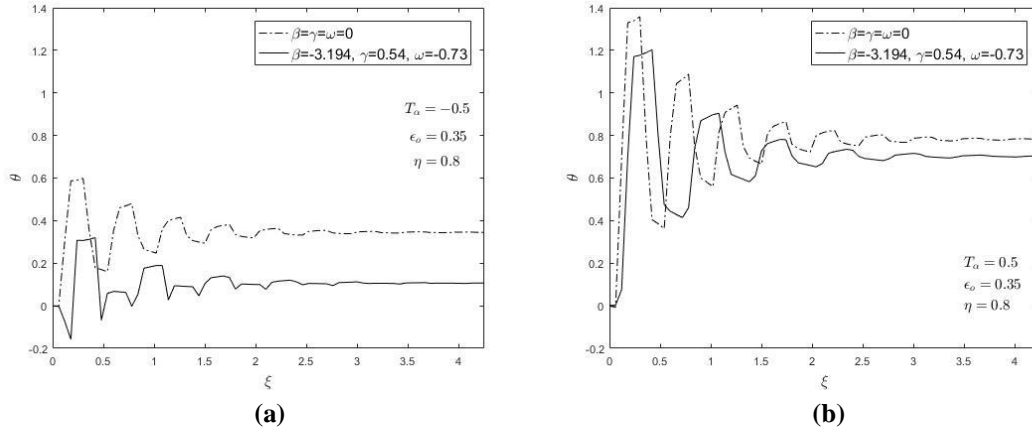
homojen malzemede sıcaklık ve ısı akısı dalgalarının hızına göre daha düşük olduğu da gözlemlenmektedir.



**Şekil 2.** Sıcaklık ve ısı akısının cidar boyunca boyutsuz zaman dilimlerindeki dağılımı

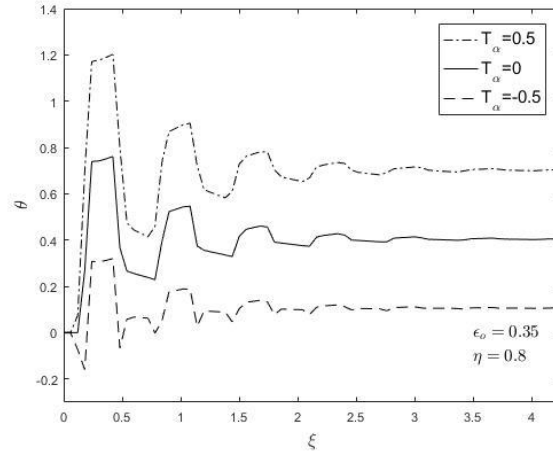
Silindirin başlangıç sıcaklığının iç sıcaklıktan daha yüksek ve daha düşük olduğu durumlarda, cidarın orta noktasında ( $\eta = 0.8$ ) sıcaklığın boyutsuz zamana göre dağılımının sabit bir termal gevşeme süresinde ( $\varepsilon_0 = 0.35$ ), FD ve homojen malzeme için karşılaştırılması Şekil 3'te verilmiştir. Şekil 3(a)'da silindirin iç sıcaklığının başlangıç sıcaklığından daha düşük olduğu durum ( $T_a < T_i$ ) verilirken Şekil 3(b)'de silindirin iç sıcaklığının başlangıç sıcaklığından daha yüksek olduğu durum ( $T_a > T_i$ ) ele alınmıştır. Silindirin iç sıcaklığının başlangıç sıcaklığından daha yüksek olduğu durum için elde edilen dalgalanmaların diğer duruma göre daha yüksek değerler aldığı görülmüştür. FD malzemede sıcaklığın genliği ve dengeye ulaşma süresi homojen malzemeye göre daha az olduğu gözlemlenmiştir [18].





**Şekil 3.** Silindirin başlangıç sıcaklığının iç sıcaklıktan daha yüksek (soldaki şekil) ve daha düşük (sağdaki şekil) olduğu durumlarda, cidarın orta noktasında sıcaklığın boyutsuz zamana göre dağılımının sabit bir termal gevşeme süresinde FD ve homojen malzeme için karşılaştırılması.

Cidarların iç ve dış kısmında sabit fakat sıcaklık farkının yüksek olduğu durum için silindirik yüzeyin iç sıcaklığı başlangıç sıcaklığından küçük, eşit ve büyük olduğu durumlar için cidarın ortasında ( $\eta = 0.8$ ) sıcaklığın boyutsuz zaman boyunca değişimi Şekil 4'te FD malzeme için verilmiştir. Başlangıç sıcaklığının iç sıcaklıktan yüksek olması, boyutsuz sıcaklık değerlerindeki dalgalanmayı etkilememekte ve sadece daha düşük değer almasına yol açmaktadır. Burada, iç sıcaklık değeri arttıkça sıcaklığın düşey doğrultuda dalgalanma genliğinin arttığı ve Keles ve Conker [18] çalışması ile uyum içinde olduğu tespit edilmiştir.



**Şekil 4.** FD malzemede, iç sıcaklık değerlerinin ilk sıcaklıktan küçük, eşit ve büyük olması durumunda sabit termal gevşeme süresi için cidarın orta noktasındaki sıcaklık dağılımı.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, fonksiyonel derecelendirilmiş (FD) içi boş kalın cidarlı sonsuz uzunluktaki silindirin hiperbolik ısı iletim modeli ile geçici rejimdeki analizi Laplace Chebyshev Pseudospektral Durbin birleşik yöntemiyle sayısal olarak incelenmiştir. Sonsuz uzunlukta bir silindir ele alındığından silindirin alt ve üst ucundaki etkiler ihmal edilmiştir. Termal gevşeme süresi hariç, malzeme özelliklerinin radyal eksen boyunca üstel olarak değiştiği kabul edilmiştir. İç ve dış çeperde sabit bir sıcaklığın var olduğu ve dış çeperdeki sıcaklığın iç çeperdeki sıcaklıktan daha yüksek olduğu durağan sınır koşulunda, silindirin radyal eksen ve zaman boyunca ısı akı ve sıcaklık dağılımları incelenmiştir. Homojen malzemenin FD malzemeye oranla silindirik cisimdeki termal dalga yayılımının daha hızlı, sıcaklığın etkisinin de daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada fonksiyonel olarak derecelendirilmiş silindirik kaptaki gerilme analizlerini yapmak için kullanılan bu birleştirilmiş yöntemin, basit, kolay uygulanabilir ve yüksek hassasiyette çözümler sunan bir yaklaşım olduğu gösterilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP) destekli OKÜ BAP-2019-PT3-011 numaralı projenin ürünüdür.

## Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları aynı 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] Birman V., Byrd L.W. 2007. Modeling and analysis of functionally graded materials and structures. *Applied Mechanics Reviews*, 60 (5): 195–216.
- [2] Shen M., Bever M. 1972. Gradients in polymeric materials. *Journal of Materials science*, 7 (7): 741-746.
- [3] Niino M., Hirai T., Watanabe R. 1987. The functionally gradient materials. *Journal of the Japan Society for Composite Materials*, 13 (1): 257-264.
- [4] Babaei M.H., Chen Z.T. 2010. Transient hyperbolic heat conduction in a functionally graded hollow cylinder. *Journal Of Thermophysics and Heat Transfer*, 24 (2): 325-330.
- [5] Wilhelm H.E., Choi S.H. 1975. Nonlinear hyperbolic theory of thermal waves in metals. *The journal of Chemical Physics*, 63 (5): 2119-2123.
- [6] Chen H.T., Lin J.Y. 1993. Numerical analysis for hyperbolic heat conduction. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 36 (11): 2891-2898.
- [7] Lin J.Y., Chen H.T. 1994. Numerical solution of hyperbolic heat conduction in cylindrical and spherical systems. *Applied Mathematical Modelling*, 18 (7): 384-390.
- [8] Antaki P.J. 1995. Key features of analytical solutions for hyperbolic heat conduction. *AIAA Paper*, 95: 2044.
- [9] Zanchini E., Pulvirenti B. 1998. Periodic heat conduction with relaxation time in cylindrical geometry. *Heat and Mass Transfer*, 33 (4): 319-326.
- [10] Al-Nimr M. A., Naji M. 2000. The hyperbolic heat conduction equation in an anisotropic material. *International Journal of Thermophysics*, 21 (1): 281-287.
- [11] Chen H.T., Peng S.Y., Yang P.C. 2001. Numerical method for hyperbolic inverse heat conduction problems. *Int. Comm. Heat Mass Transfer*, 28 (6): 847-856.
- [12] Tarn J.Q., Wang Y.M. 2003. Heat conduction in a cylindrically anisotropic tube of a functionally graded material. *Chinese Journal of Mechanics (Series A)*, 19: 365-372.
- [13] Liu K.C., Lin C.N., Wang J.S. 2005. Numerical solutions for the hyperbolic heat conduction problems in a layered solid cylinder with radiation surface. *Applied Mathematics and Computation*, 164: 805-820.
- [14] Lu X., Tervola P., Viljanen M. 2006. Transient analytical solution to heat conduction in composite circular cylinder. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49: 341-348.
- [15] Hosseini S.M., Akhlaghi M., Shakeri M. 2007. Transient heat conduction in functionally graded thick hollow cylinders by analytical method. *Heat and Mass Transfer*, 43 (7): 669-675.
- [16] Darabseh T., Naji M., Al-Nimr M. 2008. Transient thermal stresses in an orthotropic cylinder under the hyperbolic heat conduction model. *Heat Transfer Engineering*, 29 (7): 632-642.
- [17] Chen T.M. 2010. Numerical solution of hyperbolic heat conduction problems in the cylindrical coordinate system by the hybrid Green's function method. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53: 1319-1325.

- [18] Keles I., Conker C. 2011. Transient hyperbolic heat conduction in thick-walled FGM cylinders and spheres with exponentially-varying properties. *European Journal of Mechanics A/Solids*, 30 (1): 449-455.
- [19] Afshin A., Nejad M.Z, Dastani K. 2017. Transient thermoelastic analysis of FGM rotating thick cylindrical pressure vessels under arbitrary boundary and initial conditions. *Journal of Computational Applied Mechanics*, 48 (1): 15-26.
- [20] Gottlieb D., Hussaini M.Y., Orszag S.A. 1984. *Introduction: Theory and Applications of Spectral Methods*. SIAM, USA.
- [21] Voigt R.G., Gottlieb D., Hussaini M.Y. 1984. *Spectral methods for partial differential equations*. SIAM, USA.
- [22] Trefethen L.N. 2000. *Spectral methods in matlab*. SIAM, USA.
- [23] Durbin F. 1974. Numerical inversion of Laplace transforms: an efficient improvement to Dubner and Abate's method. *The Computer Journal*, 17 (4): 371-376.
- [24] Nowinski J. N. 1978. *Theory of thermoelasticity with applications*. Sijthoff-Noordhoff, Alphen aan den Rijn, Netherlands.
- [25] Narayan G.V. 1979. *Numerical operational methods in structural dynamics*. Ph.D.thesis, University of Minnesota, Minneapolis, MN.
- [26] Dubner R., Abate J. 1968. Numerical inversion of Laplace transforms by relating them to the finite Fourier cosine transform. *Journal Applied and Computational Mechanics*, 15 (1): 115-123.
- [27] Yıldırım A., Yarımabaç D., Celebi K. 2020. Transient thermal stress analysis of functionally graded annular fin with free base. *Journal of Thermal Stresses*, 43 (9): 1138–1149.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Antibakteriyel ve Antikanser Özellikleri Gösteren Piridin ve Kinolin Temelli Schiff Bazı Türevlerinin Sensör Özellikleri

Bahar YILMAZ<sup>1\*</sup>, Pelin YEŞİLDAŞ<sup>1</sup>, Mevlüt BAYRAKCI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Karaman, (ORCID: [0000-0002-6315-3018](https://orcid.org/0000-0002-6315-3018)) (ORCID: [0000-0002-2700-1754](https://orcid.org/0000-0002-2700-1754)) (ORCID: [0000-0002-0416-2870](https://orcid.org/0000-0002-0416-2870))

---

### Öz

Bu çalışmada, literatürdeki güncel sentez yöntemleri izlenerek, piridin ve kinolin grupları içeren Schiff bazı tipinde üç farklı molekül (P-1, P-2 ve P-3) başarıyla sentezlendi. Sentezlenen bileşiklerin yapısal karakterizasyonu spektrofotometrik yöntemler kullanılarak aydınlatıldı. Spektrofotometrik çalışmalarda, P-1 molekülü civaya karşı seçimli bir bağlanma gösterirken, P-2 molekülünün alüminyuma karşı seçimli bir bağlanma sergilediği görüldü. Ayrıca, sentezlenen tüm bileşiklerin antikanser aktivitesi, in vitro koşullarda insan meme kanseri hücresi (MCF-7) ve normal insan embriyonik böbrek hücresi (HEK 293) üzerinde Alamar mavisini testi kullanılarak değerlendirildi. Antikanser aktivite sonuçlarına göre, moleküllerin MCF-7 kanser hücre hattı üzerinde daha fazla ölüme neden olduğu görüldü. Dahası, P-1, P-2 ve P-3 moleküllerinin antibakteriyel çalışmaları disk difüzyon yöntemi kullanılarak gram-pozitif (*B. subtilis*) ve gram-negatif (*E. coli*) bakteri hatları üzerinde başarılı bir şekilde yapıldı. Bu sonuçlar, P-1 ve P-2'nin canlı hücrelerde sağlıklı hücrelere zarar vermeden mükemmel floresans problemleri olarak kullanılabilceğini gösterdi. Ayrıca, bu bileşikler Schiff bazı moleküllerinin antikanser ve antibakteriyel uygulamaları ile ilgili yeni çalışmalar için ilham kaynağı olabilir.

**Anahtar kelimeler:** Antibakteriyel, Antikanser, Floresans, Sensör, Schiff bazı

---

## Sensor Properties of Pyridine and Quinoline Based Schiff Bases Derivatives Showing Antibacterial and Anticancer Properties

### Abstract

In this study, three different Schiff base type molecules (P-1, P-2, and P-3) containing pyridine and quinoline groups were successfully synthesized by following current synthesis methods in the literature. The structural characterization of the synthesized compounds was determined using spectrophotometric methods. In spectrophotometric studies, it was seen that the P-1 molecule had a selective binding against mercury, while the P-2 molecule had a selective binding against aluminum. In addition, the anticancer activity of all the synthesized compounds was evaluated in vitro model using Alamar blue assay on the human breast adenocarcinoma (MCF-7) and normal human embryonic kidney cell (HEK 293). According to the results of anticancer activity, the molecules were shown to cause more deaths on the MCF-7 cancer cell line. Moreover, antibacterial studies of P-1, P-2, and P-3 molecules were successfully performed on gram-negative (*E. coli*) and gram-positive (*B. subtilis*) bacteria lines using disc diffusion method. These results showed that P-1 and P-2 can be used as excellent fluorescent probes in living cells without damage to healthy cells. And also, these molecules can be an inspiration for new studies related to the anticancer and antibacterial application of Schiff base molecules.

**Keywords:** Antibacterial, Anticancer, Fluorescence, Sensor, Schiff base

---

### 1. Giriş

Schiff bazı türevleri, organik bileşikler sınıfında iyi bilinen kondenzasyon ürünleridir. Bu tür moleküllerin endüstride ve biyolojik uygulamalardaki önemi giderek artmaktadır [1]. Farmakolojik ve biyolojik çalışmalar söz konusu olduğunda Schiff bazı türevleri geniş bir uygulama alanına sahiptir [2,

---

\*Sorumlu yazar: [bahar.kmu@gmail.com](mailto:bahar.kmu@gmail.com)

Geliş Tarihi: 23.03.2021, Kabul Tarihi: 31.05.2021

3]. Schiff bazı bileşiklerinin temeli, yapıdaki biyoaktivite için hayati bir özellik olan imin ( $-C = N$ ) bağına dayanmaktadır. Aynı zamanda sentezlenen birçok Schiff bazı bileşiklerinin yapısında nitrojenin varlığı, biyolojik aktivite göstermesi nedeniyle büyük ilgi görmektedir. Schiff bazı molekülleri birçok metal iyonuna karşı seçilimli olduğundan ağır metallerin tespitinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Ağır metal iyonları organizma içerisine, başlangıçta ağız, solunum ve deri gibi birçok yol ile alınabilmektedir. Ağır metallerin organizma içerisine çok az miktarda dahi girmesi metabolizma içerisinde çok yavaş atılmalarından dolayı zamanla organizma bünyesinde birike birike tehlikeli dozlara ulaşip toksik etki yaratmalarına neden olur [5]. Ağır metal katyonlarının vücut içerisinde meydana getireceği etkiler, bu katyonların derişimine bağlı olmasının yanında ayrıca metal iyonunun çözünürlük değerine, fiziksel ve kimyasal yapısına, redoks ve kompleks oluşturabilme yeteneğine bağlıdır [6]. Ayrıca organizma içerisine alınış şekline ve dış ortamlarda bulunma sıklığına da bağlıdır. Ağır metallerin hücre içi metabolik süreçlerde oluşturdukları bozukluklar, vücutta meydana gelen toksik etkinin temel nedenidir. Bu metabolik bozukluklar; DNA yapısının hasarına, oksidatif bir stresin oluşmasına bağlı olarak başta protein yıkımı, mitokondri yapılarında hasara ve hücre ölümü olan apoptozisin indüklenmesine, otoimmün hastalıklara ve nörolojik bozukluklara neden olmaktadır [7].

Ağır metal iyonlarının meydana getirdiği bu ciddi sağlık problemlerinin büyük çoğunluğu kronik ya da kanser hastalıklarına neden olarak sonuçlanmaktadır. Yüksek oranda toksik etkiye neden olan ağır metal iyonlarının başında cıva, bakır, çinko, kurşun ve alüminyum gibi metaller gelmektedir. Bu metal iyonlarının neden olduğu sağlık problemlerinin çoğunda da tedavi imkânları çok kısıtlıdır ve çoğunlukla bu sağlık problemleri ölüm ile sonuçlanmaktadır [8]. Bütün bu sebeplerden dolayı bu metal iyonları, birkaç teknik izlenerek saptanabilir ve tahmin edilebilir. Ancak floresans spektrometresi, yüksek duyarlılık ve seçicilik ile birlikte yüksek sinyal kabiliyeti sayesinde önemli derecede ilgi çekmektedir. Bu nedenle, metal iyonları için son derece hassas ve seçici olan sensörlerin tasarımı, son birkaç yıldır araştırma için önemli bir yer edinmiştir [9]. Floresans spektrofotometresi ile metal iyonu tespiti için başta Schiff bazlı moleküller olmak üzere birçok bileşik sensör olarak kullanılmaktadır. Koordinasyon bileşikleri sentezinde ligand olarak kullanılan Schiff bazları ile birçok literatür çalışması gerçekleştirilmiş ve çeşitli yapılar ortaya koyulmuştur [10].

Aminlerin aldehit veya ketonlara katılmasıyla oluşan aldiminlerin genel adı olan Schiff bazları ilk kez 1864 yılında Hugo Schiff tarafından bildirilmiştir [11]. Genel olarak asit-baz katalizi ve/veya ısı ortamında oluşturulan ( $-HC=N-$ ) azometin grubunu içeren yapılardır [12]. Sentezleme kolaylığı, yapısal çeşitlilikleri ve elektronik kontrol mekanizmaları sayesinde Schiff bazları yararlı şelatlar olarak bilinmektedir [13]. Ayrıca bu yapılar "ayrıcalklı ligand" olarak da adlandırılırlar. Schiff bazları ve bunların metaller ile yapmış oldukları kompleksler, oksidasyon, hidrojenasyon, epoksidasyon, katalizlenme ve izomerizasyon olaylarında, belirli organik reaksiyonların kükürt içeren hidrokarbonlardan kükürdün uzaklaştırılması gibi, seçici ekstraksiyon alanında farklı çözücü sistemlerindeki metal iyonları ile metalik özellik gösteren iyonlardan ya da organik kirleticilerin atık sularından ayrıştırılması, proteinlerin saflaştırılması gibi çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler [2, 3].

Schiff bazları kararlı ve kolay sentezlenebildikleri için çok kullanılırlar [4]. Schiff bazları veya Azometinler; antioksidan, antifungal, antitümör, antibakteriyel, antipiretik ve anti-inflamatuvar uygulamalar başta olmak üzere birçok biyolojik alanda kullanılmaktadırlar [14]. Schiff bazı yapılarının tıp ve farmakoloji alanındaki önemi antikanser aktivite özelliğine sahip olmalarından dolayı daha fazla ilgi görmektedir. Ayrıca kanser hastalıkları ile mücadele etmekte reaktif olarak kullanılmaları ve araştırılmaları için çalışmalar hızla devam etmektedir. Özellikle kemoterapi uygulamalarında aromatik aminlerin Schiff bazı yapıları, birkaç kimyasal reaksiyonlarda farklı substratlara oksijen iletici olarak uygulanmaktadır [2]. Son yıllarda kanser tedavisinde ve kemoterapik özelliği olan ilaçların hazırlanmasında kullanılabilmesi bu alandaki çalışmaların daha da artmasını sağlamaktadır [3]. Ayrıca fareler üzerinde *in vivo* olarak yapılan birçok araştırma, Ascites Carcinoma Virüsüne karşı Schiff bazlarının antikanser etkisinin fazla olduğu kanıtlanmıştır [15]. Ayrıca, Schiff bazlarının antitümöral aktivite yönünden platin içeren komplekslerinin, halo ve nitro türevlerinin hem anti tümöral hem de antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu birçok literatürde gösterilmiştir. Bu moleküllerin gerek biyolojik sistemler gerekse endüstride ki önemi her geçen gün artmaktadır. Metal-imin kompleksleri, antitümör ve herbisidal kullanıma uygun olmasının yanı sıra, AIDS ve diyabet tedavisinde de kullanılmaktadır. Bu moleküllerin antiviral kullanımı yanında antibakteriyel ve antifungal etkileri de yaygın olarak kullanılmakta ve etkili ajan olarak kabul edilmektedir [16, 17]. Yapılan birçok çalışmada farklı oranlarda antimikrobiyal aktiviteye sahip bazı Schiff bazları tespit edildiği görülmüştür. 2,6-di-tert-butil

olarak adlandırılan sterik hidrokarbonlu fenol türevleri sentezlenmiş ve onların kompleks bileşenleri birçok çalışmada kullanılmıştır. Başta polimer ve gıda sanayide kullanılmakta olan bu kompleks bileşenler, eczacılıkta oksidasyon sürecini engelleyen bir koruyucu ajan olarak kullanılmaktadır [14]. Ayrıca bu tür fenollerin antikanser özellik gösterdiği de yapılan araştırmalarla ortaya konulmuştur. Aminoasit Schiff bazları ise, bu moleküllerin antibakteriyel ve antifungal etkilere sahip olduğunu göstermiştir [14]. Metal içerikli Schiff bazı bileşiklerinin antiviral etkilerinin yüksek olduğu da yapılan çalışmalar ile ortaya konulan bir gerçektir [16]. Schiff bazları; boya endüstrisi, iyon seçici elektrot yapımı, katyon taşıyıcı ve korozyon önleyici alanlarda da kullanılmaktadır. Yapılan literatür çalışmaları dikkatle incelendiğinde piridin veya kinolin türevli Schiff bazı yapılarının mevcut olmasına rağmen, bu moleküllerin hem spektroskopik hem de biyolojik çalışmaları içeren literatür çalışmalarına çok az rastlanılmaktadır [17].

Yukarıda anlatılan bilgiler ışığında bu çalışmada piridin ve kinolin gibi aromatik yapıları içeren Schiff bazı moleküllerinin sentezi ve karakterizasyonu başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Sentezlenen ve karakterize edilen Schiff bazlarının; bazı metal iyonlarına karşı sensör özellikleri absorpsiyon ve emisyon ölçümleri ile tespit edilmiştir. Metal sensör olarak değerlendirilen bu Schiff bazlarının, gram negatif ve gram pozitif bakteri türlerine karşı antibakteriyel özellikleri değerlendirilmiş, sağlıklı ve kanser hücre hatlarına karşı da antikanser özellikleri detaylı bir şekilde çalışılmış ve rapor edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Genel

Tüm çözücüler ve reaktifler Sigma-Aldrich ve Merck firmasından temin edildi. 9-antrasenaldehit ile piridin ve kinolin temelli yapılardan elde edilen Schiff bazı moleküllerinin yapısı <sup>1</sup>H NMR, FT-IR ve elemental analiz yöntemleri ile aydınlatıldı (kimyasal kaymalar ppm cinsinden kaydedildi). UV-vis ve floresans spektrumları, oda sıcaklığında sırasıyla Shimadzu UV-1800 ve Hitachi F-7100 cihazları ile ölçülerek kaydedildi.

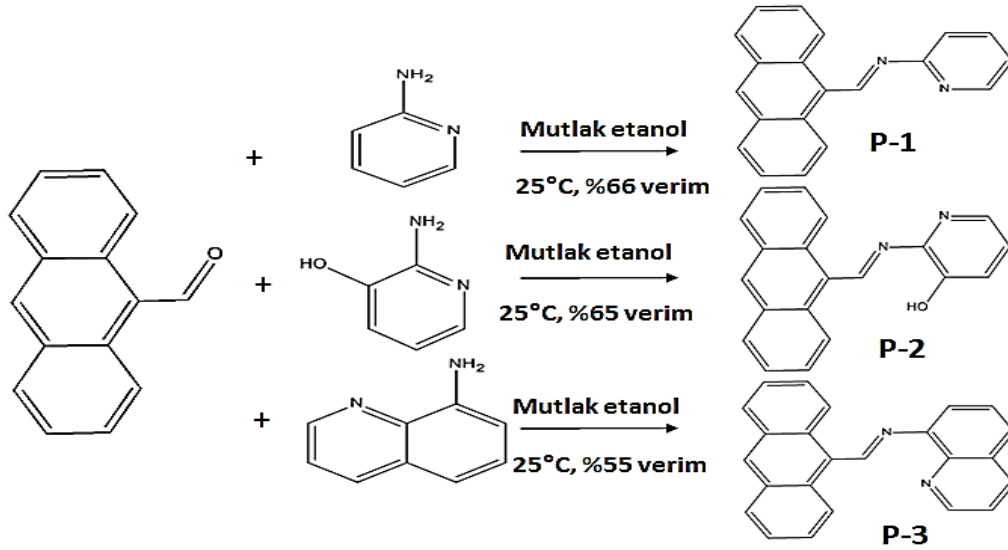
### 2.2. Schiff Bazlarının Sentezi

Sentezi gerçekleştirilen Schiff bazları literatüre uygun şekilde modifiye edilerek sentezlendi [18]. Schiff bazlarının sentezinde aldehit türevi olarak 9-antrasenaldehit bileşiği kullanılırken, amin bileşikler sırası ile P-1 için 2-amino-piridin, P-2 için 2-amino-3-hidroksi-piridin ve son olarak P-3 için ise 8-amino-kinolin bileşikler kullanıldı. Kısaca, 0.1 mmol aldehit ve amin türevleri ayrı ayrı 20 mL mutlak etanol içerisinde çözüldü, sonra amin çözeltisi aldehit çözeltisi içerisine damla damla ilave edilerek bir gece oda sıcaklığında karıştırıldı. Ardından oluşan renkli çökelek süzülerek soğuk etanolla, 0.1 N HCl ile ve son olarak da asitliği gidene kadar distile su ile yıkanarak reaksiyona girmemiş olan başlangıç bileşikler uzaklaştırıldı. Elde edilen ürünler kloroform-metanol çözücü karışımından kristallendirilerek saf halde ve yüksek verimde P-1, P-2 ve P-3'ün sentezi gerçekleştirildi.

1-(antrasen-9-il)-N-(piridin-2-il)metanimin (P-1) sentezi: Açık sarı katı, verim: 0.74 g (%66), E.N.: 288-290 °C, FT-IR (ATR, cm<sup>-1</sup>): 1664 (CH=N). <sup>1</sup>H NMR (600 MHz DMSO-d<sub>6</sub>): δ 8.90-8.79 (m, 3H, Ar-H ve CH=N), 7.97-7.73 (m, 5H, Ar-H), 7.50 (m, 1H, Ar-H), 7.43-7.20 (m, 5H, Ar-H). C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub> için hesaplanan; C, 85.08; H, 5.00; N, 9.92. Bulunan: C, 85.17; H, 4.95; N, 9.89.

2-((antrasen-9-iletillen)amino)piridin-3-ol (P-2) sentezi: Sarı katı, verim: 0.75 g (%65), E.N.: 302-303 °C, FT-IR (ATR, cm<sup>-1</sup>): 1666 (CH=N). <sup>1</sup>H NMR (600 MHz DMSO-d<sub>6</sub>): δ 8.89-8.74 (m, 2H, Ar-H ve CH=N), 7.98-7.93 (m, 3H, Ar-H), 7.52-7.48 (m, 1H, Ar-H), 7.41-7.16 (m, 5H, Ar-H), 6.64-6.61 (m, 2H, Ar-H), 6.31-6.14 (m, 1H, Ar-H). C<sub>20</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>O için hesaplanan; C, 80.52; H, 4.73; N, 9.39. Bulunan: C, 80.52; H, 4.75; N, 9.49.

1-(antaseen-9-il)-N-(kinolin-8-il)metanimin (P-3) sentezi: Sarı katı, verim: 0.72 g (%55), E.N.: 278-280 °C, FT-IR (ATR, cm<sup>-1</sup>): 1675 (CH=N). <sup>1</sup>H NMR (600 MHz DMSO-d<sub>6</sub>): δ 8.74 (bs, 3H, Ar-H, CH=N ve ArCH=N), 8.42 (m, 2H, Ar-H), 7.91-7.74 (m, 4H, Ar-H), 7.40 (m, 6H, Ar-H), 6.67 (m, 1H, Ar-H). C<sub>24</sub>H<sub>16</sub>N<sub>2</sub> için hesaplanan; C, 86.72; H, 4.85; N, 8.43. Bulunan: C, 86.66; H, 4.79; N, 8.37.



Şekil 1. P-1, P-2 ve P-3 Schiff bazlarının sentezi

### 2.3. Spektrofotometrik Çalışmalar

Ligand metal etkileşimlerini absorpsiyon ve emisyon çalışmaları ile incelemek için, Schiff bazı moleküllerinin ( $2 \times 10^{-3}$  M) stok çözeltileri dimetilformamid (DMF) yardımı ile çözülerek su içerisinde hazırlandı [19,20].  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Al}^+$ ,  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Ba}^{+2}$ ,  $\text{Co}^{+2}$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Cu}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Hg}^{+2}$ ,  $\text{Mn}^{+2}$ ,  $\text{Pb}^{+2}$ ,  $\text{Ni}^{+2}$ ,  $\text{Sr}^{+2}$ ,  $\text{Zn}^{+2}$  gibi çeşitli metal kationlarının nitrat tuzlarından stok çözeltisi hazırlandı ( $40 \times 10^{-3}$  M, DMF). Ölçüm için ligand metal konsantrasyonu 1:20 oranında hazırlanarak absorbans ve emisyon ölçümleri alındı. Spektrofotometrik ölçümler için Shimadzu UV 1800 kullanılarak 200-800 nm arası absorbans ölçümleri alınmış, florometrik ölçümler için ise farklı dalga boylarında uyarılmış ve 300-600 nm arası emisyon ölçümleri Hitachi F-7100 ile alınmıştır.

### 2.4. Biyolojik Çalışmalar

#### 2.4.1. Sitotoksitite Testi

Çalışmada sitotoksitenin belirlenmesi için Alamar mavisi testi kullanıldı. 96 kuyucuklu plakalarda kuyucuk başı 10000 hücre 18 saat bileşikler ile inkübasyonu sağlandı ve 4 saat Alamar mavisi ile inkübe edilerek gerçekleştirildi. Her bir Schiff bazının 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400 ve 500  $\mu\text{M}$  konsantrasyonları, 2 hücre hattı (MCF-7 ve HEK 293) için de 3 tekrarlı olacak şekilde konuldu. Her bir kuyucuğa 100  $\mu\text{L}$  taze besi yeri ve 10  $\mu\text{L}$  Alamar mavisi reaktifi eklenerek  $37^\circ\text{C}$ 'de 4 saat inkübe edildi. Kuyuların absorbans okumaları 570 nm ve 600 nm dalga boylarında ölçüldü ve hücre canlılığı kontrol hücrelerinin yüzdesi cinsinden hesaplandı. Tüm ölçümler 3 tekrarlı olacak şekilde yapıldı.

#### 2.4.2. Disk Difüzyon Testi

Bu test, kağıt disklere emdirilen antibiyotiğin, duyarlılığı araştırılan organizmanın inoküle edildiği besi yerine difüzyonu ile gerçekleştirilen bir yöntemdir [21]. Bu yöntem ile, incelenecek olan mikroorganizmalar *Bacillus subtilis* (*B. subtilis* HFBF-B11) ve *Escherichia coli* (*E. coli*, ATCC®25952) Mueller Hinton Agar (MHA) içerisinde 4-5 saat süreyle  $37^\circ\text{C}$ 'de inkübe edildi. Bulanıklık oluştuktan sonra McFarland 0.5 (108 mikroorganizma / ml)'e göre ayarlanarak mikroorganizmalar MHA üzerine inoküle edildi [21]. Üzerine, pozitif kontrol olarak kloramfenikol antibiyotiği (K) emdirilmiş diskler, negatif kontrol için çözücü içeren diskler ve farklı moleküller (P-1, P-2 ve P-3) emdirilen diskler steril bir pens yardımıyla agar yüzeyine yerleştirildi. Daha sonra 18-24 saat süreyle  $35^\circ\text{C}$ 'de inkübe edilen petrielerde oluşan inhibisyon zonları ölçüldü. Tüm ölçümler 3 tekrarlı olacak şekilde yapıldı.



### 3. Bulgular ve Tartışma

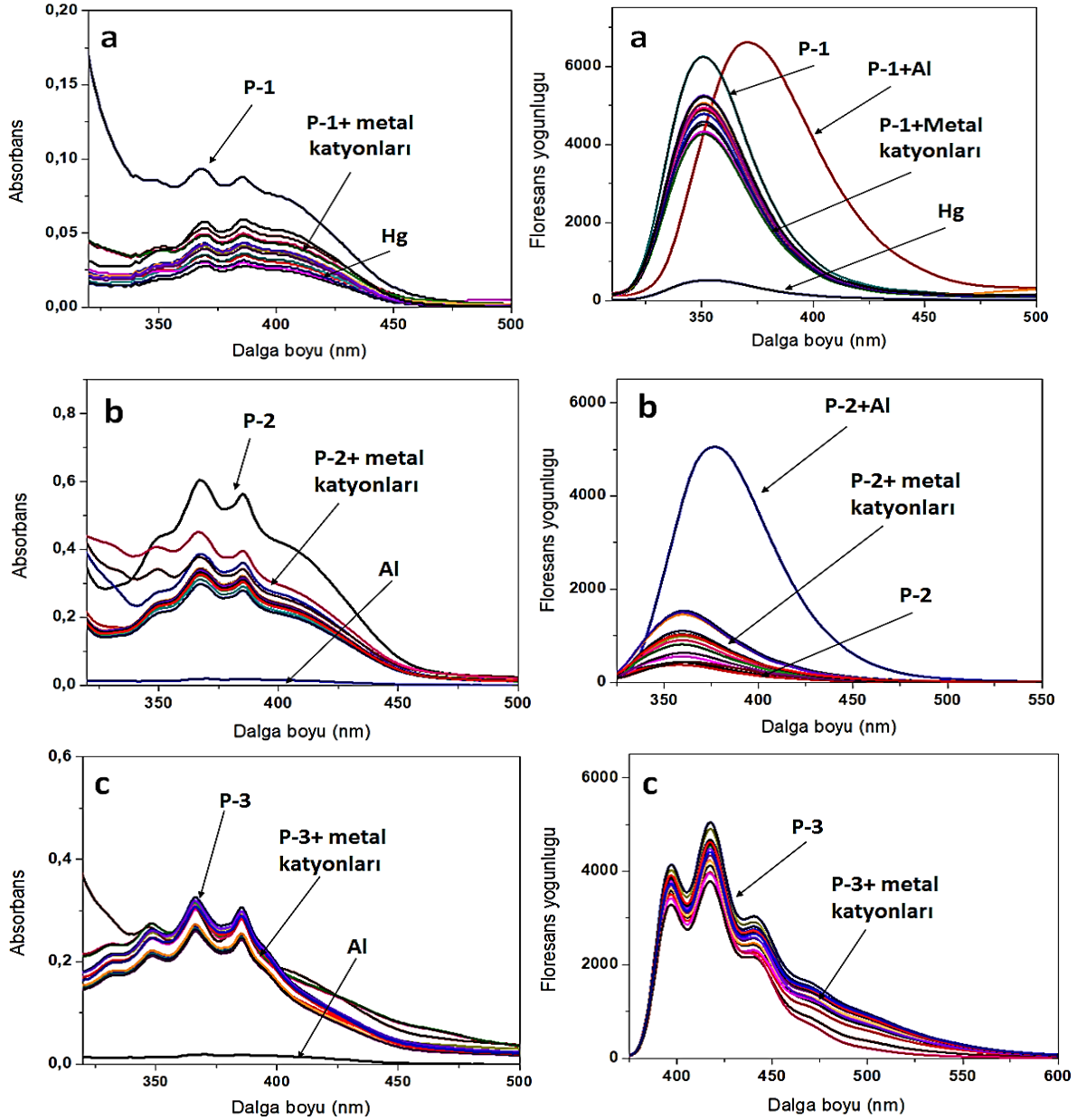
#### 3.1. Sentez ve Karakterizasyon

Sentezi yapılan piridin ve kinolin yapıları Schiff baz bileşiklerinin yapısal karakterizasyonu yapılan diğer çalışmalar ile benzer sonuçlar vermektedir [18].

Bu bileşiklerin <sup>1</sup>H-NMR analizlerinden başlangıç reaktifleri olan 9-antrasenaldehit ve amin yapıları piridin veya kinoline ait karakteristik amin ve aldehit pikleri sırasıyla 4.20-4.45 ve 9.75-10.05 ppm civarında görülmesi gerekirken reaksiyon sonunda görülmemektedir. Ayrıca amin ve aldehit gruplarının kondenzasyonundan elde edilen ve 8.90-8.95 ppm civarında Schiff bazı yapısı olan imin (HC=N) gruplarındaki =CH protonuna ait piklerin varlığı sentezin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini ispatlamıştır. Bazı bileşiklerde bu imin pikleri diğer aromatik piklerle çakışmış olup net olarak yeri belirlenmemiştir, ancak yapılan integrasyonda bu yapıları ait birer protonluk imin hidrojen pikleri tespit edilmiştir. FT-IR analizlerinde ise başlangıç reaktiflerine ait olan ve 3300 cm<sup>-1</sup> civarında kuvvetli bir gerilme bandı olan primer aminlere (R-NH<sub>2</sub>) ait pikler, IR analizlerinde kondenzasyon reaksiyonu sonunda görülmeyip sentez reaksiyonlarının başarıyla gerçekleştiğini ispatlamıştır. Aynı zamanda aldehit türevi olan 9-antrasenaldehit'e ait olan ve genellikle 1715 cm<sup>-1</sup> civarında ortaya çıkan aldehit karboniline (-HC=O) ait gerilme piklerinin reaksiyon sonunda ortadan kaybolması da Schiff bazı sentezlerinin gerçekleştiğini göstermiştir. Schiff bazı sentez reaksiyonlarının başarı ile gerçekleştirildiği; yapı aydınlatma çalışmalarında başlangıç maddelerine ait olan karakteristik amin veya aldehit piklerinin reaksiyon sonunda kaybolması ve kullanılan aminler (R-NH<sub>2</sub>) ile aldehitin (-HC=O) birleşmesiyle oluşan imin (CH=N) yapılarına ait yeni piklerin analizlerde görülmesi ile kanıtlanmıştır.

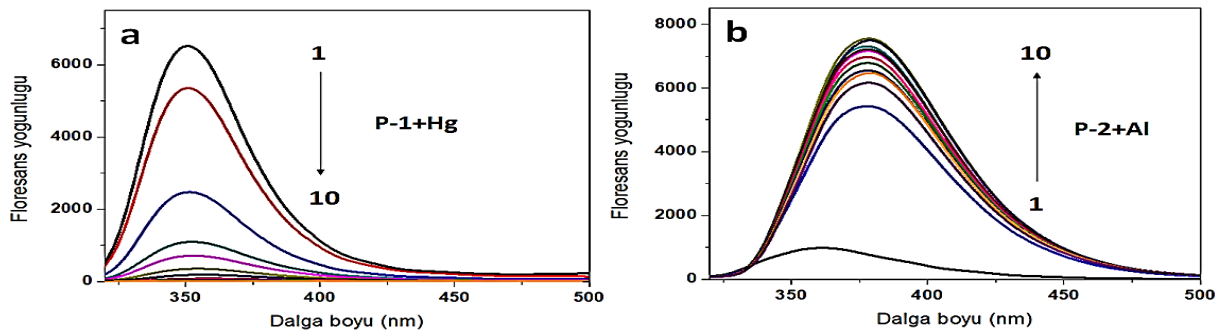
#### 3.2. Absorpsiyon ve Emisyon Çalışmaları

Çalışmanın bu bölümünde bileşiklerin absorpsiyon ve emisyon spektrumları son konsantrasyon 1x10<sup>-7</sup> M ligand, 20x10<sup>-7</sup> M metal konsantrasyonu olacak şekilde DMF-su (1:1000) karışımı içerisinde oda sıcaklığında ölçülmüş ve sonuçlar Şekil 2'de gösterilmiştir. P-1, P-2 ve P-3 ile metal katyonları arasındaki floresans ve UV-Vis ölçümleri için gerçekleştirilen absorpsiyon çalışmalarında; 370 ve 390 nm dalga boylarında P-1, P-2 ve P-3 ligandlarında moleküler etkileşimden kaynaklı iki farklı pik gözlenmiştir [22]. Metal iyonları bu ölçüm aralığında herhangi bir pik değeri sergilememiştir. Metal iyonları P-1, P-2 ve P-3 moleküllerine eklendiğinde bu noktalarda belirgin bir kayma meydana gelmemiştir. Absorpsiyon spektrumlarında meydana gelen değişimleri destekleyebilmek için aynı komplekslerin emisyon spektrumları da ölçülmüştür. Şekil 2.a'da gösterildiği gibi 350 nm'de sentezlenen Schiff bazı (P-1) kuvvetli floresans spektrumu gösterirken, metal katyonları (Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ag<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Cs<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>) eklendiğinde P-1 bileşiğinin floresans emisyonlarında kayda değer bir azalma olmamıştır. Hg<sup>2+</sup> varlığında ise floresans emisyonunun tamamen kaybolduğu tespit edilmiştir. P-1 molekülüne Al<sup>3+</sup> iyonu eklendiğinde floresans bir değişim olmamış, ancak uyarılma ışınlarının toplandığı değer 360 nm'den 385 nm'ye kayma göstermiştir. Floresans özellik göstermeyen P-2 bileşiğinin emisyon ölçümleri sonucu, Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Ag<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup>, Cs<sup>+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> metal katyonları eklendiğinde 370 nm'de aşırı düzeyde bir floresans değişim meydana gelmemiş, fakat Al<sup>3+</sup> iyonu eklendiğinde 380 nm'de 300 kat floresans artış tespit edilmiştir (Şekil 2.b). 390, 425 ve 450 nm'de floresans pikler gösteren P-3 bileşiğinin, metal katyonları eklendiğinde floresans özelliğinde herhangi bir değişim belirlenmemiştir (Şekil 2.c).



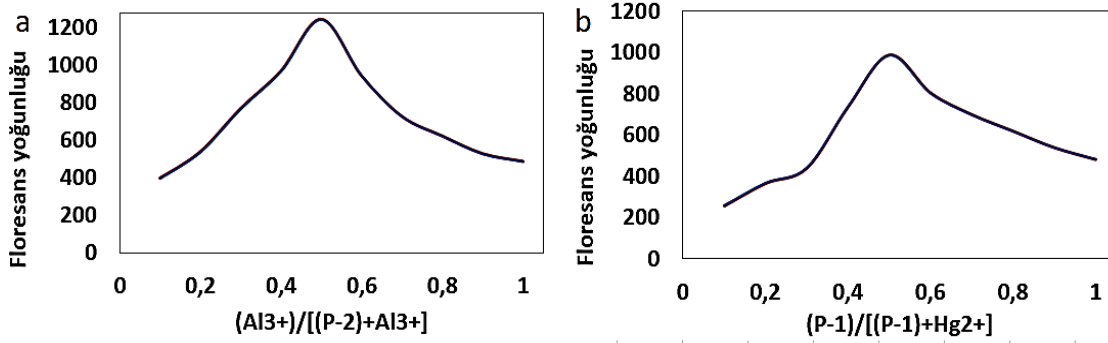
Şekil 2. Farklı metal kationları varlığında; a) P-1, b) P-2 ve c) P-3 ligandlarının absorpsiyon ve emisyon spektrumları

$Hg^{2+}$  ve  $Al^{3+}$  iyonlarına duyarlı olan P-1 ve P-2 ligandlarının  $Hg^{2+}$  ve  $Al^{3+}$  iyonlarına olan afinitelerini daha fazla incelemek amacıyla iyonların artan konsantrasyonunda (0-10  $\mu M$ ) floresans titrasyon deneyleri yapılmış ve Şekil 3'te artan metal konsantrasyonu ile P-1 ve P-2 ligandlarındaki değişim gözlenmiştir.



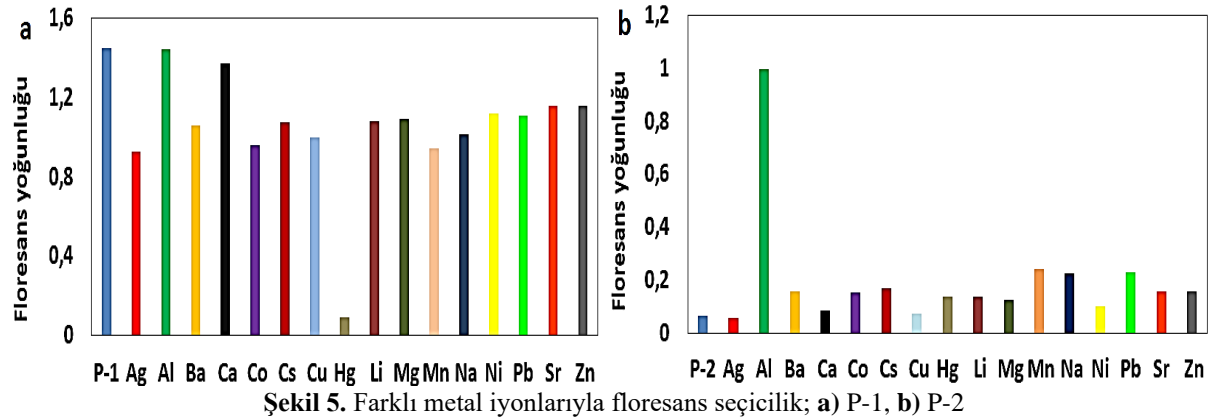
Şekil 3. P-1 (a) ve P-2 (b) ligandlarının floresans titrasyonları

Şekil 4'te P-1 ve P-2 ligandlarının  $Hg^{2+}$  ve  $Al^{3+}$ 'a bağlanma sitokiyometrisini hesaplamak amacıyla Job's plot yöntemi esas alınmıştır. Bu yöntemde her deneyde toplam konsantrasyon  $10 \mu M$ 'da sabit tutularak her seferinde farklı konsantrasyonlarda ligand ve metal iyonu kullanılmıştır. Bu deneyde maksimum emisyon değeri molar fraksiyon 0.5 olarak hesaplanmış ve bu değer floresans titrasyon spektrum verileri ile uygun görülmüştür. Sonuç olarak 1 mol ligand ve 1 mol metal iyonu ile oluşan metal komplekste bağlanma oranı 1:1 olduğu belirlenmiştir.



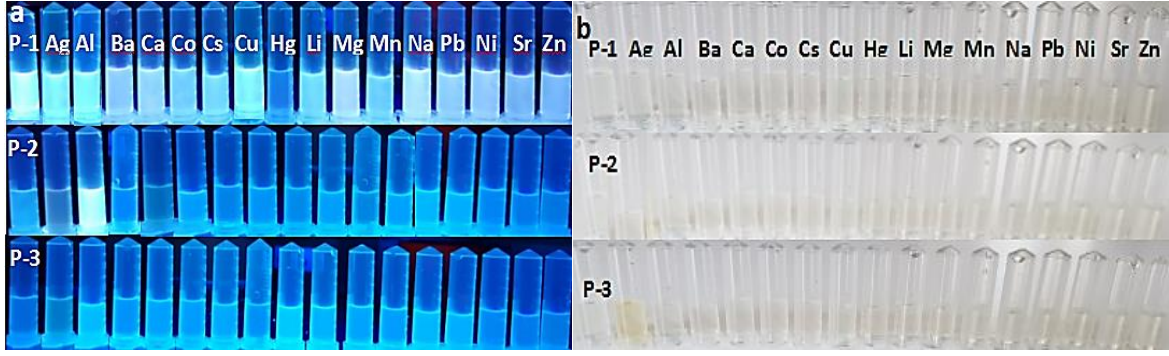
Şekil 4. Job plot tekniği ile P-1 ve P-2 ligandları ve  $Hg^{2+}$  ve  $Al^{3+}$  iyonları arasındaki kompleks sitokiyometrisi

P-1 ve P-2'nin seçici floresans bir sensör olarak pratik kullanılabilirliğini test etmek amacıyla çeşitli metal iyonlarına ( $Li^+$ ,  $Na^+$ ,  $Al^+$ ,  $Ag^+$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Ba^{+2}$ ,  $Co^{+2}$ ,  $Cs^+$ ,  $Cu^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Hg^{+2}$ ,  $Mn^{+2}$ ,  $Pb^{+2}$ ,  $Ni^{+2}$ ,  $Sr^{+2}$ ,  $Zn^{+2}$ ) karşı karşılaştırmalı seçicilik çalışmaları yapılmış ve sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. Aynı koşullar altında ligand içeren çözeltiye metal iyonların eklenmesiyle, floresans yoğunluğunda dikkate değer bir değişkenlik gözlenmezken, bu metallere farklı olarak  $Hg^{2+}$  ve  $Al^{3+}$  iyonlarına karşı hassas ve seçici bir tutum sergilediği görülmüştür.



Şekil 5. Farklı metal iyonlarıyla floresans seçicilik; a) P-1, b) P-2

Ayrıca P-1, P-2 ve P-3 Schiff bazlarının metal iyonları ile etkileşimlerini daha iyi görmek için hem UV ışık hem de gün ışığı altında görüntüleme yapılmıştır. UV ışık ve gün ışığı altında bakıldığında P-1 ligandında gün ışığında herhangi bir fark gözlenmemiş, ancak UV ışık altında floresans özellik gösteren ligand  $Hg^{2+}$  metal iyonu eklendiğinde floresans özelliğinin kaybolduğu tespit edilmiştir. UV ışık altında  $Al^{3+}$  iyonlarının varlığında P-2 ligandına ait rengin, renksizden parlak turkuaza dönüşümü net olarak görülmüştür. Bu floresans ışımaya muhtemelen ligandın  $Al^{3+}$  metaliyle kompleks oluşumu sırasında azometin azotu ve hidroksil gruplarında bulunan eşleşmemiş elektronların  $Al^{3+}$  iyonu tarafından çekilmesiyle oluştuğu düşünülmüştür [23, 24]. Sonuç olarak UV ışık altında P-2 ligandının ortamda bulunan alüminyum iyonlarının varlığını tespit etme noktasında etkili bir sensör olarak kullanılabileceği öngörülmüştür. P-3 ligandında ise metal iyonları varlığında herhangi bir etkileşim tespit edilmemiştir.

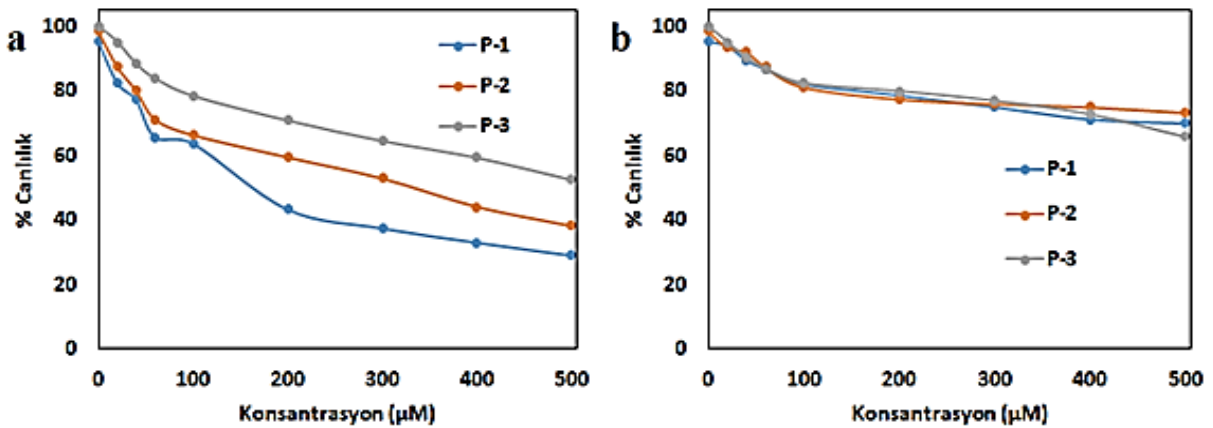


Şekil 6. P-1, P-2 ve P-3 ligandlarının metal kompleksleri ile a) Uv ışığı, b) gün ışığı altındaki görüntüleri

### 3.3. Biyolojik Uygulamalar

Çalışmada kullanılan farklı konsantrasyonlardaki (0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300, 400 ve 500  $\mu\text{M}$ ) P-1, P-2 ve P-3 bileşikleri 18 saat süre ile MCF-7 ve HEK 293 hücreleri üzerindeki sitotoksik etkisinin belirlenmesi için sitotoksosite testi yapılmıştır. Schiff bazı türevli bileşiklerin MCF-7 ve HEK 293 hücrelerinde 0-500  $\mu\text{M}$  konsantrasyon aralığında 18 saatlik inkübasyon sonrası Alamar mavisi yöntemi ile ölçülen hücre canlılığı üzerine etkileri Şekil 7’de gösterilmiştir.

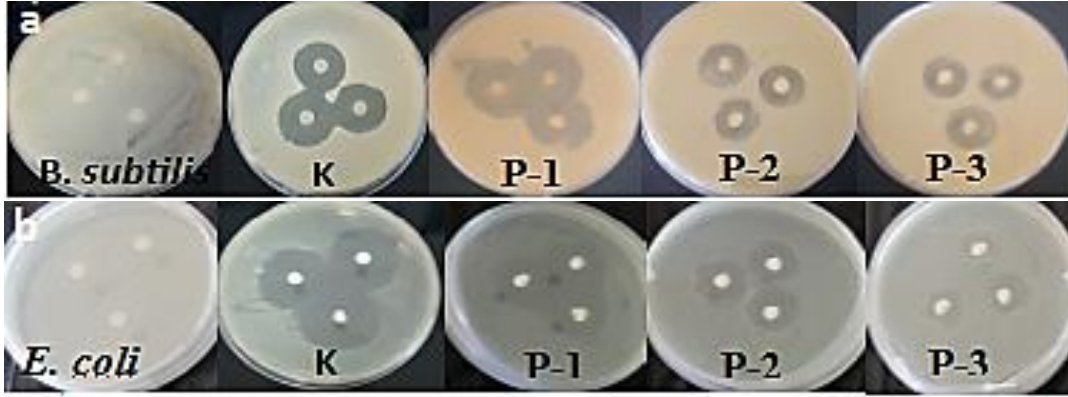
Sentezlenen bileşiklerin her birinin artan konsantrasyonuyla birlikte sitotoksiteside de artmıştır. Bu yöntem, Alamar mavisi (resazurin) ismi verilen bileşiğin, canlı hücreler ile beraber resorufin bileşiğine dönüşmesiyle gerçekleşmiştir. Oksidatif şekilde bulunan mavi renkteki resazurin bir redoks boyası olarak bilinir, hücre zarından serbest bir şekilde geçerek hücreye giriş sağlar ve burada indirgenip floresans özelliği olan pembe renkteki resorufin bileşiğine dönüştüğü görülmüştür [25]. Ölü hücreler, metabolik aktivitelerini kaybettiği için resazurini indirgeyememiş ve floresans sinyali oluşturamamıştır. Canlı hücreler tarafından resazurinin resorufine dönüşmesiyle meydana gelen sinyaller, florometre kullanımı ile tespit edilmiş ve kaydedilmiştir. P-1 ve P-2 molekülleri MCF-7 hücre hattında sırasıyla %70 ve %66 ölüme neden olduğu P-3’ün ise %44 ölüme neden olduğu görülmüştür. Aynı zamanda HEK 293 sağlıklı hücre hattında bu ölüm oranının daha az olması (yaklaşık %30) bu moleküllerin antikanser ajan olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Yapılan çalışmalar, sentezlenen bu bileşiklerin etki mekanizmalarını açıklamaya yönelik yeterli düzeyde çalışma olmamasına rağmen, bu moleküllerin yapısal farklılığına bağlı olarak farklı derecelerde antikanser özelliklerinin olduğunu ortaya koymuştur [26]. İleri sürülen olası hipotezlerden biri, metalin protein ya da enzimlere bağlanma ilgisindeki değişikliğin, DNA ile etkileşim sürecini değiştirdiği ve böylece hücre proliferasyonunun ve DNA replikasyonunun etkilenmesine sebep olduğu şeklinde açıklanmıştır [3, 27].



Şekil 7. A) MCF-7 ve b) HEK 293 hücrelerinin sitotoksosite testi ile belirlenen yüzde canlılıkları

Antikanser özellikleri araştırılan Schiff bazı ligandlarının aynı zamanda antibakteriyel özellikleri de incelenmiştir. Yapılan antibakteriyel çalışmada, disk difüzyon analizi ile bir gece boyunca gram-negatif ve gram-pozitif bakterilerin bulunduğu besi yerlerinde P-1, P-2 ve P-3 (10  $\mu\text{M}$ ) ligandları emdirilen diskler kloramfenikol antibiyotiği ile karşılaştırılarak değerlendirilmiş ve oluşan zonlar

sırasıyla 18, 12 ve 6 mm (gram-negatif (*E. coli*)), 17, 10 ve 9mm (gram-pozitif (*B. subtilis*)) olarak ölçülmüştür. Kloramfenikol antibiyotiklerinin oluşturduğu zonlar ise 16 mm (*B. subtilis*) ve 20 mm (*E. coli*) olarak tespit edilmiştir. Gram-negatif ve gram-pozitif özellik gösteren *E. coli* ve *B. subtilis* bakteri hatlarımıza karşı P-1, P-2 ve P-3 ligandlarının zon çapları ve duyarlılıkları P-1> P-2>P-3 şeklinde değerlendirilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. *E. coli* ve *B. subtilis* suşlarının P-1, P-2 ve P-3 ligandlarını içeren disklerle karşı direnci

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Schiff bazları koordinasyon kimyası alanında yeni bir çığır açtı. Ligandların ve metal komplekslerinin basit sentetik yolları, olağanüstü termel stabilite ile birlikte, biyoloji ve tıpta çeşitli uygulamalarda önemli bir etkiye sahip olmuştur. Bazılarının çeşitli hastalıkları tedavi eden ilaçların hazırlanmasında kullanılan potansiyel farmasötik ajanlar olduğu bilinmektedir [28]. Bu nedenle bu çalışma, Schiff baz-metal komplekslerinin biyolojik aktivitesi hakkında, araştırmacılara bu bileşik sınıfını kullanarak yeni ilaçlar tasarlamada yardımcı olacak çok sayıda biyolojik aktivite içermektedir. Bu nedenle, Schiff bazları inkar edilemez bir şekilde en çok tercih edilen ligandlardır.

Sonuç olarak, daha önce yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak alüminyum ve civa iyonlarına seçimli floresans probu olarak üç farklı Schiff bazı bileşiği (P-1, P-2 ve P-3) modifiye edilerek tekrar başarıyla sentezlendi ve sentezlenen bileşiklerin yapısal karakterizasyonu spektrofotometrik yöntemler kullanılarak aydınlatılmıştır. Yapısı aydınlatılan bileşiklerin farklı metal katyonlara bağlanma yetenekleri absorpsiyon ve emisyon spektrumları ile incelenmiştir. Elde edilen spektrofotometrik çalışmalarda P-1 molekülü cıvaya karşı, P-2 molekülü ise alüminyuma karşı seçimli bir bağlanma göstermiştir. Yapılan bu çalışma ile gerek civa gerekse alüminyum iyonlarının seçimli olarak farklı mekanizma ile sentezi gerçekleştirilen P-1 ve/veya P-2 bileşikleri kullanılarak sıvı numunelerde tespit edilebileceği ve bu moleküllerin ise civa veya alüminyuma karşı etkili birer floresans prob olarak kullanılabilmesi görülmüştür.

Biyolojik uygulamalarda ise; P-1, P-2 ve P-3 moleküllerinin MCF-7 ve HEK 293 hücre hatları üzerindeki sitotoksitite testi sonuçlarına bakıldığında, moleküllerin MCF-7 kanser hücre hattı üzerinde daha çok ölüme neden olduğundan antikanser ajan olarak değerlendirilebilecekleri belirlenmiştir. Yine bu çalışma ile sağlıklı hücrelere karşı daha az hasara neden olduğundan dolayı biyolojik dokularda metal sensörü olarak kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Bir diğer biyolojik uygulamada ise, mikroorganizmalara (*E. coli* ve *B. subtilis*) uygulanan antibakteriyel test sonuçları, bu çalışmalarda pozitif kontrol olarak kullanılan kloramfenikol antibiyotiklerinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan antibakteriyel çalışmalardan P-1 molekülünü patojen özellik gösteren *B. subtilis*'e karşı açtığı zon çapının pozitif kontrol olan kloramfenikol antibiyotikinden elde edilen zon çapına benzer bir etki sergilediği Bayrakçı ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile karşılaştırıldığında benzerlik göstermiştir [29]. Diğer yapıların da belli miktarda zon çapı açtığı ama bunun pozitif kontrole göre daha az etkili olduğu görülmüştür. P-1, P-2 ve P-3 moleküllerin antibakteriyel aktiviteleri üzerinde iki temel etkili faktör, karakteristik özellikleri ve testin yapıldığı bakteri sınıfı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, sentezlenen moleküllerin bakterilere karşı bileşimi, büyüklüğü ve yüzeydeki fonksiyonel grupları bakteri zarına zarar verebilir veya serbest radikallere neden olarak bakteriyel ölüme yol açabilir.

Gram-pozitif ve gram-negatif olmak üzere iki bakteri türü vardır, gram-negatif bakteriler oldukça ince ve az-katmanlı hücre duvarlarına sahipken gram-pozitif bakteriler birçok katmana ve kalın bir hücre duvarına sahiptir. Bakteriyel hücrelerin nükleik asit açısından zengin olduğu, fosfat grupları olarak negatif yükler taşıdığı dikkat çekmektedir. Bu negatif yüklü moleküller, iki değerli katyonlar (yani Ca<sup>2+</sup> ve Mg<sup>2+</sup>) ile kovalent olmayan bir şekilde çapraz köprüler meydana getirir, sentezlenen moleküller yapılarında bulunan fonksiyonel gruplar sayesinde oluşturdukları komplikasyonlar ile ortamlardaki bakteri hücre duvarını stabilize etmeye yardımcı olur [30]. Sentezlenen bileşiklerin *Escherichia coli* ve *Bacillus subtilis* bakteri suşlarına karşı yapılan antibakteriyel çalışma hem *Bacillus* hem de *Escherichia*'da inhibisyon bölgelerinin oluştuğunu göstermektedir. Farmakolojik değerlendirildiğinde bu moleküller, hem gram-pozitif hem de gram-negatif bakterileri etkileyebildiğinden önemli ve değerlidir. P-1 ve P-2 moleküllerinin P-3 molekülünden daha fazla antibakteriyel etki göstermeleri, moleküler düzeyde incelenecek olursa bileşiklerin içerdikleri fonksiyonel yapıların hücre duvarını stabilize etmesi, direnç gösteren lipopolisakkaridlerin farklı lipid kompozisyonlarına ya da dış membranda bulunan proteinlerin bu guruplardan etkilenerek yer değiştirmesine bağlı olabilir.

Sentezi gerçekleştirilen Schiff bazı molekülleri (P-1 ve P-2) etkili bir antikanser ilaç olarak kullanılması düşünülürken, yapılarının özelliğinden dolayı metal tutucu olmaları vücuda verilen kimyasal ilaçlardan kaynaklanan toksik metalleri tespit edebileceğini göstermiştir. Metallerin varlığında floresans sensör olarak algılanabilen bu moleküller aynı zamanda antibakteriyel özellik taşımalarından dolayı tedavi esnasında bağışıklık zayıflığından yararlanmaya çalışan bakterilere karşı direnç sağlayabilecektir. Bütün bu özellikler göz önünde bulundurulduğunda sentezi yapılan Schiff bazlarının (P-1, P-2 ve P-3) hem antibakteriyel hem metal tutucu olmalarının yanında antikanser ajan olarak tasarlanmalarının başta ilaç sektörü olmak üzere birçok çalışmaya rehber olacağını göstermiştir. Ancak bu moleküllerin *in vivo* denemelerde nasıl sonuçlar vereceği, sağlıklı dokular üzerine nasıl etki yapacağını araştırılması oldukça önem taşımaktadır. Oluşan etki mekanizmalarına yönelik farklı deney protokollerinin tasarlanması ve araştırmaların yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

### Yazarların Katkısı

Makale, yazarların birlikte katkıları ile ortaya çıkarılmıştır.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- [1] Uddin N., Rashid F., Ali S., Tirmizi S. A., Ahmad I., Zaib S., Haider A. 2020. Synthesis, characterization, and anticancer activity of Schiff bases. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 38 (11): 3246-3259.
- [2] Wang Y., Ma Z.Y., Zhang D.L., Deng J.L., Chen X., Xie C.Z., Xu J.Y. 2018. Highly selective and sensitive turn-on fluorescent sensor for detection of Al<sup>3+</sup> based on quinoline-base Schiff base. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 195: 157-164.
- [3] Bayrakçı M., Yılmaz B. 2019. DNA ile bağlanabilen suda çözünür sülfonato kaliksaren sentezi ve antimikrobiyal aktivitesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8: 615-620.
- [4] Tahlan S., Narasimhan B., Lim S.M., Ramasamy K., Mani V., Shah S.A.A. 2019. 2-mercaptobenzimidazole Schiff bases: design, synthesis, antimicrobial studies and anticancer activity on HCT-116 cell line. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 19: 1080-1092.
- [5] Manceau A., Nagy K. L., Glatzel P., Bourdineaud J. P. 2021. Acute toxicity of divalent mercury to bacteria explained by the formation of dicysteinate and tetracysteinate complexes bound to



- proteins in *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis*. *Environmental Science & Technology*, 55(6): 3612-3623.
- [6] Wang T., Yue W. 2017. Carbon nanotubes heavy metal detection with stripping voltammetry: a review paper. *Electroanalysis*, 29: 2178-2189.
- [7] Vasanthi L.A., Revathi P., Rajendran R.B., Munuswamy N. 2017. Detection of metal induced cytopathological alterations and DNA damage in the gills and hepatopancreas of green mussel *Perna viridis* from Ennore Estuary, Chennai, India. *Marine Pollution Bulletin*, 117: 41-49.
- [8] Djurišić A.B., Leung Y.H., Ng A.M., Xu X.Y., Lee P.K., Degger N., Wu R.S.S. 2015. Toxicity of metal oxide nanoparticles: mechanisms, characterization, and avoiding experimental artefacts. *Small*, 11: 26-44.
- [9] Priyadarshini E., Pradhan N. 2017. Gold nanoparticles as efficient sensors in colorimetric detection of toxic metal ions: a review. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 238: 888-902.
- [10] Mahmoud W.H., Deghadi R.G., Mohamed G.G. 2016. Novel Schiff base ligand and its metal complexes with some transition elements. Synthesis, spectroscopic, thermal analysis, antimicrobial and in vitro anticancer activity. *Applied Organometallic Chemistry*, 30: 221-230.
- [11] Malik M.A., Dar O.A., Gull P., Wani M.Y., Hashmi A.A. 2018. Heterocyclic Schiff base transition metal complexes in antimicrobial and anticancer chemotherapy. *Med. Chem. Comm.*, 9: 409-436.
- [12] Choi Y.W., Park G.J., Na Y.J., Jo H.Y., Lee S.A., You G.R., Kim C. 2014. A single schiff base molecule for recognizing multiple metal ions: a fluorescence sensor for Zn (II) and Al (III) and colorimetric sensor for Fe (II) and Fe (III). *Sensors and Actuators B: Chemical*, 194: 343-352.
- [13] You G.R., Park G.J., Lee S.A., Ryu K.Y., Kim C. 2015. Chelate-type Schiff base acting as a colorimetric sensor for iron in aqueous solution. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 215: 188-195.
- [14] Amali I.B., Kesavan M.P., Vijayakumar V., Gandhi N.I., Rajesh J., Rajagopal G. 2019. Structural analysis, antimicrobial and cytotoxic studies on new metal (II) complexes containing N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> donor Schiff base ligand. *Journal of Molecular Structure*, 1183: 342-350.
- [15] Bayrakçı M., Yılmaz B. 2020. Synthesis and spectroscopic properties of optical probe based on Schiff base with biological application. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (3): 1767-1778.
- [16] Cicekbilek F., Yılmaz B., Bayrakci M., Gezici O. 2019. An application of a schiff-base type reaction in the synthesis of a new rhodamine-based hg (II)-sensing agent. *Journal of Fluorescence*, 29 (6): 1349-1358.
- [17] Ozcan F., Yılmaz B., Ertul S. 2017. Electrospun nanofibrous polyacrylonitrile/calix [4] arene mats: an excellent adsorbent for the removal of chromate ions from aqueous solutions. *Acta Chimica Slovenica*, 64 (3): 679-685.
- [18] Fathima S.S.A., Meeran M.M.S., Nagarajan E.R. 2019. Synthesis of novel (E)-2-((anthracen-9-ylmethylene) amino) pyridin-3-ol and its transition metal complexes: multispectral characterization, biological evaluation and computational studies. *Journal of Molecular Liquids*, 279: 177-189.
- [19] Markel J. F., Bou-Akl T., Dietz P., Afsari A. M. 2021. The effect of different irrigation solutions on the cytotoxicity and recovery potential of human osteoblast cells In vitro. *Arthroplasty Today*, 7: 120-125.
- [20] Yılmaz B., Bayrakci M. 2019. Highly sensitive chemosensor for Cu<sup>2+</sup> and Hg<sup>2+</sup> based on anthracene anchored calix [4] arene pyridine amide receptor. *Revue Roumaine De Chimie*, 64 (12): 1091-1096.
- [21] Uysal A., Durak Y. 2012. Pulsed-field gel electrophoresis typing, antibiotic resistance, and plasmid profiles of *Escherichia coli* strains isolated from foods. *Canadian journal of microbiology*, 58: 1278-1287.
- [22] Yılmaz B., Bayrakci M. 2018. Macrocyclic anthracene-anchored calix [4] arene as a sensitive and selective fluorescent chemosensor for ytterbium ions. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 55: 513-518.
- [23] Fekri R., Salehi M., Asadi A., Kubicki M. 2019. Synthesis, characterization, anticancer and antibacterial evaluation of Schiff base ligands derived from hydrazone and their transition metal complexes. *Inorganica Chimica Acta*, 484: 245-254.



- [24] Keskin S., Bayrakci M. 2019. A simple and highly sensitive turn-on Schiff base type naked-eye fluorescent sensor for aluminum ion in living cells. *Acta Chimica Slovenica*, 66: 792-801.
- [25] Yılmaz B., Bayraç A. T., Bayrakci M. 2020. Evaluation of anticancer activities of novel facile synthesized calix [n] arene sulfonamide analogs. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 190 (4): 1484-1497.
- [26] Kalarani R., Sankarganesh M., Kumar G.V., Kalanithi M. 2020. Synthesis, spectral, DFT calculation, sensor, antimicrobial and DNA binding studies of Co (II), Cu (II) and Zn (II) metal complexes with 2-amino benzimidazole Schiff base. *Journal of Molecular Structure*, 1206, 127725.
- [27] Yılmaz B., Keskinates M., Bayrakci M. 2021. Novel integrated sensing system of calixarene and rhodamine molecules for selective colorimetric and fluorometric detection of Hg<sup>2+</sup> ions in living cells. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 245: 118904.
- [28] Abd El-Halim H.F., Mohamed G.G., Anwar M.N. 2018. Antimicrobial and anticancer activities of Schiff base ligand and its transition metal mixed ligand complexes with heterocyclic base. *Applied Organometallic Chemistry*, 32: e3899.
- [29] Bayrakci M., Keskinates M., Yılmaz B. 2021. Antibacterial, thermal decomposition and in vitro time release studies of chloramphenicol from novel PLA and PVA nanofiber mats. *Materials Science and Engineering: C*, 122: 111895.
- [30] Minhaz A., Khan N., Jamila N., Javed F., Imran M., Shujah S., Shah M.R. 2020. Schiff base stabilized silver nanoparticles as potential sensor for Hg (II) detection, and anticancer and antibacterial agent. *Arabian Journal of Chemistry*, 13 (12): 8898-8908.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8$ Halkası Üzerinde Çift Aykırı Devirli Kodlar

Basri ÇALIŞKAN\*

*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü  
(ORCID: [0000-0003-0512-4208](https://orcid.org/0000-0003-0512-4208))*

---

### Öz

Bu çalışmada  $u^2 = 1$  olmak üzere  $S = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8$  halkası üzerindeki aykırı devirli ve çift aykırı devirli kodlar çalışılmıştır.  $\theta$ ,  $S$  üzerinde bir otomorfizm ve  $\delta_\theta$ ,  $S$  üzerinde bir türetim olmak üzere  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  aykırı polinom halkaları tanımlanmıştır.  $S$  üzerinde  $\delta_\theta$ -devirli kodlar tanımlanarak bu kod ailesinin bazı cebirsel özellikleri incelenmiştir. Ayrıca, aykırı devirli kodların bir genellemesi olan çift aykırı devirli kodlar çalışılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Devirli kod, Aykırı polinom halkası, Aykırı devirli kod, Gray dönüşümü.

---

## Double Skew Cyclic Codes over the Ring $\mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8$

---

### Abstract

In this work, skew cyclic and double skew cyclic codes over the ring  $S = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8$  where  $u^2 = 1$  are studied. The skew polynomial rings  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  are introduced, where  $\theta$  is an automorphism on  $S$  and  $\delta_\theta$  is a derivation on  $S$ . Defining  $\delta_\theta$ -cyclic codes on  $S$ , some algebraic properties of these families of codes are investigated. Also, double skew cyclic codes regarding as a generalization of skew cyclic codes are studied.

**Keywords:** Cyclic code, Skew polynomial ring, Skew cyclic code, Gray map.

---

### 1. Giriş

Sonlu halkalar üzerindeki kodlama teorisi, sonlu halkaların zengin cebirsel özelliklerinden dolayı 1970 li yıllardan bu yana birçok araştırmacının ilgisini çekmektedir.

Özellikle kodlama ve kod çözmedeki avantajlarından dolayı devirli kodlar, lineer kodların en önemli alt sınıfları olarak ele alınırlar. Sonlu cisimler üzerindeki devirli kodlar üzerine birçok araştırma yapılmasına rağmen, Hammons ve ark. [1]  $\mathbb{Z}_4$  halkası üzerinde tanımlı lineer kod ailelerinin özel bir dönüşüm altındaki görüntülerinden, lineer olmayan ikili (binary) kodlar elde etmişlerdir. Bu çalışma ile birlikte çeşitli halkalar üzerinde birçok yeni kod aileleri tanımlanmıştır [2-5]. Çift (double) devirli kodlar, devirli kodların bir genellemesidir. Literatürde bu kodlarla ilgili önemli çalışmalar bulunmaktadır. Örneğin, Borges ve ark. [6]  $\mathbb{Z}_2$ -çift devirli kodların cebirsel özelliklerini araştırmışlardır. Kısa bir zaman sonra Gao, Shi ve Wu [7]  $\mathbb{Z}_4$ -çift devirli kodlar ile ilgili bazı sonuçlar elde etmişlerdir.

Devirli kodların bir başka genellemesi ise, değişmeli olmayan halkalar üzerinde tanımlı aykırı devirli (skew cyclic) kodlardır. Boucher ve ark. [8] de,  $\mathbb{F}_q$ ,  $q$  elemanlı bir cisim ve  $\theta$ ,  $\mathbb{F}_q$  üzerinde bir otomorfizm olmak üzere  $\mathbb{F}_q[x, \theta]$  aykırı (skew) polinom halkalarını kullanmışlardır.  $\mathbb{F}_q[x, \theta]$  halkasının en önemli özelliği çarpanlara ayrılışın tek türlü olmamasıdır. Bu özellik sayesinde devirli kodlara kıyasla daha fazla sayıda üreteç polinomu ve böylece aynı uzunluğa ve boyuta sahip daha fazla sayıda kod elde etmek mümkündür. Dolayısıyla aykırı devirli kodlar optimal kod elde etmesi açısından daha

---

\*Sorumlu yazar: [bcalisikan@osmaniye.edu.tr](mailto:bcalisikan@osmaniye.edu.tr)  
Geliş Tarihi: 26.03.2021, Kabul Tarihi: 12.10.2021

avantajlıdır. Boucher ve Ulmer [9] da, aykırı devirli kodların dualeri üzerinde durmuşlar ve bir aykırı devirli kodun dualinin de aykırı devirli kod olduğunu göstermişlerdir.

Aykırı devirli kodlar farklı halkalar üzerinde de tanımlanmıştır. Özellikle Sharma ve Bhaintwal [10] da,  $u^2 = 1$  olmak üzere,  $\mathbb{Z}_4 + u\mathbb{Z}_4$  halkası üzerinde türetim ile aykırı devirli kodların bir sınıfını incelemişler ve çift tamsayı uzunluklu bir serbest aykırı devirli kodun üreteç ve kontrol matrislerini tanımlamışlardır. Ayrıca bu kod sınıfını çift kodlara genellemişlerdir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan motive olunarak, bu makalede  $u^2 = 1$  olmak üzere  $S = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8$  halkası dikkate alınmıştır.  $\theta$ ,  $S$  üzerinde bir otomorfizm ve  $\delta_\theta$  bir türetim olmak üzere  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  aykırı polinom halkaları üzerindeki  $\theta$ -devirli kodlar tanımlanmış, bu kodların bazı cebirsel özellikleri araştırılmış ve çift aykırı devirli kodlar çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. $S[x, \theta, \Delta_\theta]$ Aykırı Polinom Halkası

$u^2 = 1$  olmak üzere  $S = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8$  değişmeli ve karakteristiği 8 olan bir halkadır.  $S$  halkası  $\frac{\mathbb{Z}_8[u]}{\langle u^2-1 \rangle}$  bölüm halkasına izomorftur.  $S$  halkasının elemanları

$$S = \{a + ub \mid a, b \in \mathbb{Z}_8\}$$

$d = a + ub \in S$  şeklinde tek türlü yazılır.

$$\theta: S \rightarrow S, a, b \in \mathbb{Z}_8 \text{ olmak üzere,}$$

$$\theta(a + ub) = a + (u + 4)b$$

şeklinde tanımlansın. Açıkça görülebilir ki  $\theta$ ,  $S$  halkasının aşikar olmayan bir otomorfizmidir. Ayrıca, her  $d = a + ub \in S$  için

$$\begin{aligned} \theta^2(a + ub) &= \theta(\theta(a + ub)) = \theta(a + (u + 4)b) = \theta(a + 4b + ub) = a + 4b + (u + 4)b \\ &= a + 4b + 4b + ub = a + ub \end{aligned}$$

olduğundan,  $\theta^2(d) = d$  dir. Dolayısıyla,  $\theta$  nın mertebesi 2 dir.

**Tanım 2.1.1.**  $S$  sonlu bir halka ve  $\theta$ ,  $S$  nin bir otomorfizmi olsun. Bu durumda,  $\Delta_\theta: S \rightarrow S$  ye tanımlanan ve aşağıda verilen özellikleri sağlayan  $\Delta_\theta$  dönüşümüne  $S$  üzerinde bir türetim denir.

$$\Delta_\theta(x + y) = \Delta_\theta(x) + \Delta_\theta(y)$$

ve

$$\Delta_\theta(xy) = \Delta_\theta(x)y + \theta(x)\Delta_\theta(y).$$

**Teorem 2.1.2.**  $\delta_\theta: S \rightarrow S$  ye dönüşümü,  $\delta_\theta(a + ub) = (1 + u)[\theta(a + ub) - (a + ub)]$  olarak tanımlansın. Yani,

$$\begin{aligned} \delta_\theta(a + ub) &= (1 + u)[\theta(a + ub) - (a + ub)] = (1 + u)[a + 4b + ub - a - ub] = (1 + u)4b \\ &= 4b + 4ub \end{aligned}$$

olsun. Bu durumda,  $\delta_\theta$  dönüşümü  $S$  üzerinde bir türetimdir.

**İspat.** [10] Theorem 2.2 nin ispatının benzeridir.

Aşağıda,  $S$  halkasının elemanlarının  $\delta_\theta$  dönüşümü altındaki görüntüleri verilmiştir.

$$\delta_\theta(a + ub) = \begin{cases} 0, & b \text{ birim değil ise} \\ 4 + 4u, & b \text{ birim ise.} \end{cases}$$

**Sonuç 2.1.3.**  $2 \leq n \in \mathbb{Z}^+$  olmak üzere, her  $d \in S$  için  $\delta_\theta^n(d) = 0$  dir.

**İspat.**  $2 \leq n \in \mathbb{Z}^+$  ve  $d = a + ub \in S$  olsun. Bu durumda

$$\delta_\theta^2(a + ub) = \delta_\theta(\delta_\theta(a + ub)) = \delta_\theta(4b + 4ub) = 4(4b) + 4(4b)u = 0$$

olduğundan ispat tamamlanır.

## 2.2. Gray Dönüşümü

$\mathbb{Z}_4$  halkası üzerinde tanımlı Gray dönüşümü,  $\phi: \mathbb{Z}_4 \rightarrow \mathbb{Z}_2^2$  olmak üzere,  $\phi(0) = (00)$ ,  $\phi(1) = (01)$ ,  $\phi(2) = (11)$  ve  $\phi(3) = (10)$  biçiminde tanımlıdır [1].

Carlet [11] de, bu Gray dönüşümünü  $\mathbb{Z}_{2^s}$  üzerinde aşağıdaki gibi genelleştirmiştir.

$$\phi: \mathbb{Z}_{2^s} \rightarrow \mathbb{Z}_2^{2^{s-1}}$$

$$\phi(i) = \begin{cases} 0_{2^{s-1}-i}1_i, & 0 \leq i \leq 2^{s-1} \\ 1_{2^{s-1}} + \phi(i - 2^{s-1}), & i > 2^{s-1} \end{cases}$$

Burada,  $0_i$  bütün bileşenleri 0 olan  $i$  uzunluklu vektörü ve  $1_i$  de bütün bileşenleri 1 olan  $i$  uzunluklu vektörü göstermektedir. Bu Gray dönüşüm bir izometridir ve  $\mathbb{Z}_{2^s}$  üzerindeki Lee uzaklığını  $n = 2^{s-1}$  olmak üzere  $\mathbb{Z}_2^n$  üzerindeki Hamming uzaklıklarına dönüştürür.  $s = 3$  için  $\mathbb{Z}_8$  in elemanlarının görüntüleri aşağıdaki gibidir.

$$\phi: \mathbb{Z}_{2^3} \rightarrow \mathbb{Z}_2^4$$

$$\begin{aligned} \phi(0) &= (0000), & \phi(1) &= (0001), & \phi(2) &= (0011), & \phi(3) &= (0111), \\ \phi(4) &= (1111), & \phi(5) &= (1110), & \phi(6) &= (1100), & \phi(7) &= (1000). \end{aligned}$$

$\mathbb{Z}_8$  üzerindeki Lee ağırlığı,  $w_L: \mathbb{Z}_8 \rightarrow \mathbb{Z}_8$ ,  $w_L(x) = \min(x, 8 - x)$  biçiminde tanımlanır [12].

**Tanım 2.2.1.** Bir  $d \in S$  vektörü için Lee ağırlığı  $w_L(d)$ ,  $d$  nin koordinatlarının Lee ağırlıklarının toplamı olarak tanımlanır.  $\varphi: S \rightarrow \mathbb{Z}_8^2$  dönüşümü  $\varphi(a + ub) = (b, a + b)$  olmak üzere, herhangi bir  $v \in S$  için  $v$  nin Gray ağırlığı,  $w_G(v) = w_L(\varphi(v))$  olarak tanımlanır.

**Tanım 2.2.2.**  $S$ ,  $\theta$  otomorfizmi ve  $\Delta_\theta$  türetimiyle bir halka olsun.  $S$  üzerindeki tüm polinomların kümesi polinomların bilinen toplaması ve herhangi  $d \in S$  olmak üzere

$$xd = \theta(d)x + \Delta_\theta(d)$$

şeklinde tanımlanan çarpma işlemi ile  $S[x, \theta, \Delta_\theta]$  aykırı polinom halkası olarak adlandırılır. Tanımlanan bu çarpma işlemi  $S[x, \theta, \Delta_\theta]$  nın tüm elemanları için genişletilebilir.

**Örnek 2.2.3.**  $p_1 = x + d$  ve  $p_2 = d'$ ,  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  halkasında herhangi iki polinom olsun. Bu durumda

$$p_1 + p_2 = x + d + d' = d' + x + d = p_2 + p_1$$

ve

$$p_1 p_2 = (x + d)d' = xd' + dd' = \theta(d')x + \delta_\theta(d') + dd'$$

$$p_2 p_1 = d'(x + d) = d'x + d'd$$

çarpımlarından,  $x$  li terimlerin katsayıları sırasıyla  $\theta(d')$  ve  $d'$  olup,  $S$  de her zaman  $\theta(d') = d'$  olmak zorunda olmadığı için  $x$  li terimlerin katsayıları birbirinden farklıdır. Benzer durum sabit terimler içinde geçerlidir. Dolayısıyla  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  değişmeli olmayan bir halkadır.

**Tanım 2.2.4.**  $S^\theta = \{a' + ub' \mid a' \in \mathbb{Z}_8, b' \in \{0, 2, 4, 6\}\}$  olmak üzere, her  $e \in S^\theta$  için  $\theta(e) = e$  olacak şekildeki elemanların kümesi  $S^\theta$  ya  $S$  nin  $\theta$  tarafından sabit bırakılan bir alt halkası denir. Ayrıca, her  $e \in S^\theta$  için  $\delta_\theta(e) = 0$  olup,  $xe = ex$  dir.

**Tanım 2.2.5.**  $p(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$  olsun. Her  $d(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$  için  $p(x)d(x) = d(x)p(x)$  oluyorsa,  $p(x)$  polinomuna  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  nin bir merkez elemanı denir.

**Lemma 2.2.6.**  $d \in S$  olmak üzere, herhangi bir  $e \in S$  için  $d$  ve  $e$  nin her ikisi de  $\theta$  tarafından sabit bırakılmadıkça  $\theta(d) - d \neq \delta_\theta(e)$  dir.

**İspat.** [10] Lemma 2.5.'in ispatının benzeridir.  $d = a + ub \in S$  ve  $e$  nin sabit bırakılan bir değerleri için  $\theta(d) - d = \delta_\theta(e)$  olsun.  $\delta_\theta(e)$  nin mümkün olan değerleri sadece 0 ve  $4 + 4u$  olduğu bilinmektedir.  $\delta_\theta(e) = 0$  ise  $d$  ve  $e$  nin her ikisi de  $\theta$  tarafından sabit bırakıldığı görülür ve istenen elde edilmiş olur.  $\delta_\theta(e) = 4 + 4u$  olduğunu kabul edelim. Bu durumda,  $\theta(d) - d = a + (u + 4)b - a - ub = 4b$  ifadesinde  $u$  bulunmaz, o zaman bir çelişki elde ederiz. Dolayısıyla ispat tamamlanmış olur.

**Teorem 2.2.7.** Bir  $f(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$  polinomunun bir merkez elemanı olabilmesi için gerek ve yeter koşul  $f(x) \in S^\theta[x]$  olması ve  $x$  in tüm tek dereceli terimlerinin katsayılarının

$$\{\alpha + u\beta \mid \alpha, \beta \in \{0, 2, 4, 6\}\}$$

kümesine ait olmasıdır.

**İspat.** [10] Lemma 2.7.'nin ispatının benzeridir..

**Lemma 2.2.8.** Herhangi bir  $d \in S$  için  $\delta_\theta(\theta(d)) + \theta(\delta_\theta(d)) = 0$  dir. Ayrıca her  $d \in S$  için  $x^2 d = dx^2$  dir.

**İspat.**  $d = a + ub \in S$  olsun. O zaman  $\theta(a + ub) = a + (u + 4)b$  ve  $\delta_\theta(a + ub) = 4b + 4bu$  olduğundan,

$$\delta_\theta(\theta(d)) = \delta_\theta(\theta(a + ub)) = \delta_\theta(a + (u + 4)b) = \delta_\theta(a + 4b + ub) = 4b + 4bu$$

ve

$$\theta(\delta_\theta(d)) = \theta(\delta_\theta(a + ub)) = \theta(4b + 4bu) = 4b + (u + 4)4b = 4b + 16b + 4bu = 4b + 4bu$$

$$= -(4b + 4bu) = -\delta_\theta(\theta(d))$$

olduğundan,  $\delta_\theta(\theta(d)) + \theta(\delta_\theta(d)) = 0$  eşitliği gösterilmiş olur. Şimdi,  $xd = \theta(d)x + \delta_\theta(d)$  eşitliğini soldan  $x$  ile çarpalım,

$$x^2 d = x\theta(d)x + x\delta_\theta(d) = [\theta^2(d)x + \delta_\theta(\theta(d))]x + \theta(\delta_\theta(d))x + \delta_\theta^2(d)$$

$$= dx^2 + [\delta_\theta(\theta(d)) + \theta(\delta_\theta(d))]x + \delta_\theta^2(d) = dx^2$$

elde edilir. Bu lemmanın birinci kısmı ile her  $d \in S$  için  $\delta_\theta^2(d) = 0$  olduğu kullanılırsa ispat tamamlanmış olur.

**Sonuç 2.2.9.** Herhangi bir  $d \in S$  için,

$$x^n d = \begin{cases} (\theta(d)x + \delta_\theta(d))x^{n-1}, & n \text{ tek ise} \\ dx^n, & n \text{ çift ise} \end{cases}$$

dır.

$S[x, \theta, \delta_\theta]$  bir Euclidean halka olmadığından, hem sağ hem de sol bölme algoritması bu halkada sağlanmaz. Aşağıdaki teorem hem sağ hem de sol bölme algoritmasının  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  nin bazı elemanları için uygulanabileceğini göstermektedir.

**Teorem 2.2.10.** (Sağ Bölme Algoritması)  $f(x)$  ve  $g(x)$ ,  $g(x)$  in baş katsayısı birim olacak şekilde  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  halkasında herhangi iki polinom olsun. Bu durumda,

$$f(x) = q(x)g(x) + r(x)$$

$der(r(x)) < der(g(x))$  veya  $r(x) = 0$  olacak şekilde  $q(x), r(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$  vardır [10].

Yukarıdaki teoremden  $f(x)$  polinomu  $g(x)$  polinomu ile sağdan bölünmüştür. Aynı teorem soldan bölme için de geçerlidir. Dolayısıyla  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  halkası için bölme algoritması sağdan ve soldan sağlanır.

$f(x) = f_0 + f_1x + f_2x^2 + \dots + f_r x^r$  ve  $g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_s x^s$  polinomları,  $g_s$  birim ve  $r \geq s$  olacak şekilde  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  de iki polinom olsun.

$$A(x) = \begin{cases} f_r \theta(g_s^{-1})x^{r-s}, & r - s \text{ tek ise} \\ f_r g_s^{-1}x^{r-s}, & r - s \text{ çift ise} \end{cases}$$

şeklinde tanımlanan  $A(x)$  polinomu yardımıyla,  $f(x)$  polinomunun sağ böleni bulunabilir. Daha detaylı bilgi için [10] Theorem 2.8 e bakılabilir.

**Örnek 2.2.11.**  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  de  $f(x) = ux^2 + (4 + 4u)x + 6u$  ve  $g(x) = (5 + 4u)x + 7 + 3u$  polinomlarını alalım. [10] Theorem 2.8 de verilen sağ bölme algoritmasını kullanarak  $g(x)$  nin  $f(x)$  için bir sağ bölen olduğunu gösterelim. Bunun için önce  $A(x) = f_2 \theta(g_1^{-1})x^{2-1} = u\theta(5 + 4u)x = (4 + 5u)x$  bulunur. Sonra ise,

$$\begin{aligned} A(x)g(x) &= (4 + 5u)x[(5 + 4u)x + 7 + 3u] \\ &= (4 + 5u)[\theta(5 + 4u)x + \delta_\theta(5 + 4u)]x + (4 + 5u)[\theta(7 + 3u)x + \delta_\theta(7 + 3u)] \\ &= (4 + 5u)[(5 + 4u)x + 0]x + (4 + 5u)[(3 + 3u)x + 4 + 4u] = ux^2 + (3 + 3u)x + 4 + 4u \end{aligned}$$

hesaplanır. Şimdi ise,

$$h(x) = f(x) - A(x)g(x) = (1 + u)x + 4 + 2u$$

elde edilir.  $h(x)$  derecesi 1 olduğundan, aynı algoritma  $h(x)$  için uygulanırsa,  $h(x)$  in  $g(x)$  cinsinden değeri  $h(x) = (1 + u)g(x) + 2$  bulunur. O zaman son olarak,

$$f(x) = h(x) + A(x)g(x) = (1 + u)g(x) + 2 + (4 + 5u)xg(x) = [(4 + 5u)x + 1 + u]g(x) + 2$$

elde edilir. Dolayısıyla,  $q(x) = (4 + 5u)x + 1 + u$  ve  $r(x) = 2$  olmak üzere,  $f(x) = q(x)g(x) + r(x)$  şeklinde yazılabildiği görülür.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. S Halkası Üzerinde $\delta_\theta$ -Devirli Kodlar

Bu bölümde,  $S$  üzerinde  $\delta_\theta$ -devirli kodlar tanımlanarak, üreteç ve kontrol matrislerinin formları belirlenmiştir.

Bilindiği üzere  $S^n$  nin boş olmayan bir alt kümesine  $S$  üzerinde bir kod denir.  $C$ ,  $S$  üzerinde bir kod olmak üzere eğer  $C$ ,  $S^n$  nin bir  $S$ -alt modülü oluyorsa  $C$  ye  $S$  üzerinde bir lineer kod denir. Eğer  $S^n$  üzerindeki bir  $C$  kodu sonlu sayıda lineer bağımsız vektörler tarafından üretiliyorsa,  $C$  ye bir serbest kod denir.

$p(x)$ ,  $S$  üzerinde derecesi  $n$  olan herhangi bir polinom olmak üzere  $S_n = \frac{S[x,\theta,\delta_\theta]}{\langle p(x) \rangle}$  olsun. Bir  $c = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1}) \in C$  kodunun polinom gösterimi  $c = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$  şeklindedir. Ayrıca,  $S_n = \frac{S[x,\theta,\delta_\theta]}{\langle p(x) \rangle}$ ,  $r(x)(q(x) + \langle p(x) \rangle) = r(x)q(x) + \langle p(x) \rangle$  çarpma işlemi ile bir sol  $S[x, \theta, \delta_\theta]$ -modüldür.

**Tanım 3.1.1.**  $p(x)$ ,  $S$  üzerinde derecesi  $n$  olan herhangi bir polinom olsun.  $S_n = \frac{S[x,\theta,\delta_\theta]}{\langle p(x) \rangle}$  nin bir sol  $S[x, \theta, \delta_\theta]$ -modülü  $C$  ye  $S$  üzerinde  $n$  uzunluklu bir  $\delta_\theta$ -lineer kod denir. Eğer  $p(x)$  merkez polinomu ise  $C$  ye bir merkez  $\delta_\theta$ -lineer kod denir. Ayrıca,  $T_{\delta_\theta}$ ,  $\delta_\theta$ -devirsel ötelemesi olmak üzere, her  $c = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1}) \in C$  için  $T_{\delta_\theta}(c) = (\theta(c_{n-1}) + \delta_\theta(c_0), \theta(c_0) + \delta_\theta(c_1), \dots, \theta(c_{n-2}) + \delta_\theta(c_{n-1})) \in C$  oluyorsa,  $C$  ye  $S$  üzerinde  $\delta_\theta$ -devirli kod denir.

**Teorem 3.1.2.**  $S$  üzerinde  $n$  uzunluklu bir  $C$  kodunun  $\delta_\theta$ -devirli kod olabilmesi için gerek ve yeter koşul  $C$  nin,  $S_{n,\delta_\theta} = \frac{S[x,\theta,\delta_\theta]}{\langle x^n-1 \rangle}$  nin bir  $S[x, \theta, \delta_\theta]$ -alt modülü olmasıdır.

**İspat:** [10] Theorem 3.4 ün ispatının benzeridir.

**Sonuç 3.1.3.** Eğer  $C$ ,  $n$  çift tamsayı uzunluklu bir  $\delta_\theta$ -devirli kod ise,  $C$ ,  $S_{n,\delta_\theta} = \frac{S[x,\theta,\delta_\theta]}{\langle x^n-1 \rangle}$  nin bir idealidir.

**İspat:** [10] Corollary 2 nin ispatının benzeridir.

**Teorem 3.1.4.**  $C$ ,  $S$  üzerinde  $n$  uzunluklu bir  $\delta_\theta$ -devirli kod olsun. Eğer  $C$  kodu, minimum dereceli ve baş katsayısı birim olan bir  $g(x)$  polinomunu içeriyorsa,  $C = \langle g(x) \rangle$  dir. Ayrıca  $g(x)|(x^n - 1)$  ve  $\{g(x), xg(x), \dots, x^{n-\text{der}(g(x))-1}g(x)\}$  kümesi  $C$  nin bir bazını oluşturur.

**İspat.** [10] Theorem 3.6 nin ispatının benzeridir.

$C = \langle g(x) \rangle$ ,  $x^n - 1$  in bir sağ bölüni  $g(x) = g_0 + g_1x + g_2x^2 + \dots + g_kx^k$  tarafından üretilen ve uzunluğu  $n$  olan  $S$  üzerinde bir  $\delta_\theta$ -devirli kod ise,  $C$  nin  $(n - k) \times n$  tipindeki üreteç matrisi

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ xg(x) \\ x^2g(x) \\ \vdots \\ x^{n-k-1}g(x) \end{bmatrix}_{(n-k) \times n}$$

formundadır. Daha açık bir şekilde eğer  $n - k$  çift ise üreteç matrisi

$$G = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & \dots & g_k & 0 & \dots & 0 \\ \delta_\theta(g_0) & \theta(g_0) + \delta_\theta(g_1) & \theta(g_1) + \delta_\theta(g_2) & \dots & \theta(g_{k-1}) + \delta_\theta(g_k) & \theta(g_k) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & \dots & g_{k-3} & g_{k-2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \delta_\theta(g_0) & \theta(g_0) + \delta_\theta(g_1) & \dots & \theta(g_{k-1}) + \delta_\theta(g_k) & \theta(g_k) \end{bmatrix}$$

şeklindedir.  $n - k$  tek ise üreteç matrisi



$$G = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & \dots & g_k & 0 & \dots & 0 \\ \delta_\theta(g_0) & \theta(g_0) + \delta_\theta(g_1) & \theta(g_1) + \delta_\theta(g_2) & \dots & \theta(g_{k-1}) + \delta_\theta(g_k) & \theta(g_k) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & g_0 & \dots & g_{k-3} & g_{k-2} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots & \ddots & \ddots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 & g_0 \dots & g_{k-1} & g_{k-2} & \theta(g_k) \end{bmatrix}$$

şeklindedir.

**Örnek 3.1.5.**  $C$ ,  $x^4 - 1$  ün sağ böleni  $g(x) = (3 + 4u)x^2 + 5u$  polinomu tarafından üretilen, 4 uzunluklu bir  $\delta_\theta$ -devirli kod olsun. Bu durumda  $\{g(x), xg(x)\} = \{(3 + 4u)x^2 + 5u, (3 + 4u)x^3 + (4 + 5u)x + 4 + 4u\}$  kümesi  $C$  kodu için bir baz oluşturur.  $C$  nin kardinalitesi  $|C| = 64^2$  olup,  $C$  nin üreteç matrisi aşağıdaki gibidir,

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ xg(x) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} g_0 & g_1 & g_2 & 0 \\ \delta_\theta(g_0) & \theta(g_0) + \delta_\theta(g_1) & \theta(g_1) + \delta_\theta(g_2) & \theta(g_2) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 5u & 0 & 3 + 4u & 0 \\ 4 + 4u & 4 + 5u & 0 & 3 + 4u \end{bmatrix}.$$

**Tanım 3.1.6.**  $C$ ,  $S$  üzerinde  $n$  uzunluklu bir  $\delta_\theta$ -devirli kod olsun.  $w = (w_0, w_1, \dots, w_{n-1}), v = (v_0, v, \dots, v_{n-1}) \in S^n$  ve  $w.v$  bilinen iç çarpım olmak üzere  $C$  nin duali,

$$C^\perp = \{w \mid \text{her } v \in C \text{ için } w.v = 0\}$$

olarak tanımlanır.

**Teorem 3.1.7.**  $k$  bir tek tamsayı olmak üzere,  $x^n - 1 = h(x)g(x)$  olacak şekilde en az bir  $h(x) = h_0 + h_1x + h_2x^2 + \dots + h_kx^k \in S[x, \theta, \delta_\theta]$  olsun.  $C$  de  $g(x)$  tarafından üretilen,  $S$  üzerinde uzunluğu  $n$  çift tamsayı olan bir  $\delta_\theta$ -devirli kod olsun. Bu durumda  $C$  nin kontrol matrisi

$$H = \begin{bmatrix} h_k & \theta(h_{k-1}) + \delta_\theta(h_k) & h_{k-2} & \dots & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \theta(h_k) & h_{k-1} & \dots & h_0 & \delta_\theta(h_0) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & h_k & h_{k-2} & \theta(h_{k-3}) + \delta_\theta(h_{k-2}) & \dots & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & h_k & \theta(h_{k-1}) + \delta_\theta(h_k) & \dots & h_1 & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) \end{bmatrix}$$

formundadır.  $k$  bir çift tamsayı olduğunda  $H$  matrisi

$$\begin{bmatrix} h_k & \theta(h_{k-1}) + \delta_\theta(h_k) & h_{k-2} & \dots & h_0 & \delta_\theta(h_0) & \dots & 0 \\ 0 & \theta(h_k) & h_{k-1} & \dots & h_1 & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) & \dots & 0 \\ 0 & 0 & h_k & \dots & h_2 & \theta(h_1) + \delta_\theta(h_2) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \theta(h_k) & h_{k-1} & \dots & h_1 & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) \end{bmatrix}.$$

şeklindedir.

**İspat.** [10] Theorem 4.5 in ispatının benzeridir.

**Örnek 4:**  $x^4 - 1 = ((3 + 4u)x^2 + 3u)((3 + 4u)x^2 + 5u)$  olmak üzere,  $C$ ,  $g(x) = (3 + 4u)x^2 + 5u$  polinomu tarafından üretilen 4 uzunluklu bir  $\delta_\theta$ -devirli kod olsun.  $h(x) = (3 + 4u)x^2 + 3u$  olmak üzere Teorem 3.1.7 den  $C$  nin kontrol matrisi

$$H = \begin{bmatrix} h_2 & \theta(h_1) + \delta_\theta(h_2) & h_0 & \delta_\theta(h_0) \\ 0 & \theta(h_2) & h_1 & \theta(h_0) + \delta_\theta(h_1) \end{bmatrix}$$

$$H = \begin{bmatrix} 3 + 4u & 0 & 3u & 4 + 4u \\ 0 & 3 + 4u & 0 & 4 + 3u \end{bmatrix}$$

olarak elde edilir. Ayrıca, Örnek 3.1.5.'de bulunan  $G$  üreteç matrisi dikkate alınır,  $GH^T = 0$  olduğu elde edilir.  $H$  nin satırları lineer bağımsız olduğundan,  $H, C$  nin kontrol matrisidir.

### 3.2. Çift Aykırı Devirli Kodlar

Bir  $C$  kodunun koordinatları iki alt kümeye ayrılabilir,  $C$  ye bir çift  $\theta$ -lineer kod denir.  $s$  ve  $t, n = s + t$  olacak şekilde negatif olmayan iki tamsayı olsun.  $n$  uzunluklu koordinatın sırasıyla  $s$  ve  $t$  parçalanışını dikkate alalım. Herhangi bir  $d \in S$  ve  $w = (e_0, e_1, \dots, e_{s-1}, f_0, f_1, \dots, f_{t-1}) \in S^{s+t}$  için

$$dw = (de_0, de_1, \dots, de_{s-1}, df_0, df_1, \dots, df_{t-1}) \in S^{s+t}$$

şeklinde tanımlanan işlem ile birlikte  $S^{s+t}$  bir  $S$ -modüldür.

**Tanım 3.2.1.** Herhangi bir  $w = (e_0, e_1, \dots, e_{s-1}, f_0, f_1, \dots, f_{t-1}) \in S^{s+t}$  için,  $w$  nun  $\delta_\theta(s, t)(w)$  devirli ötelemesi  $\delta_\theta^{st}T(w)$  şeklinde gösterilir ve

$$\delta_\theta^{st}T(w) = (\theta(e_{s-1}) + \delta_\theta(e_0), \theta(e_0) + \delta_\theta(e_1), \theta(e_1) + \delta_\theta(e_2), \dots, \theta(e_{s-2}) + \delta_\theta(e_{s-1}),$$

$$\theta(f_{t-1}) + \delta_\theta(f_0), \theta(f_0) + \delta_\theta(f_1), \theta(f_1) + \delta_\theta(f_2) \dots, \theta(f_{t-2}) + \delta_\theta(f_{t-1}))$$

olarak tanımlanır.

$S^{s+t}$  nin bir  $S$ - alt modülüne bir çift  $\delta_\theta$ -lineer kod denir.

**Tanım 3.2.2.**  $C$ , bir çift  $\delta_\theta$ -lineer kod olsun. Eğer  $C, \delta_\theta(s, t)$  devirli ötelemesi  $\delta_\theta^{st}T$  altında invariant kalıyorsa  $C$  ye bir  $\delta_\theta$ -devirli kod denir.

$w = (e_0, e_1, \dots, e_{s-1}, f_0, f_1, \dots, f_{t-1}) \in C$  olsun. Bu durumda  $e(x) = e_0 + e_1x + \dots + e_{s-1}x^{s-1} \in \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^s - 1 \rangle}$  ve  $f(x) = f_0 + f_1x + \dots + f_{t-1}x^{t-1} \in \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^t - 1 \rangle}$  olmak üzere

$$w(x) = (e(x)|f(x))$$

şeklinde yazılabilir. Bu  $S^{s+t}$  ile  $S_{s+t} = \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^s - 1 \rangle} \times \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^t - 1 \rangle}$  arasında birebir bir eşleme verir.  $d(x)e(x)$  ve  $d(x)f(x)$  işlemleri sırasıyla  $\frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^s - 1 \rangle}$  ve  $\frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^t - 1 \rangle}$  üzerinde tanımlı polinom çarpımları olmak üzere,  $d(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$  ile  $(e(x)|f(x)) \in \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^s - 1 \rangle} \times \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^t - 1 \rangle}$  arasındaki çarpma işlemi

$$d(x)(e(x)|f(x)) = (d(x)e(x)|d(x)f(x))$$

olarak tanımlanır. Bu işlem ile  $S_{s+t}$  bir sol  $S[x, \theta, \delta_\theta]$ -modüldür. Açıkça görülebilir ki  $xw(x), w$  nun  $\delta_\theta(s, t)$  devirli ötelemesidir.

**Teorem 3.2.3.**  $C, S$  üzerinde  $n = s + t$  uzunluklu bir  $\delta_\theta$ -lineer kod olsun.  $C$  nin bir çift  $\delta_\theta$ -devirli kod olabilmesi için gerek ve yeter koşul,  $C$  nin  $\frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^s - 1 \rangle} \times \frac{S[x, \theta, \delta_\theta]}{\langle x^t - 1 \rangle}$  sol modülünün bir sol  $S[x, \theta, \delta_\theta]$ -alt modülü olmasıdır.

**İspat.**  $C$  nin bir çift  $\delta_\theta$ -devirli kod olduğunu kabul edelim.  $w(x)$ ,  $w \in C$  nin polinom gösterimi olsun.  $xw(x)$ ,  $w$  nun  $\delta_\theta(s, t)$  devirli ötelemesi olduğundan  $xw(x) \in C$  dir.  $C$  bir lineer kod olduğundan herhangi bir  $d(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$  için  $d(x)w(x) \in C$  dir. Dolayısıyla  $C$ ,  $S_{s+t}$  nin bir  $S[x, \theta, \delta_\theta]$ -alt modülüdür. İspatın diğer yönü açıktır.

**Teorem 3.2.4.**  $g_1(x)$  ve  $g_2(x)$  polinomları sırasıyla  $g_1(x)|x^m - 1$  ve  $g_2(x)|x^n - 1$  olacak şekilde monik polinomlar olsunlar.  $M$  ve  $N$ ,  $S$  üzerinde  $g_1(x)$  ve  $g_2(x)$  polinomları tarafından üretilen  $m$  ve  $n$  uzunluklu iki serbest devirli kod olsunlar. Bu durumda  $h(x)$ ,  $h_1(x)$  ve  $h_2(x)$  polinomlarının en küçük sol ortak katı ve  $k = \text{der}(h(x))$  olmak üzere  $g(x) = (g_1(x)|g_2(x))$  tarafından üretilen  $C$  kodu bir çift  $\delta_\theta$ -devirli koddur ve  $B = \{g(x), xg(x), \dots, x^{n-k-1}g(x)\}$  kümesi  $C$  nin bir geren kümesidir.

**İspat.**  $h_1(x)$  ve  $h_2(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$  polinomlarının  $x^m - 1 = h_1(x)g_1(x)$  ve  $x^n - 1 = h_2(x)g_2(x)$  olacak şekildeki monik polinomlar olduğunu kabul edelim. Bu durumda  $h(x)g_1(x) = h_3(x)h_1(x)g_1(x) = 0$  ve  $h(x)g_2(x) = h_4(x)h_2(x)g_2(x) = 0$  olduğundan  $h(x)(g_1(x)|g_2(x)) = (h(x)g_1(x)|h(x)g_2(x)) = 0$  dir.  $z(x) \in C$  sıfırdan farklı herhangi bir kodsöz olsun. Bu durumda en az bir  $k(x) \in S[x, \theta, \delta_\theta]$  için  $z(x) = k(x)g(x)$  dir. Bölme algoritmasından,  $\text{der}(r(x)) = 0$  veya  $\text{der}(r(x)) < \text{der}(h(x))$  olacak şekilde  $k(x) = q(x)h(x) + r(x)$  eşitliğine sahip oluruz. O zaman  $z(x) = k(x)g(x) = r(x)g(x) = 0$  dir.  $\text{der}(r(x)) = 0$  veya  $\text{der}(r(x)) < \text{der}(h(x))$  olduğundan, bu bize  $C$  kodunun  $g(x)$  tarafından üretilen bir çift  $\delta_\theta$ -devirli kod olduğunu ispatlar.

**Örnek 3.2.5.**  $g_1(x) = (3 + 4u)x^2 + 3u$  ve  $g_2(x) = x + 5 + 4u$  polinomları sırasıyla  $g_1(x)|x^4 - 1$  ve  $g_2(x)|x^2 - 1$  olacak şekilde polinomlar ve  $C$ ,  $S$  üzerinde  $(g_1(x)|g_2(x))$  tarafından üretilen  $n = 6 (= 4 + 2)$  uzunluklu bir çift  $\delta_\theta$ -devirli kod olsun.  $h(x)$ ,  $h_1(x) = (3 + 4u)x^2 + 5u$  ve  $h_2(x) = x + 3 + 4u$  polinomlarının en küçük sol ortak katı olsun. Teorem 2.2.10'da verilen sağ bölme algoritması yardımıyla,  $h_1(x) = (3 + 4u)xh_2(x) + 7 + 5u$  olduğu elde edilir. Bu durumda,  $h_1$  ile  $h_2$  nin aralarında asal oldukları görülür. Dolayısıyla  $\text{der}(h(x)) = 3$  olup,  $\{g(x), xg(x), x^2g(x)\}$  kümesi  $C$  nin bir geren kümesidir.  $C$  nin üreteç matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$G = \begin{bmatrix} g(x) \\ xg(x) \\ x^2g(x) \end{bmatrix} = \left[ \begin{array}{cccc|cc} g_{1_0} & g_{1_1} & g_{1_2} & 0 & g_{2_0} & g_{2_1} \\ \delta_\theta(g_{1_0}) & \theta(g_{1_0}) + \delta_\theta(g_{1_1}) & \theta(g_{1_1}) + \delta_\theta(g_{1_2}) & \theta(g_{1_2}) & \theta(g_{2_0}) + \delta_\theta(g_{2_0}) & \theta(g_{2_0}) + \delta_\theta(g_{2_1}) \\ g_{1_2} & 0 & g_{1_0} & g_{1_1} & g_{2_0} & g_{2_1} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{cccc|cc} 3u & 0 & 3 + 4u & 0 & 5 + 4u & 1 \\ 4 + 4u & 4 + 3u & 0 & 3 + 4u & 1 & 5 + 4u \\ 3 + 4u & 0 & 3u & 0 & 5 + 4u & 1 \end{array} \right].$$

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada,  $u^2 = 1$  olmak üzere  $S = \mathbb{Z}_8 + u\mathbb{Z}_8$  halkası dikkate alınmıştır.  $\theta$ ,  $S$  üzerinde bir otomorfizm ve  $\delta_\theta$  bir türetim olmak üzere  $S[x, \theta, \delta_\theta]$  aykırı polinom halkaları üzerindeki devirli kodların bazı cebirsel özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca bu kodlar çift devirli kodlara genellenmiştir. Elde edilen sonuçlar yardımıyla, gelecekte kodlama teorisinde önemli bir araştırma problemi olan optimal kod bulma ile ilgili yeni araştırmalar yapılabilir.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**Kaynaklar**

- [1] Hammons A.R., Kumar P.V., Calderbank A.R., Sloane N.J.A., Solé P. 1994. The linearity of Kerdock, Preparata, Goethals, and Related Codes. *IEEE Transactions on Information Theory*, 40: 301-319.
- [2] Cengellenmis Y. 2010. On the cyclic codes over  $F_3 + vF_3$ . *International Journal of Algebra*, 4 (6): 253-259.
- [3] Dertli A., Cengellenmis Y. 2019. On the codes over the ring  $Z_4 + uZ_4 + vZ_4$  cyclic, constacyclic, quasi-cyclic codes, their skew codes, cyclic DNA and skew cyclic DNA codes. *Prespacetime Journal*, 10 (2): 196-213.
- [4] Çalışkan B. 2020. Cyclic codes over the ring  $Z_8 + uZ_8 + vZ_8$ . *International Conference on Mathematics and its Applications in Science and Engineering (ICMASE 2020)*, 9-10 July, Ankara, 7-12.
- [5] Çalışkan B. 2020. Linear Codes over the Ring  $Z_8 + uZ_8 + vZ_8$ . *Conference Proceeding of 3rd International E-Conference on Mathematical Advances and Applications (ICOMAA 2020)*, 24-27 June, İstanbul, 19-23.
- [6] Borges J., Fernández-Córdoba C., Ten-Valls R. 2018.  $Z_2$ -double cyclic codes. *Desings, Codes and Cryptography*, 86: 463-479.
- [7] Gao J., Shi M.J., Wu T.T. On double cyclic codes over  $Z_4$ . *Finite Fields and Their Applications*, 39: 233-250.
- [8] Boucher D., Geiselmann W., Ulmer F. 2007. Skew cyclic codes. *Applicable Algebra in Engineering, Communication and Computing*, 18(4): 379-389.
- [9] Boucher D., Ulmer F. 2009. Coding with skew polynomial rings. *Journal of Symbolic Computation*, 44: 1644-1656.
- [10] Sharma A., Bhaintwal M. 2017. A class of skew-constacyclic codes over  $Z_4 + uZ_4$  with derivation. *International Journal of Information and Coding Theory*, 4 (4): 289-303.
- [11] Carlet C. 1998.  $Z_{2^k}$  linear codes. *IEEE Transactions on Information Theory*, 44: 1543-1547.
- [12] Dougherty S.T., Fernández-Córdoba C. 2011. Codes over  $Z_{2^k}$ , gray map and self-dual codes. *Advances in Mathematics Communications*, 5: 571-588.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Alev Püskürtme Piroлиз Yöntemi Kullanarak IGZO Nanopartiküllerinin Sentezi ve Karakterizasyonu**

Serdar YILDIRIM<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>*Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye*

<sup>2</sup>*Nanobilim ve Nanomühendislik A.B.D., Fen Bilimleri Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye  
(ORCID: [0000-0002-3730-3473](https://orcid.org/0000-0002-3730-3473))*

---

### **Öz**

Yüksek elektron mobilitesi, düşük eşik gerilimi ve kaplama sonrası şeffaf özellik gösteren İndiyum Galyum Çinko Oksit (InGaZnO<sub>4</sub>, IGZO) malzemesi ekran teknolojilerinde artan bir ivmeyle kullanılmaktadır. Bu çalışmada, IGZO nanopartikülleri alev püskürtme piroliz yöntemi kullanılarak tek aşamada başarıyla sentezlendi. Üretilen nanopartiküllerin faz ve element analizleri, sırasıyla X-ışını kırınımı (XRD) ve X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ölçümleriyle yapıldı. Isıl işlem öncesi XRD analizinde amorf yapı gözlemlenirken, 1200 °C de yapılan kalsinasyon sonucu rombohedral kristalin InGaZnO<sub>4</sub> yapısı tespit edildi. Elementel analiz sonucunda yapı içerisinde In, Ga, Zn ve O elementlerinin varlığı kanıtlandı. Yüzey morfolojisi ve partikül büyüklüğü taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak tespit edilirken, nanopartiküllerin parçacık boyutlarının <100 nm den küçük ve yarı küresel olduğu bulundu. UV uyarma altında nanopartiküllerin fotoluminesans ve optik bozulma zamanı karakterizasyonları incelenmiş ve 380 nm uyarma altında IGZO nanopartikülleri, 510 nm ve 570 nm civarında emisyon sergilemiştir. Bu uyarma ve emisyon altında yapılan optik bozulma süresi iki üstelli ve 32,36 µs olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** IGZO, Alev püskürtme, Nanopartikül, Fotoluminesans.

---

## **Synthesis and Characterization of IGZO Nanoparticles Using Flame Spray Pyrolysis Method**

### **Abstract**

The Indium Gallium Zinc Oxide (InGaZnO<sub>4</sub>, IGZO) material, which shows high electron mobility, low threshold voltage and transparent after coating, has been used with increasing acceleration in screen technologies. The flame spray pyrolysis technique was used to successfully synthesize IGZO nanoparticles in one step in this study. X-ray diffraction (XRD) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS) measurements were used to determine the phase and elemental composition of the nanoparticles, respectively. While the amorphous structure was observed in the XRD analysis prior to the heat treatment, the InGaZnO<sub>4</sub> structure of the rhombohedral crystal was determined through calcination at 1200 °C. As a result of elemental analysis, the presence of In, Ga, Zn and O elements in the structure was proven. The scanning electron microscopy (SEM) was used to determine the surface morphology and particle size of nanoparticles, which were found to be less than 100 nm in size and hemispherical. The photoluminescence and optical decay time characterizations of nanoparticles were studied under UV excitation and IGZO nanoparticles exhibited emission around 510 nm and 570 nm at 380 nm excitation. Under these conditions of excitation and emission, the optical decay time was computed as bi-exponentials and 32.36 µs.

**Keywords:** IGZO, Flame spray, Nanoparticle, Photoluminescence.

---

---

\*Sorumlu yazar: [serdar.yildirim@deu.edu.tr](mailto:serdar.yildirim@deu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 02.04.2021, Kabul Tarihi: 13.09.2021

## 1. Giriş

İnce film transistörlerde (İFT'ler), örneğin çinko oksit (ZnO) [1], galyum oksit [2], kalay oksit [3], indiyum oksit [4], indiyum çinko oksit (IZO) [5], çinko kalay oksit (ZTO) [6] ve indiyum galyum çinko oksit (IGZO) [7, 8] gibi kanal tabakası olarak kullanılan metal oksit esaslı malzemeler, esnek elektronik cihazlar, optoelektronik ve mobil ekranlar gibi uygulamalar için geniş alanda çalışılmaktadır. Özellikle, IGZO, şeffaf TFT uygulamaları için çok umut verici bir malzeme olup büyük bant aralığı ve geniş taşıyıcı konsantrasyonları kontrol edebilirlik sağlar. Ek olarak, IGZO üniform bir amorf faz olarak biriktirebilir ve yine de yüksek elektriksel mobilite sergiler [10]. Bunun nedeni, IGZO' nun sadece kristal fazda değil, amorf fazda da yüksek performans göstermesidir. Amorf fazdaki yüksek performans, geçiş sonrası metal katyonların küresel s-orbitallerindeki minimum bir iletken bant oluşumundan kaynaklanmaktadır. Bu küresel s-orbitalleri, maksimum değerlik bandını oluşturan oksijen 2p-orbitallerinden önemli ölçüde daha büyüktür. Metal-oksijen-metal bağlarında bir bozulma meydana gelse bile, komşu metalik s-orbitaller arasındaki büyük doğrudan örtüşme taşıyıcı taşınmasını sağlar [11].

Özellikle, amorf IGZO (a-IGZO) TFT'ler, düşük sıcaklıklarda ve hatta oda sıcaklığında (RT) yüksek hareketlilik ve akım açma-kapama oranı ( $I_{on}/I_{off}$ ) nedeniyle a-Si TFT'lere veya organik TFT'lere göre daha çekici bir malzemedir. Bununla birlikte, a-IGZO filmlerin çoğu, darbeli lazer biriktirme, radyo frekansı magnetron püskürtme ve atomik tabaka biriktirme gibi vakum işlemleriyle üretilir [12–18]. Bu cihazlarda üretim yapılabilmesi için de kaplama yapılacak hedef malzemeye ihtiyaç duyulur. Bu hedef malzemeler de çeşitli nanopartikül üretim yöntemleriyle üretilerek şekillendirilip özel olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı da üretimi son derece zor ve karmaşık olan bu malzemenin farklı üretim tekniği kullanılarak nanopartikül olarak üretimini gerçekleştirip karakterize etmektir. IGZO gibi saf karışık metal oksit tozlarının sentezi oldukça zordur. Nanopartiküllerin sentezi için sol-gel [19], hidrotermal [20], modifiye yanma [21], katı hal seramik yöntemi, yanma tekniği, ıslak kimyasal sentez yöntemi ve tek aşamalı alev püskürtme piroliz (FSP) tekniği gibi uygulanan birçok farklı teknik vardır. Nanoparçacıkların sentezlenmesi için, FSP, sentez zamanını ve artan reaksiyon oranını düşürmesi nedeniyle en çok tercih edilen tekniklerden biridir. Tekniğin işlem üzerinde kontrol basitliği ve tekrar üretilebilirliği, başlangıç malzemesinin yüksek hızlı püskürtme jeti kullanarak alevin içine püskürtülmesinin kolaylığı, hazırlanan başlangıç malzemesinin doğrudan yakıtta dağılım potansiyeli ve daha hızlı aerosol oluşumu gibi birçok avantajı vardır. Bu nedenle, FSP, nano ölçekli metal oksitlerin ve karmaşık metal oksitlerin üretiminde birçok kez uygulanmıştır.

Bu çalışmada, daha önce yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde ilk kez IGZO nanopartikülleri FSP yöntemi kullanılarak sentezlenmiştir. Ayrıca partiküllerin yapısal, kimyasal ve optik özellikleri karakterize edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

IGZO nanopartiküllerinin alev sprey piroliz yöntemi ile üretiminde ön başlatıcı olarak İndiyum nitrat hidrat ( $In(NO_3)_3 \cdot xH_2O$ ), Galyum nitrat hidrat ( $Ga(NO_3)_3 \cdot xH_2O$ ) ve Çinko nitrat tetrahidrat ( $Zn(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ); çözücü olarak 2-Metoksietanol ( $C_3H_8O_2$ ) kullanılmıştır. Ön başlatıcılar Sigma-Aldrich'ten tedarik edilmiştir. Yüksek saflıkta kullanılan ürünler için ayrıca saflaştırma işlemi gerçekleştirilmemiştir.

### 2.1. Solüsyonların Hazırlanması

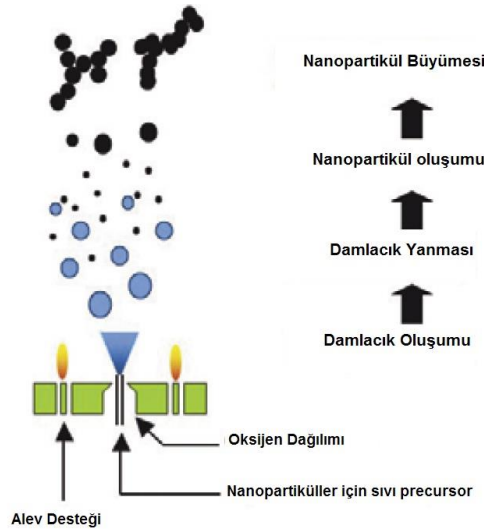
Başlangıç malzemesi olarak kullanılan Galyum Nitrat Hidrat, İndiyum Nitrat Hidrat ve Çinko Nitrat Tetrahidrat farklı beherlerde 2-Metoksietanol içerisine eklenmiş ve karışım 0,2 M olacak şekilde çözülmeye bırakılmıştır. Çözeltiler manyetik karıştırıcı ile homojen karışım sağlamak amacıyla karıştırılmıştır. Homojen karışım sağlandıktan sonra 3 çözelti bir beherde birleştirilmiş ve şeffaf bir çözelti elde edilmesi için 80 °C de 60 dakika karıştırılmıştır. Çözeltinin tam çözünüp çözünmediğini belirlemek için türbidimetre ile bulanıklığına bakılmıştır. Çözeltinin ortalama türbiditesi 1,25 ntu olarak bulunmuştur. Bu değer solüsyonun homojen bir şekilde çözüldüğünü göstermektedir. Çözeltiler, Tablo 1 e göre hazırlanmıştır.

**Tablo 1.** IGZO üretimi için kullanılan malzemeler ve miktarları

	Malzeme	Miktar	Mol
Ön başlatıcılar	In (NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .xH <sub>2</sub> O	7,522 g	0,02 mol
	Ga (NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> .xH <sub>2</sub> O	6,3943 g	0,02 mol
	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1,307 g	0,02 mol
Çözücü	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	100 ml	

## 2.2. Nanopartiküllerin Sentezi

Alev spreyi ile sentezlenen nanopartiküllerin üretimi önceki çalışmalara göre yapılmıştır [22, 23]. Np10'un (Tethis, Milan, İtalya) alevli sprej piroliz ekipmanı deneyler boyunca kullanıldı. Şekil 1, alev püskürtme piroliz ekipmanının deneysel kurulumunu göstermektedir. Hazırlanan IGZO çözeltisi, alev püskürtme piroliz ekipmanının çözelti şırıngasına beslendi. Alev püskürtme reaktöründe, sıvı çözelti 5 mL/dak bir besleme hızına sahip bir şırınga pompası ile bir Metan (1,5 L/dak) / oksijen (3,0 L / dak)-yakıt/oksijen oranı ile oluşan püskürtme alevine gönderildi ve ince sprej oluşturmak için oksijenle dağıtıldı. FSP ile sentezlenen partiküller, bir vakum pompası tarafından çekilen egzoz gazları ile bir cam mikrofiber filtreyi destekleyen su soğutmalı, paslanmaz çelik bir filtre muhafazası kullanılarak toplandı. Sentezlenen partiküllere yapıda kalan organiklerin uzaklaştırılması ve kristaliniteyi arttırmak için 1200 °C'de 4 saat kalsinasyon işlemi yapıldı.



Şekil 1. Alev sprej piroliz sisteminin şematığı [24]

## 2.3. Karakterizasyon

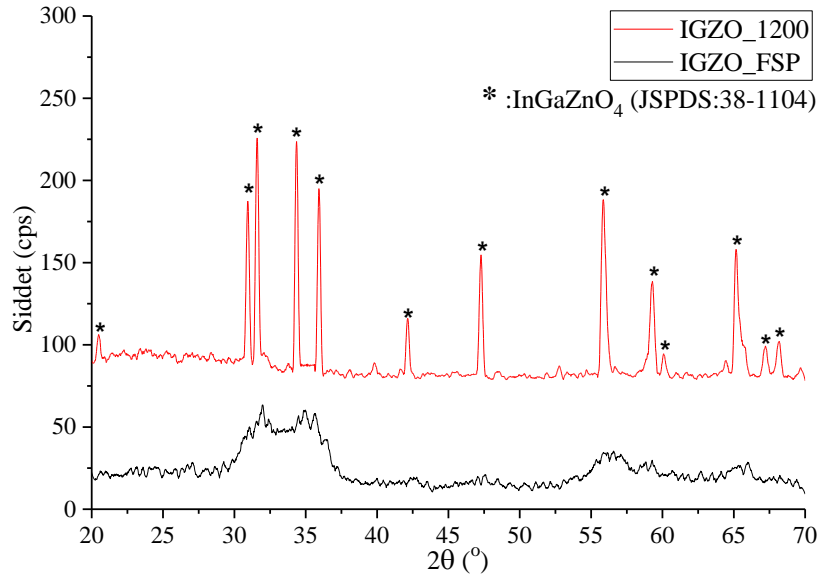
Hazırlanan IGZO partiküllerinin faz ve kristal yapılarının belirlenmesi, 45 kV voltaj ve 44 mA akım ayarları ile çalışan ve Cu-K<sub>α</sub> radyasyonu (1,5405Å) kullanan bir X-ışını difraktometresi (XRD, Thermo Scientific ARL) ile yapıldı. XRD verileri, 20° ≤ 2θ ≤ 70° aralığında 2°/dak tarama hızında kaydedildi. Monokromatik bir Al-K<sub>α</sub> (1486,7 eV) X-ışını kaynağı ve 400 nm çapında bir ışın büyüklüğü ile X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS, Thermo Scientific K-Alpha), toz numune için element bileşimini ve yüzey kimyasını belirlemek için gerçekleştirildi. Cihaz altın elementinin 4f<sub>7/2</sub> bağlanma enerjisine göre kalibre edildi. Veri toplama süresi boyunca sistemin basıncı 5x10<sup>-10</sup> mbar'ın altında tutulmuştur. Genel taramanın XPS verileri, 150 eV geçiş enerjisi uygulayan 1 eV tarama hızı ile -10 ile 1350 eV bağlanma enerjileri arasında gerçekleştirildi. Isıl işlem öncesi ve sonrası nanopartiküllerin mikroyapı görüntüleri, alan etkili taramalı elektron mikroskopu (FESEM, Zeiss Carl Ultra Plus) kullanılarak 100 kX, 200 kX büyütmelemlerde ve 10 kV hızlandırıcı voltajda gerçekleştirildi. Kararlı hal fotoluminesans (PL) emisyon spektrumları Edinburgh cihazının FLSP 920 floresan spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Floresan bozulma süresi ölçümleri, FLSP 920'nin tek foton sayma tekniği (TCSPC) ile yapıldı. Cihazda sırasıyla kararlı hal ve bozunma zamanı ölçümleri için standart bir 15 W xenon lamba ve mikro saniye flaş lambası kullanıldı.



### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Faz Analizi

Gerekli FSP üretimi ve 1200 °C kalsinasyon sonrası elde edilen partiküllerin faz yapıları Şekil 2’de gösterilmiştir. FSP sonrası yapı incelendiğinde partiküllerin kristalin olmadığı ve amorf bir yapı sergilediği görülmektedir. 1200 °C kalsinasyon sonrası yapıda tamamen rombohedral kristalin InGaZnO<sub>4</sub> (IGZO, JCPDS:38-1104) fazı elde edildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen pikler literatürle de benzer sonuçlar göstermiştir [10, 25].



Şekil 2. FSP ve ısıtım işlem sonrası IGZO nanopartiküllerinin XRD desenleri

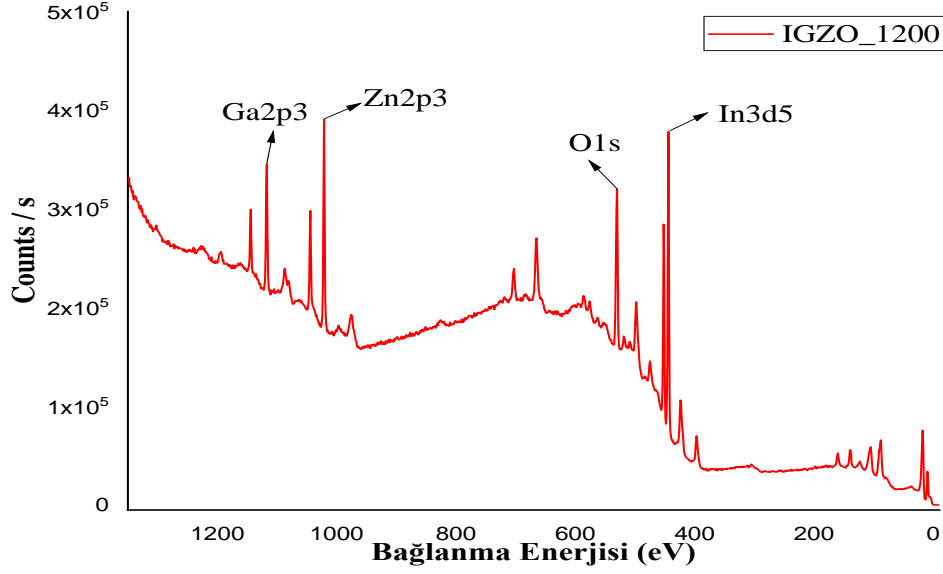
#### 3.2. Elementsel Analiz

FSP yöntemiyle sentezlenen IGZO nanopartiküllerin stokiometrik olarak doğru kompozisyonda üretilip üretilmediğini ve ortam-ısıtım işlem kaynaklı kirlilik içerip içermediğini tespit etmek için X-ışınları fotoelektron spektroskopisi (XPS) cihazıyla elementel olarak analiz yapılmıştır. Şekil 3’te 1200 °C de kalsine edilmiş IGZO nanopartiküllerin XPS genel tarama grafiği gösterilmiştir. Sonuçlara baktığımızda In3d5, O1s, Zn2p3 ve Ga2p3 elementleri sırasıyla 445 eV, 531 eV, 1022,78 eV ve 1119 eV bağlanma enerjilerinde tespit edilmiştir. Bu bağlanma enerjilerindeki metal elementlerinin oksit formunda olduğunu söyleyebiliriz [26–28].

Ayrıca ağırlıkça % oranlarına baktığımızda InGaZnO<sub>4</sub> kompozisyonunu doğrulamaktadır. Sonuçlar Tablo 2’de ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Tespit edilen elementler haricinde başka bir element gözlemlenmemiştir. Bu da malzemenin kirlilik içermediğini başarılı bir şekilde istenilen kompozisyonda üretildiğini göstermektedir.

Tablo 2. IGZO\_1200 nanopartiküllerin XPS analiz sonuçları

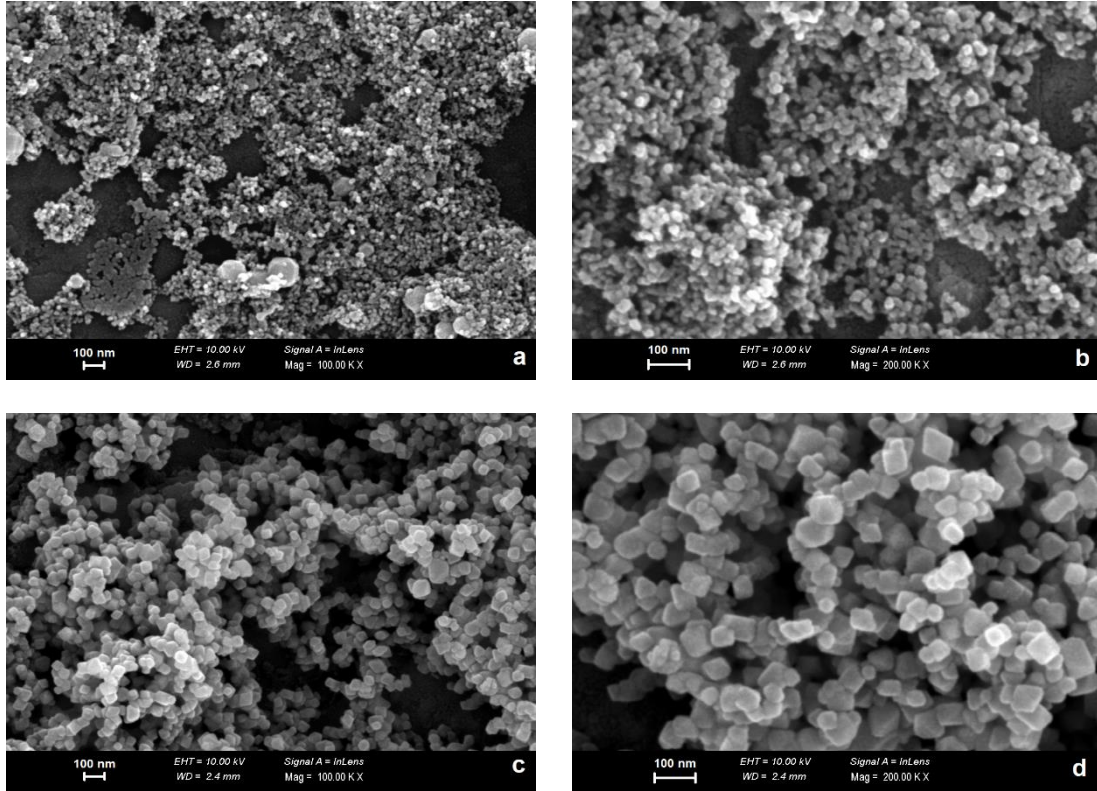
Element	Bağlanma Enerjisi (eV)	Ağırlıkça (%)
Zn2p3	1022,78	17,83
O1s	531,46	23,73
In3d5	445	37,09
Ga2p3	1119,01	21,35



Şekil 3. IGZO\_1200 nanopartiküllerin XPS genel tarama grafiği

### 3.1. Partikül Morfolojisi

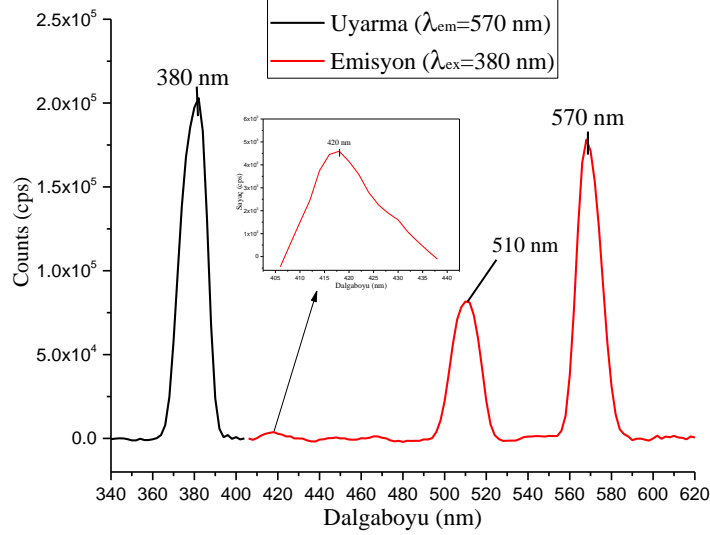
FSP ısıtma işlem öncesi ve sonrası partiküllerin morfolojileri Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4a-b, FSP sonrası alınan 100 kX ve 200 kX büyütme oranlarında alınan SEM görüntüleridir. Görüntüler incelendiğinde partiküllerin yarı küresel formda aglomere halinde ve ortalama 20-30 nm civarında olduğu gözlemlenmiştir. 1200 °C de yapılan kalsinasyon sonrası tanelerin boyutları artmış ve 40-60 nm partikül boyutlarında olduğu Şekil 4c-d de gösterilmiştir. Taneler yarı-küresel ve küpe benzer şekilde olduğu görülmüştür. Şekil 4d deki tane şekilleri XRD sonucu tespit edilen rombohedral (kübik yapı) kristal yapısını desteklemektedir. FSP üretim yöntemiyle tek aşamada 100 nm' nin altında partiküllerin sentezlendiği SEM görüntüleriyle ispatlanmıştır.



Şekil 4. IGZO Partiküllerin ısıtma işlem öncesi ve sonrası SEM görüntüleri a) IGZO\_FSP (100 kX), b) IGZO\_FSP (200 kX), c) IGZO\_1200 (100 kX), d) IGZO\_1200 (200 kX)

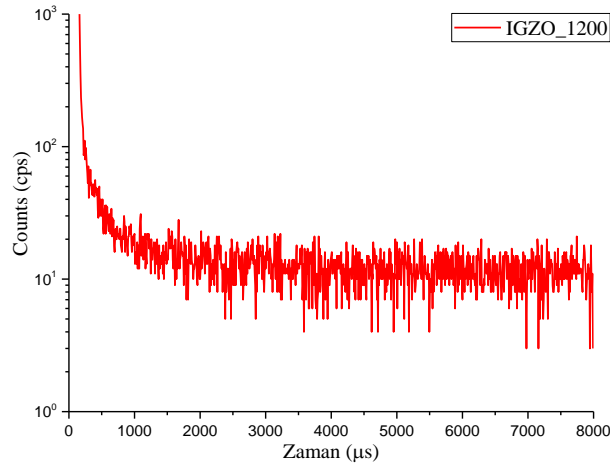
### 3.1. Fotolüminesans Özellikler

Şekil 5'te IGZO\_1200 nanopartikülün uyarma ve emisyon band yapıları gösterilmiştir. Partiküller 380 nm uyarma altında 510 ve 570 nm dalga boyların 2 ayrı emisyon piki vermiştir. Bu pikler iletim bandındaki elektronlara veya iletken bandın yakınındaki sığ donör seviyelerine ve değerlik bandının maksimumu üzerinde tuzaklanmış alıcılar arasındaki rekombinasyona atfedilmektedir. Ayrıca Şekil 5'in içerisinde gösterilen, 420 nm deki küçük emisyon piki yakın bant kenarı emisyonu (the near-band-edge-NBE) ile ilişkilidir [29].



Şekil 5. IGZO\_1200 nanopartiküllerinin uyarma ve emisyon bandları

Oda sıcaklığında ışıltama bozulma süreleri, IGZO nanopartikülleri için kaydedildi (Bkz. Tablo 3 ve Şekil 6). Partiküller, 380 nm'de bir mikrosaniye flaş lamba ile uyarıldı ve emisyonlar 570 nm'de toplandı. Nanopartiküller iki üstel bozulma zamanı gösterdi. 9,99  $\mu$ s kısa ömürlü ve 262  $\mu$ s lik orta ömürlü olarak kaydedildi. İlk bozulma sığ tuzaklardan kaynaklanırken, ikinci bozulma ise derin tuzaklar nedeniyle olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6. IGZO\_1200 nanopartiküllerinin optik bozulma eğrisi

**Tablo 3.** Uyarma, emisyon dalga boyu ve standart sapmalar ve yüzde dağılımı ile IGZO partiküllerin optik bozulma zamanı ölçüm sonuçları.

Numune Adı	$\lambda_{\max}^{ex}$ , $\lambda_{\max}^{em}$	$\chi^2$	Boz. Zaman ( $\mu$ s)	Standat Sap. ( $\mu$ s)	Rel. %	
IGZO_1200	Ex: 380 nm Em: 570 nm	1,392	$\tau_1$	9,99	$\pm 0,07$	91,14
			$\tau_2$	262,49	$\pm 9,46$	8,86
			$\tau_{ort}$	<b>32,36 <math>\mu</math>s</b>		

#### 4. Sonuçlar

Bu FSP üretimi sonrası başarılı bir şekilde IGZO partikülleri nanopartikül olarak üretilmiştir. Ayrıca elementsel analiz sonucunda yapının kimyasal oranı doğrulanmış ve herhangi bir kirlilik içermediği gözlemlenmiştir. Faz analizi sonrası rombohedral  $\text{InGaZnO}_4$  yapısı başarılı bir şekilde bulunmuştur. Şeffaf ve esnek ekran teknolojilerinde önemli bir yeri olan IGZO malzemesinin 510 ve 570 nm yeşil bölgede lüminesans özellik sergilediği görülmüştür.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın yapıldığı ve cihazlarının kullanıldığı Elektronik Malzemeler Üretimi ve Uygulama Merkezi (EMUM)' ne vermiş olduğu desteklerden dolayı teşekkür ederim.

#### Yazarların Katkısı

Tüm deneysel çalışmalar ve makale içeriği sorumlu yazar tarafından yapılmıştır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Zhang L., Zhang H., Bai Y., Ma J.W., Cao J., Jiang X.Y., Zhang Z.L. 2008. Enhanced performances of ZnO-TFT by improving surface properties of channel layer. *Solid State Communications*, 146 (9–10): 387–390.
- [2] Kumaresan Y., Pak Y., Lim N., Lee R., Song H., Kim T.H., Choi B., Jung G.Y. 2016. Effect of channel thickness, annealing temperature and channel length on nanoscale  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  - $\text{In}_2\text{O}_3$  -ZnO thin film transistor performance. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16 (6): 6364–6367.
- [3] Sun J., Lu A., Wang L., Hu Y., Wan Q. 2009. High-mobility transparent thin-film transistors with an Sb-doped nanocrystal channel fabricated at room temperature. *Nanotechnology*, 20 (33): 335204.
- [4] Meng Y., Liu G., Liu A., Song H., Hou Y., Shin B., Shan F. 2015. Low-temperature fabrication of high performance indium oxide thin film transistors. *RSC Advances*, 5 (47): 37807–37813.
- [5] Fujii M., Ishikawa Y., Ishihara R., Cingel J. van der, Mofrad M.R.T., Horita M., Uraoka Y. 2013. Low temperature high-mobility InZnO thin-film transistors fabricated by excimer laser annealing. *Applied Physics Letters*, 102 (12): 122107.
- [6] Dai S., Wang T., Li R., Wang Q., Ma Y., Tian L., Su J., Wang Y., Zhou D., Zhang X., Wang Y. 2018. Preparation and electrical properties of N-doped ZnSnO thin film transistors. *Journal of Alloys and Compounds*, 745 : 256–261.
- [7] Chuang C.-S., Fung T.-C., Mullins B.G., Nomura K., Kamiya T., Shieh H.-P.D., Hosono H., Kanicki J. 2008. P-13: Photosensitivity of amorphous IGZO TFTs for active-matrix flat-panel displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*, 39 (1): 1215–1218.
- [8] Hsieh H., Lu H., Ting H., Chuang C., Chen C., Lin Y. 2011. Development of IGZO TFTs and their applications to next-generation flat-panel displays. *Journal of Information Display*, 11 (4): 160–164.
- [9] Jung C., Choi M.S., Choi K.H., Yoon D.H. 2010. Controllable crystallinity of synthesized In-Ga-Zn-O nano-powder by using a pulp precursor for printing processes. *Physica Status Solidi (A)*, 207 (7): 1680–1683.
- [10] Wu M.C., Hsiao K.C., Lu H.C. 2015. Synthesis of  $\text{InGaZnO}_4$  nanoparticles using low temperature multistep co-precipitation method. *Materials Chemistry and Physics*, 162 : 386–391.
- [11] Fukuda N., Watanabe Y., Uemura S., Yoshida Y., Nakamura T., Ushijima H. 2014. In-Ga-Zn oxide nanoparticles acting as an oxide semiconductor material synthesized via a coprecipitation-based method. *Journal of Materials Chemistry C*, 2 (13): 2448–2454.
- [12] Barquinha P., Pereira L., Gonçalves G., Martins R., Fortunato E. 2009. Toward high-

- performance amorphous GIZO TFTs. *Journal of The Electrochemical Society*, 156 (3): H161.
- [13] Nomura K., Takagi A., Kamiya T., Ohta H., Hirano M., Hosono H. 2006. Amorphous oxide semiconductors for high-performance flexible thin-Film transistors. *Japanese Journal of Applied Physics, Part 1: Regular Papers and Short Notes and Review Papers*, 45 (5 B): 4303–4308.
- [14] Jeong J.K., Jeong J.H., Yang H.W., Park J.S., Mo Y.G., Kim H.D. 2007. High performance thin film transistors with cosputtered amorphous indium gallium zinc oxide channel. *Applied Physics Letters*, 91 (11): 113505.
- [15] Park J.S., Jeong J.K., Mo Y.G., Kim H.D., Kim S. II. 2007. Improvements in the device characteristics of amorphous indium gallium zinc oxide thin-film transistors by ar plasma treatment. *Applied Physics Letters*, 90 (26): 262106.
- [16] Yabuta H., Sano M., Abe K., Aiba T., Den T., Kumomi H., Nomura K., Kamiya T., Hosono H. 2006. High-mobility thin-film transistor with amorphous InGaZnO<sub>4</sub> channel fabricated by room temperature Rf-Magnetron sputtering. *Applied Physics Letters*, 89 (11): 112123.
- [17] Iwasaki T., Itagaki N., Den T., Kumomi H., Nomura K., Kamiya T., Hosono H. 2007. Combinatorial approach to thin-film transistors using multicomponent semiconductor channels: an application to amorphous oxide semiconductors in In-Ga-Zn-O system. *Applied Physics Letters*, 90 (24): 242114.
- [18] Nomura K., Ohta H., Takagi A., Kamiya T., Hirano M., Hosono H. 2004. Room-temperature fabrication of transparent flexible thin-film transistors using amorphous oxide semiconductors. *Nature*, 432 (7016): 488–492.
- [19] Cerdà J., Arbiol J., Diaz R., Dezaneeu G., Morante J.R. 2002. Synthesis of perovskite-type BaSnO<sub>3</sub> particles obtained by a new simple wet chemical route based on a sol-gel process. *Materials Letters*, 56 (3): 131–136.
- [20] Habeeba K., Manjulavalli T.E., Ezhilarasi Gnanakumari D. V., Karthikadevi V. 2019. Highly crystalline perovskite BaSnO<sub>3</sub> nanopowder synthesised using hydrothermal technique. *Materials Research Express*, 6 (9): 094004.
- [21] Deepa A.S., Vidya S., Manu P.C., Solomon S., John A., Thomas J.K. 2011. Structural and optical characterization of BaSnO<sub>3</sub> nanopowder synthesized through a novel combustion technique. *Journal of Alloys and Compounds*, 509 (5): 1830–1835.
- [22] Gültekin S., Yıldırım S., Yılmaz O., Keskin İ.Ç., Katı M.İ., Çelik E. 2019. Structural and optical properties of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu<sup>2+</sup>/Dy<sup>3+</sup> phosphors synthesized by flame spray pyrolysis technique. *Journal of Luminescence*, 206 : 59–69.
- [23] Yıldırım S., Yurddaskal M., Dikici T., Aritman I., Ertekin K., Celik E. 2016. Structural and luminescence properties of undoped, Nd<sup>3+</sup> and Er<sup>3+</sup> doped TiO<sub>2</sub> nanoparticles synthesized by flame spray pyrolysis method. *Ceramics International*, 42 (9): 10579–10586.
- [24] Yıldırım S., Karsu Asal, E.C., Ertekin K., Celik E. 2017. Luminescent properties of scintillator nanophosphors produced by flame spray pyrolysis. *Journal of Luminescence*, 187 : 304–312.
- [25] Liu J.A., Li C.H., Shan J.J., Wu J.M., Gui R.F., Shi Y.S. 2018. Preparation of high-density InGaZnO<sub>4</sub> target by the assistance of cold sintering. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 84 : 17–23.
- [26] Chen J., Wang L., Su X., Kong L., Liu G., Zhang X. 2010. InGaZnO semiconductor thin film fabricated using pulsed laser deposition. *Optics Express*, 18 (2): 1398.
- [27] Krishnan R., Thirumalai J., Chandramohan R. 2013. Room temperature photo-induced, Eu<sup>3+</sup>-doped IGZO transparent thin films fabricated using sol-gel method. *Journal of Nanostructure in Chemistry*, 3 (1): 1–4.
- [28] Wu G.M., Liu C.Y., Sahoo A.K. 2015. RF sputtering deposited A-IGZO films for LCD alignment layer application. In: *Applied Surface Science*. Elsevier B.V., pp 48–54.
- [29] Xu W., Hu L., Zhao C., Zhang L., Zhu D., Cao P., Liu W., Han S., Liu X., Jia F., Zeng Y., Lu Y. 2018. Low temperature solution-processed IGZO thin-film transistors. *Applied Surface Science*, 455: 554–560.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bul-Tak Oyunağı Şekillerinin Klasik Görüntü İşleme ve Derin Öğrenme Yöntemleri ile Tespiti**

Mehmet DERSUNELİ<sup>1\*</sup>, Taner GÜNDÜZ<sup>2</sup>, Yakup KUTLU<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>*Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İskenderun Teknik Üniversitesi, Hatay, Türkiye*  
(ORCID: [0000-0002-9689-2554](https://orcid.org/0000-0002-9689-2554)) (ORCID: [0000-0002-0361-5612](https://orcid.org/0000-0002-0361-5612)) (ORCID: [0000-0002-9853-2878](https://orcid.org/0000-0002-9853-2878))

---

### **Öz**

Bilgisayar görme algoritmaları, teknolojinin ilerlemesiyle daha kullanılabilir hale gelmektedir. Klasik yöntemler olan görüntü işleme ve makine öğrenmesi algoritmaları ile yapılan bilgisayarlı görü uygulamaları halen kullanılsa da gürültü veya istenmeyen ortam değişimleri etkisini sonuçlar üzerinde göstermektedir. Bu çalışmada, bir robotu hareket ettirmek için bilgisayar görme işleminin tepki hızının basit bir problemde nasıl cevap vereceği görülmek istenmiştir. Bu amaçla klasik makine öğrenme yöntemleri ve derin öğrenme algoritmalarından oluşan iki farklı yöntem ile 3 boyutlu geometrik şekiller içeren bul-tak oyunağı üzerinde nesne tespit işlemi gerçekleştirilmiştir. Klasik yöntemde iki farklı algorithmada görüntü işleme ile elde edilen özellikler k-NN algoritması ile sınıflandırılmış, derin öğrenme yönteminde ise nesne tespiti için özelleştirilmiş olan Yolov4 algoritması kullanılmıştır. Dene ortamında klasik görüntü işleme yöntemi siyah arka planlı test veri setinde %100 başarımlar sağlarken, farklı renk ve desende arka plana sahip ikinci test veri setinde başarımlar %86,25'e düşmüştür. Yolov4 derin öğrenme yöntemi algoritması ise her iki veri setinde de %100 başarımlara ulaşmıştır. Algoritmalar gerçek zamanlı kamera görüntüsü üzerinde çalıştırıldığında klasik yöntem siyah arka planlı bir kare görüntüde 0,06sn'de, farklı renk ve desende arka plana sahip bir kare görüntüde ise 0,04sn'de nesne tespiti yaparken, Yolov4 yöntemi 1,06sn'de nesne tespit işlemi gerçekleştirmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Geometrik şekillerin sınıflandırılması, k-NN, Yolov4.

---

## **Detection of Find-Plug Toy Shapes with Classical Image Processing and Deep Learning Methods**

### **Abstract**

Computer vision algorithms are becoming more usable with the advancement of technology. Although computer vision applications with classical methods of image processing and machine learning algorithms are still used, noises or undesirable environment changes show their effects on the results. In this study, we wanted to see how the response speed of computer vision to move a robot would respond in a simple problem. For this purpose, object detection was carried out on the find-and-tack toy containing 3D geometric shapes with two different methods consisting of classical machine learning methods and deep learning algorithms. In the classical method, the features obtained by image processing in two different algorithms are classified with the k-NN algorithm, while the Yolov4 algorithm, which is specialized for object detection, is used in the deep learning method. In the experimental environment, the classical image processing method provided 100% performance in the test dataset with a black background, while the performance decreased to 86.25% in the second test dataset with a different color and patterned background. The Yolov4 deep learning method algorithm, on the other hand, achieved 100% success in both data sets. When the algorithms are run on the real-time camera image, the classical method detects objects in 0.06 sec on a square image with a black background, and 0.04 sec on a square image with a different color and patterned background, while the Yolov4 method takes 1.06 sec. object detection has been performed.

**Keywords:** Classification of geometric shapes, k-NN, Yolov4.

---

\*Sorumlu yazar: [mdersuneli@hotmail.com](mailto:mdersuneli@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 25.04.2021, Kabul Tarihi: 05.11.2021

## 1. Giriş

Bilgisayarlı görü, insanların görme sistemi ile nesnelere anlamlandırması, bunları değerlendirerek kullanması yeteneğinin bilgisayar sistemlerine kazandırılması ile ilgilenen bir alandır. Bu yeteneği kazanan bilgisayarlı sistemlerin kullanılması, günümüzde çoğalan ve farklılaşan insan ihtiyaçlarına daha hızlı cevaplar verilmesini sağlamıştır.

Fabrikalarda veya lojistik tesislerinde bir yerden bir yere nesne taşıma işlevi gören robot kollar için bilgisayarlı görü sistemlerinden faydalanılmaktadır. Kameralardan alınan görüntülerdeki nesnelere farklı yöntemlerle tespit edilerek konumları bulunmakta ve robot kollarla ilgili nesneyi bir yerden bir yere taşıması için ihtiyacı olan verileri sağlamaktadır[1, 2, 3].

Bu kapsamda görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak yapılan bilgisayarlı görü çalışmalarının yanı sıra son dönemde derin öğrenme yöntemleri ile bilgisayarlı görü çalışmalarına yeni bir bakış gelmiştir. Literatürde öncelikle klasik görüntü işleme yöntemleri kullanılarak yapılan bilgisayarlı görü çalışmaları incelendiğinde; Bir çalışmada, kamera ile görüntüleri alınan kare, yuvarlak, dikdörtgen gibi şekillerdeki nesnelere; gri filtre, boyutlandırma, gürültü giderme, ortanca filtre ve ikili resme dönüştürme gibi görüntü işleme teknikleri ile tanımlanmıştır. Ardından bu nesnelere, bilgisayara bağlı olarak çalışan robotik kol ile belirlenen yerlere yerleştiren bir uygulama gerçekleştirilmiştir[4]. Başka bir çalışmada, kamera ile nesnelere açısından bağımsız olarak öz nitelikler çıkarmak için eşik belirleme, kenar belirleme ve bölge büyütme gibi görüntü işleme tekniklerinden yararlanılmış, yapay sinir ağlarında bu öz nitelikler kullanılarak nesnelere tanınmış ve nesnelere ilgili yerlere yerleştirilmesi için bir robot kol kullanılmıştır[5]. Kare, daire, dikdörtgen ve üçgen gibi şekillerin resimlerinin bulunduğu başka bir çalışmada, ikili resme dönüştürme, nesne sınırları çıkarma, nesne alanlarını bulma ve alan filtreleme gibi görüntü işleme teknikleri ile şekiller ayırt edilmiştir. Ardından bunların etrafına bir sınır kutusu çizilmiş ve bu kutu ile şeklin alanının oranları alınarak şeklin ne olduğuna karar veren bir uygulama geliştirilmiştir[6]. Bir çalışmada, kare, daire, üçgen, yıldız, çokgen gibi iki boyutlu şekilleri tespit etmek için bazı öz nitelikler önerilmiş ve bu öz nitelikler k-NN sınıflandırıcı kullanılarak %96,7 başarımla elde edilmiştir[7]. Kare, daire ve üçgen şekillerinin tespit edilmeye çalışıldığı başka bir çalışmada şekillerin çevre ve alan bilgisi ile kullanılarak bir öz nitelik verisi oluşturulmuş ve %85 sınıflandırma başarımla elde edilmiştir[8].

Bu kapsamda derin öğrenme yöntemleri kullanılarak yapılan bilgisayarlı görü çalışmaları incelendiğinde; Derin öğrenme yöntemleri ile dokunsal yüzey tespiti üzerine yapılan bir çalışmada, 4850 adet resimden oluşturulan veri seti Yolov2, Yolov3 ve Yolov3-Dense ile NVIDIA GeForce GTX1080 Ti 11GB ekran kartı üzerinde eğitilmiştir. Sonuç olarak ise başarımlar Yolov2:%69; Yolov3:%78; Yolov3-Dense:%89 şeklinde oluşmuştur[9]. Yapılan diğer bir çalışmada 4 farklı narenciye ürününden oluşturulan 1750 resimlik veri setinde nesne tespiti için Fast R-cnn, Yolov3, Yolov4 ve özelleştirilmiş Yolov4 algoritmaları kullanılmış, eğitimler Quadro P4000, NVIDIA 430.26 üzerinde yapılmış ve sonuç olarak doğruluk oranları Fast R-cnn:%86, Yolov3:%82, Yolov4:%92, Özelleştirilmiş Yolov4:%96 şeklinde oluşmuştur[10]. Başka bir çalışmada ise bulanık su altı görüntülerinden balık tespiti yapılması amaçlanmış bunun için 400 adet balık resminden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Eğitim için Yolov2, Yolov3, Yolov3- Tiny ve MobileNet-SSD Ağları kullanılmış sonuç başarımları ise Yolov2:%78,61, Yolov3-Tiny:%77,98, Yolov3:%71,95, MobileNet-SSD: %88,07 şeklinde gerçekleşmiştir[11]. Tıp alanında yapılan bir çalışmada ise efüzyon sitopatoloji görüntülerinde otomatik çekirdek algılama için Yolov3 derin öğrenme yöntemi kullanılmış sonuç olarak daha önce kullanılmış olan Fast R-Cnn, R-Cnn ve SSD ile kıyaslandığında FP (yanlış pozitif) sayısı artarken 0,060 (sec/img) ile en hızlı tespit zamanına ulaşılmıştır[12]. Bir diğer çalışma ise montaj parçalarının tespiti üzerine yapılmış, çalışmada Yolov3 algoritması 1 sınıf için 312 adet resim verisine uygulanmış, sistem OpenCV kütüphanesi ile gerçek zamanlı uygulamaya çevrilmiş, sonuçta başarımla oranı %84 olarak tespit edilmiştir[13].

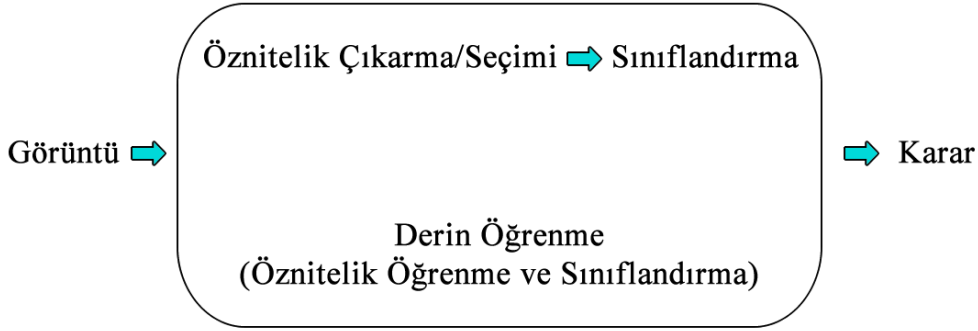
Literatürdeki bu çalışmalar incelendiğinde, gerek görüntü işleme ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak yapılan bilgisayarlı görü çalışmalarının gerekse derin öğrenme yöntemleri ile gelen yeni bilgisayarlı görü çalışmalarının robotik çalışmaların vazgeçilmez araçları olduğu görülmektedir. Gerçek zamanlı çalışacak robotik uygulamalar için nesne tespiti ve sınıflandırma işleminde 3 boyutlu şekillerin kullanılması önem arz etmektedir. Bundan dolayı bu çalışmada, nesne tespit ve sınıflandırma işlemi için bul-tak adlı oyuncak içerisinde bulunan 3 boyutlu geometrik şekiller kullanılacaktır.



Bul-tak oyuncuğındaki 4 farklı geometrik şeklin tespitinde ilk yöntem olarak klasik görüntü işleme yöntemleri ile öznitelikler elde edilecek ve k-NN algoritması ile sınıflandırılarak nesne tespiti yapılacaktır. Kullanacağımız diğer yöntemde ise Yolov4 derin öğrenme algoritması ile nesne tespiti yapılacaktır. Farklı arka plan ve desenlerde nesne tespiti probleminin klasik görüntü işleme ve derin öğrenme yöntemlerindeki etkisi incelenerek bu yöntemlerde ortaya çıkan başarımların sonuçları karşılaştırılacaktır. Basit olan bu nesne tespiti problemimizde iki yöntemden hangisinin gerçek zamanlı bir uygulamada kullanımının uygun olacağı ortaya konulacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada iki yaklaşım ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu amaçla kameradan alınan görüntüler üzerinde önce klasik görüntü işleme algoritmaları kullanılarak yapılacak çalışmalar ve daha sonra derin öğrenme algoritmaları kullanılarak yapılacak çalışmalar anlatılmıştır. Şekil 1’de yapılacak bilgisayarlı görme algoritmasının genel yapısı verilmiştir.



Şekil 1. Bilgisayarlı görme algoritmasının genel yapısı

### 2.1. Verilerin Elde Edilmesi

Bu çalışmada, Şekil 2’de gösterilen bul-tak isimli 4 adet geometrik şekil (kare, daire, üçgen, yıldız) içeren çocuk oyuncuğı kullanılmıştır. Görüntü alma işlemi 1280 x 720 piksel çözünürlüğe sahip bir web kamerası üzerinden gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. Bul-tak oyuncuğı görseli



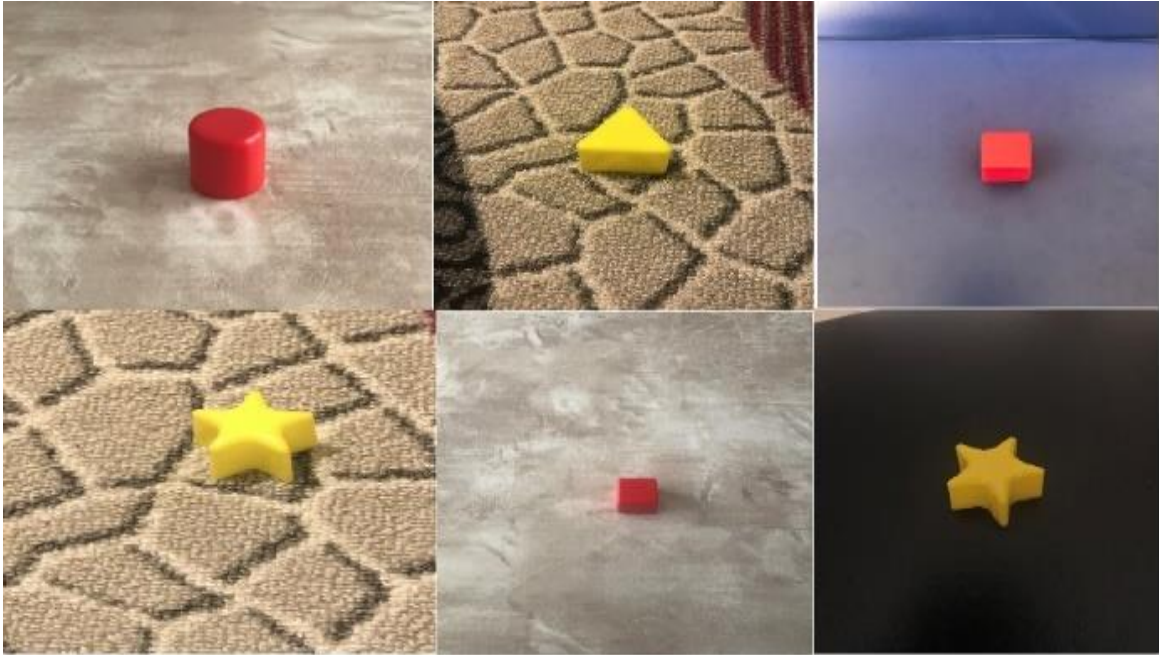
Bu çalışmada; arka planın model geliştirilmesine, başarıma ve nasıl çözümler üretileceğine etkisini görmek için iki farklı veri seti oluşturulmuştur. İlk veri seti sabit renkli arka plana sahip görsellerden oluşurken diğer veri seti ise farklı renk ve desene sahip arka planı olan görsellerden oluşmaktadır. Şekil 3 ve Şekil 4'te iki veri setine ait görsellerden örnekler gösterilmiştir.

Bu kapsamda, klasik görüntü işleme yöntemi ile yapılacak çalışma için eğitimde kullanılmak üzere; bu oyuncağın tüm parçalarının tek tek farklı konum ve rotasyonlarda siyah zemin üzerinde üstten görüntüleri alınmıştır. Her şekilden 18'er adet olmak üzere 72 adet görüntü elde edilmiştir. Ardından test için kullanılmak üzere tüm parçaların bulunduğu, yine farklı konum ve rotasyonlarda 80 adet şeklin bulunduğu görüntüler alınmıştır.



Şekil 3. Sabit renkli arka plana sahip veri setinden örnek görüntüler

Farklı renk ve desenli arka plana sahip veri setlerinde yapılacak çalışma için her bir şekilden 100'er adet olmak üzere toplam 400 adet görüntü alınmıştır. Her görselin içerisindeki şekiller etiketlendiği için bu görüntülerin arka planı farklı renk ve desenlerde olup rotasyondan ve ölçekten bağımsız olarak oluşturulmuştur. Veri seti %80 eğitim, %20 test verisi olarak ayrılmıştır.



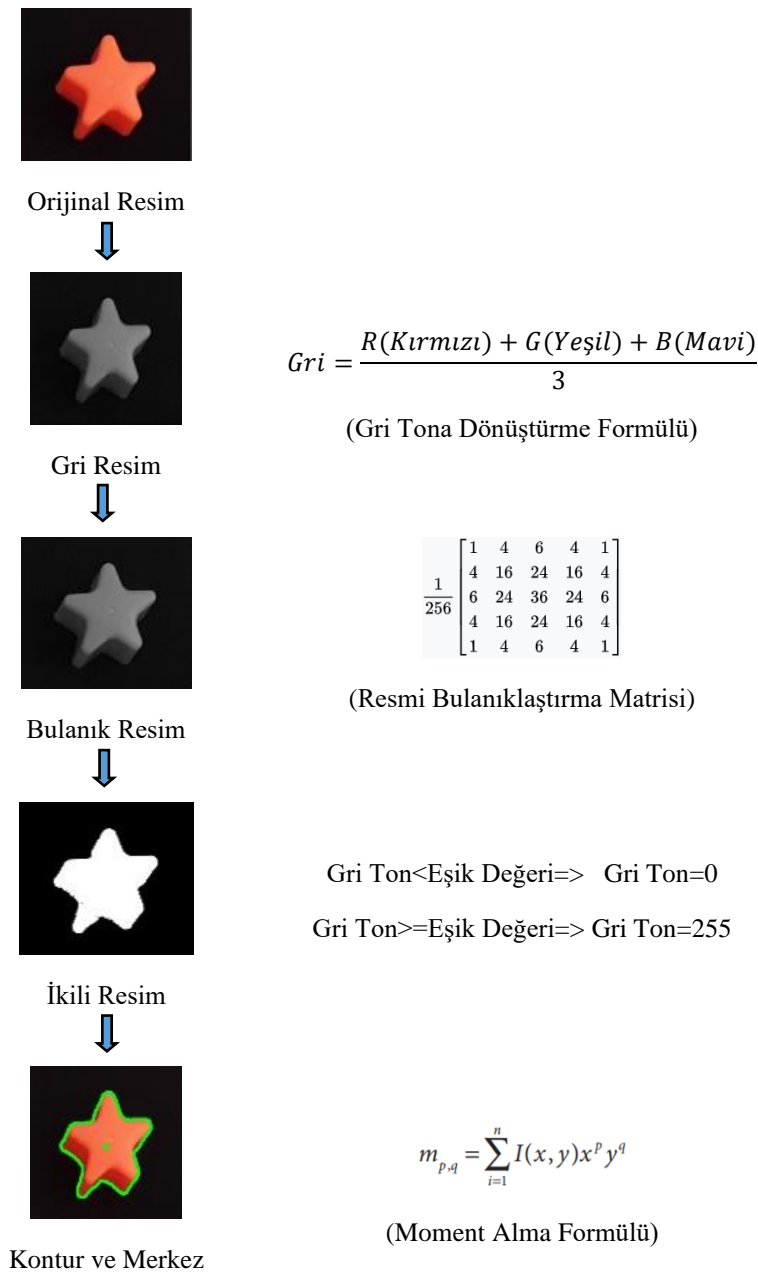
Şekil 4. Farklı renk ve desenli arka plana sahip veri setinden örnek görüntüler

## 2.2. Klasik Yöntemle Nesne Tespiti

Bu yöntemde ilk olarak görüntüler ön işlemlerden (gri tona dönüştürme, bulanıklaştırma, ikili resme dönüştürme ve kontur çıkarma) geçirilmiş, ardından farklı öznelik verileri elde edilmiş ve bu özneliklerin en uygun olanları seçilerek sınıflandırma yapılmıştır. Ardından farklı renk ve desenli arka plana sahip test görüntülerinde de başarımlarını gösterebilecek bir yöntem oluşturulmuştur.

### 2.2.1 Görüntü Ön İşleme

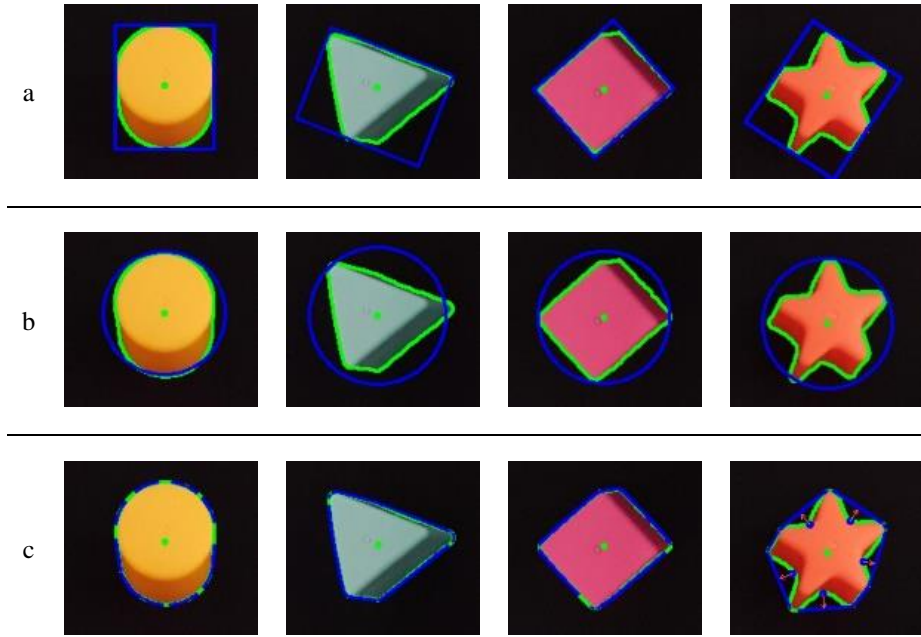
Bu aşamada siyah arka planlı görüntülere sırasıyla gri tona dönüştürme, bulanıklaştırma ve ikili resme dönüştürme işlemleri uygulanmaktadır. Bu işlemler ile arka plan yok edilerek şekillerin ortaya çıkması sağlanmaktadır. Ardından kontur bulma işlemi yapılarak belli bir değerden büyük alana sahip olan şekillerin dış hatlarına çizgi çizdirilmiştir. Şekillerin alanını hesaplamak için moment alma işlemi uygulanmıştır [14]. Görüntü ön işleme adımları Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Sabit arka planlı görsellerde görüntü ön işleme adımları

### 2.2.2 Öznitelik Çıkarma

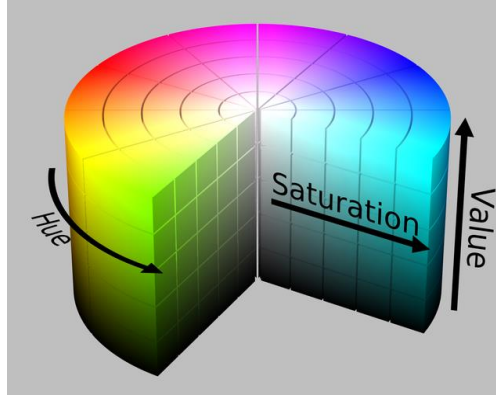
Görüntüler ön işlemlerden geçirildikten sonra elde edilen şekillerden rotasyondan ve uzaklıktan bağımsız olarak öznitelik verileri elde etmek için bazı işlemler yapılmıştır. İlk olarak rotasyonu şekil ile aynı olan bir sınır dikdörtgeni çizdirilmiş, bu dikdörtgenin alanının şeklin alanına oranı alınarak bir öznitelik verisi elde edilmiştir. Bu veriye ek olarak şekillerin çevresine minimum boyutlu sınır çemberi çizdirilerek bu çemberin alanının şeklin alanına oranlanmasıyla bir öznitelik verisi daha elde edilmiştir. Son olarak şekillere dışbükey çizgileri çizdirilerek şeklin gövdesinin bu çizgiye olan sapma miktarlarının ortalaması alınarak bir öznitelik verisi elde edilmiştir. Elde edilen bu öznitelikler Şekil 6'da gösterilmiştir.



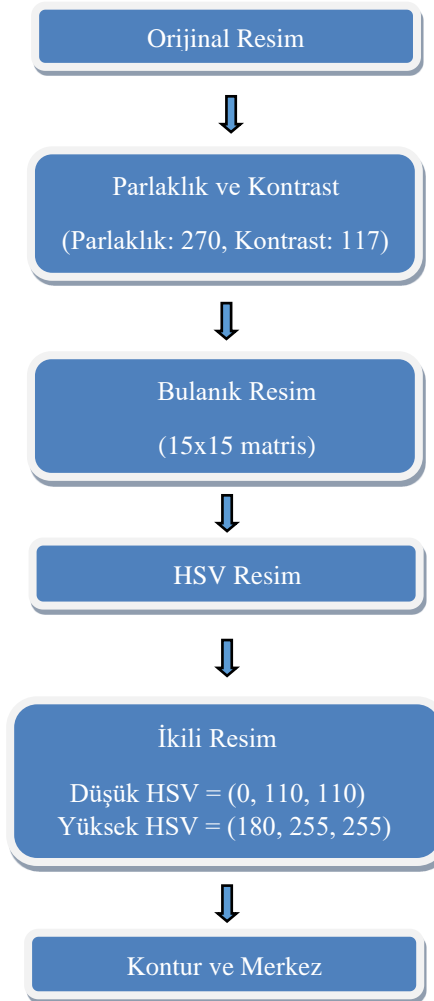
**Şekil 6.** Elde edilen özniteliklerin gösterimi: a. Döndürülmüş sınır dikdörtgeni çizilmiş şekiller, b. Minimum sınır çemberi çizilmiş şekiller, c. Dışbükey çizgileri çizilmiş şekiller

### 2.2.3 Farklı Renk ve Desenli Arka Plana Sahip Görüntülerde Kullanılan Yöntem

Farklı arka plan ve desenlerde nesne tespiti probleminin klasik görüntü işleme yöntemleriyle çözülebilmesi için sabit arka planda kullanılan yöntemden farklı bir yöntem ihtiyacı doğmuştur. Burada tespit edilmesi gereken şekillerin renkleri belirgin olduğu için görüntüler HSV(Hue, Saturation, Value) resme dönüştürülerek renk, parlaklık ve doygunluk parametreleri görüntü ön işleme aşamasında kullanılmıştır(HSV renk uzayı Şekil 7'de görülmektedir). Renkli şekillerin belirginleşmesi için öncelikle resimlerin parlaklık değeri artırılmış ve karşıtlık değeri ise azaltılmıştır. Sonrasında arka plan desenleri ve gürültülerinin azaltılması için 15x15 matris gezdirilerek bulanıklaştırma işlemi gerçekleştirilmiştir, ardından RGB resim HSV resme dönüştürülmüş, son olarak ikili resme çevrilerek kontur ve merkez bulma işlemi gerçekleştirilmiştir. Burada kullanılan görüntü ön işleme adımları Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 7. HSV(Renk, Parlaklık, Doygunluk) Renk Uzayı[15]



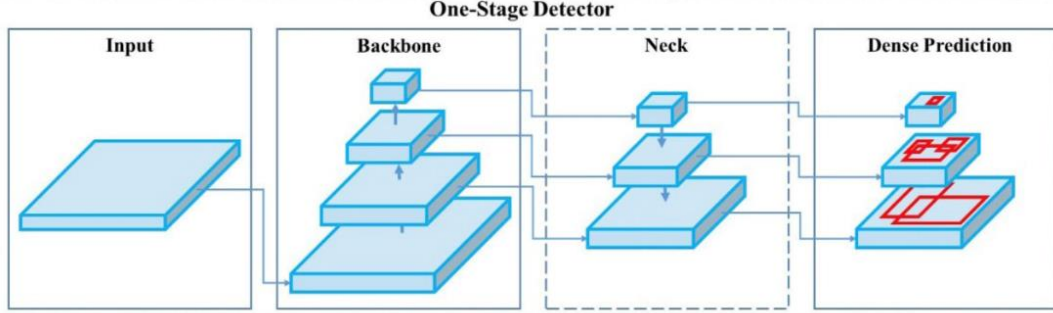
Şekil 8. Farklı renk ve desenlerde kullanılan görüntü ön işleme adımları

### 2.3 Derin Öğrenme Algoritması

Derin öğrenme, makine öğrenmesi yöntemlerinden biridir. Tüm makine öğrenmesi algoritmalarında olduğu gibi verilen girişler ile çıktılar tahmin edecek modelin eğitime olanak sağlamaktadır. Derin öğrenme yöntemleri kullanılarak yapılan bilgisayarlı görü çalışmaları incelendiğinde farklı yaklaşımlar önerilmiştir. Bu çalışmada Yolo algoritması tercih edilmiş ve uygulama sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yolo algoritması nesne tespiti için özelleşmiş bir yapay sinir ağı tasarımıdır. Hızlı olması ve doğru tahmin başarımının yüksek olması tercih edilmesinin sebeplerindedir. 106 katmandan oluşan YOLOv4

algoritması terminolojisinde; Şekil 9’da gösterilen yapısı dâhilinde CNNs, residual blocks, skip connections, up-sampling, Leaky ReLU, IOU, non maximum suppression yöntemlerini barındırmaktadır. Öznitelik çıkarma katmanlarında önce resimler 32’nin katı olacak şekilde (416x416, 618x618 vb.) yeniden boyutlandırılıp daha sonra Feature Pyramid Network yöntemi ile öznitelik tespiti yapıp tahmini sınır kutuları çizdirilmektedir. Sınır kutuları içinde [tx ty tw th Po P1 P2...Pc] şeklinde nesnenin merkez noktası, en-boy uzunluğu ve sınıflara ait tahmin değerleri vardır. Sınıflandırma için K-Means sınıflandırıcı kullanılır. Güven endeksleri hesaplanarak en yüksek olanlar alınarak nesne tespiti tamamlanır [16].



Şekil 9. YOLOv4 algoritması görsel yapısı

(One Stage Detector: Tek aşamalı dedektör, Input: Giriş Katmanı, Backbone-Neck: Öznitelik Çıkarım Katmanları, Dense Prediction: Tahmin Katmanı)[16]

## 2.4 Sınıflandırma ve Performans Ölçümleri

Makine öğrenmesinde en çok kullanılan non-parametrik algoritmalarından biri olarak kabul edilen K en yakın komşu algoritması bu çalışmada klasik yöntemde sınıflandırıcı olarak tercih edilmiştir. K en yakın komşu algoritması iki nokta arasındaki uzaklık hesaplaması üzerinden oluşturulmuş basit bir yaklaşımdır. Genellikle Euclid uzaklık kullanılan bu algortmada farklı uzaklık ölçütü olan Minkowski, Manhattan gibi ölçüm yöntemleri de kullanılabilir [17].

Öklid Uzaklığı Hesaplama

$$\sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - y_i)^2} \quad (1)$$

Sınıflandırma başarımlar ölçütleri ise duyarlılık (Duy), belirlilik (Bel), F Puanı ve genel başarımlar olarak belirlenmiş ve bu değerlerin hesaplanması; [18]

TP: Etiket (gerçek) değeri 1 ve tahmin sonucu 1 olanlardır, TN: Etiket (gerçek) değeri 0 ve tahmin sonucu 0 olanlardır, FP: Etiket (gerçek) değeri 0 ve tahmin sonucu 1 olanlardır, FN: Etiket (gerçek) değeri 1 ve tahmin sonucu 0 olanlardır.

$$Duy = \frac{\sum_{i=0}^{Farklı\ Sınıf\ Sayısı} Duy_i}{Farklı\ Sınıf\ Sayısı} \times 100\%, \quad Duy_i = \frac{TP_i}{TP_i + FN_i} \quad (2)$$

$$Bel = \frac{\sum_{i=0}^{Farklı\ Sınıf\ Sayısı} Bel_i}{Farklı\ Sınıf\ Sayısı} \times 100\%, \quad Bel_i = \frac{TN_i}{TN_i + FP_i} \quad (3)$$

$$F\ Puanı = 2 \times \frac{duy \times bel}{duy + bel} \quad (4)$$

$$\text{Genel Başarım} = \frac{\Sigma TP + \Sigma TN}{\text{Bütün Gözlemlerin Sayısı}} \times 100\% \quad (5)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Klasik Yöntem ile Alınan Sonuçlar

Klasik yöntemde sabit arka plana sahip görüntüler bazı ön işlemlerden geçirilerek öznelikler çıkartılmış ve başarımlar elde edilmiştir. Daha sonra aynı yöntem farklı renk ve desenli arka plana sahip görsellerde uygulandığında yetersiz kaldığı için yeni yaklaşımlar gerektiği görülmüştür. Bu yeni yöntemde ön işlemlere HSV renk uzayı parametreleri eklenerek başarımlar elde edilmiştir.

Sabit arka planlı veri setindeki görüntülerden elde edilen 3 adet öznelik verisinin farklı kombinasyonlarının k-NN algoritmasında k=7 seçilerek kullanılması ile siyah arka planlı test görüntülerinden elde edilen duyarlılık(Duy), belirlilik(Bel), F Puanı ve genel başarımın sonuçları Tablo 1 ve Tablo2'de gösterilmiştir. Bu çalışmada; dönmüş sınır dikdörtgeninin alanı ile şeklin alanının oranı, minimum sınır çemberinin alanı ile şeklin alanının oranı ve dışbükey çizgisi ile şeklin gövdesinin sapma miktarlarının ortalaması öznelik verileri ayrı ayrı kullanıldığında başarımlar sınırlı iken, birlikte kullanıldığında başarımları artırdığı görülmektedir. İlk öznelik tek başına %82,5 genel başarıma sahip iken (Tablo 1'de verilmiştir), ikinci öznelik eklendiğinde bu başarımın %97'ye yükseldiği görülmüştür(Tablo 2'de verilmiştir). Üçüncü öznelik eklendiğinde bul-tak oyuncağındaki 4 adet geometrik şeklin tespitinde başarımlar %100'e yükselmiştir. Böylece kullanılacak öznelik verisinin yeterli olduğu kanısı oluşmuştur.

**Tablo 1.** Döndürülmüş sınır dikdörtgeni öznelik verileri kullanılarak elde edilen sonuçlar

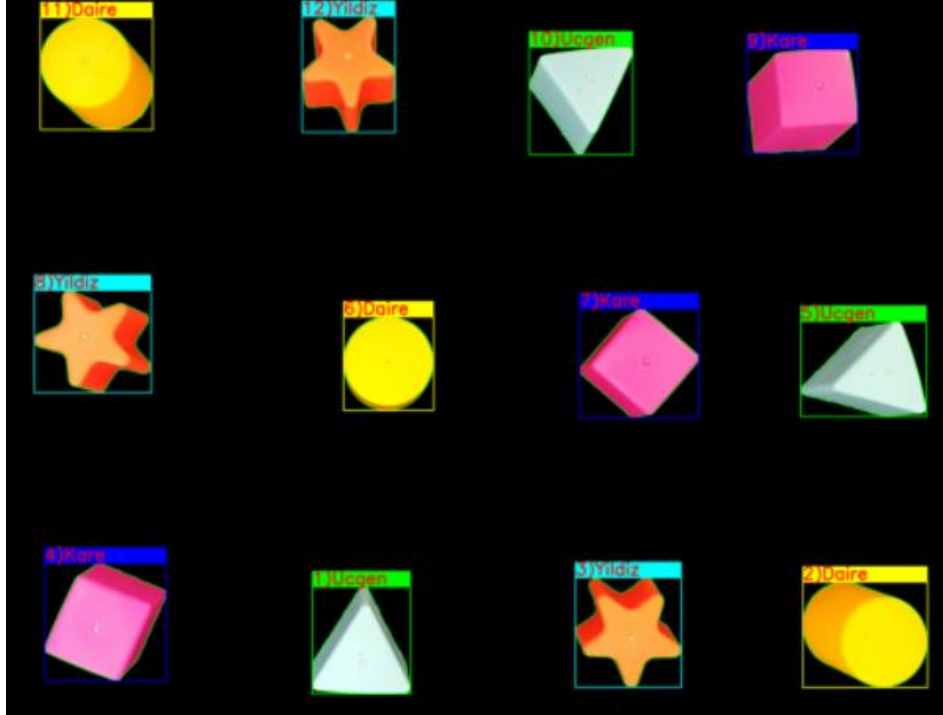
Sınıf	Duy	Bel	F Puanı	Genel Başarım
Daire	%100	%86,95	%93,01	
Üçgen	%65	%76,47	%70,27	
Kare	%85	%100	%91,89	%82,5
Yıldız	%80	%69,56	%74,41	

**Tablo 2:** Döndürülmüş sınır dikdörtgeni ve Minimum sınır çemberi öznelik verileri bir arada kullanılarak elde edilen sonuçlar

Sınıf	Duy	Bel	F Puanı	Genel Başarım
Daire	%100	%100	%100	
Üçgen	%100	%90,90	%95,23	
Kare	%100	%100	%100	%97,5
Yıldız	%90	%100	%94,73	

Klasik görüntü işleme algoritması, python'da OpenCV Kütüphanesi [14] kullanılarak siyah arka planlı resimler ve gerçek zamanlı kamera görüntüleri üzerinde çalıştırılarak nesne tespiti başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş olup sonuç çıktısı Şekil 10'da gösterilmiştir.





Şekil 10. Klasik görüntü işleme ile yapılan siyah arka planlı görüntülerde nesne tespiti algoritmasının gerçek zamanlı sonuçları

Farklı renk ve desenlerde arka plana sahip olan test görüntülerinde klasik yöntemdeki ilk yaklaşım arka plandaki çeşitliliklerden dolayı ön işlemlerde yeterince iyi çalışmamış ve çok kötü başarımlar elde edilmiştir. Bu sebeple ön işlemlerin değiştirilmesi gerekliliği doğmuştur. Farklı renk ve desenli görseller için ön işlemlerde HSV renk uzayı parametreleri kullanılmış ve öz nitelikler çıkartılmıştır. Bu yeni yaklaşımla klasik yöntemin k-NN algoritmasında k=7 seçilerek kullanılması ile farklı renk ve desenlerde arka plana sahip görüntülerde %86,25 başarımlar elde edilmiştir (Tablo 3’de elde edilen duyarlılık (Duy), belirlilik (Bel), F Puanı ve genel başarımlar gösterilmiştir).

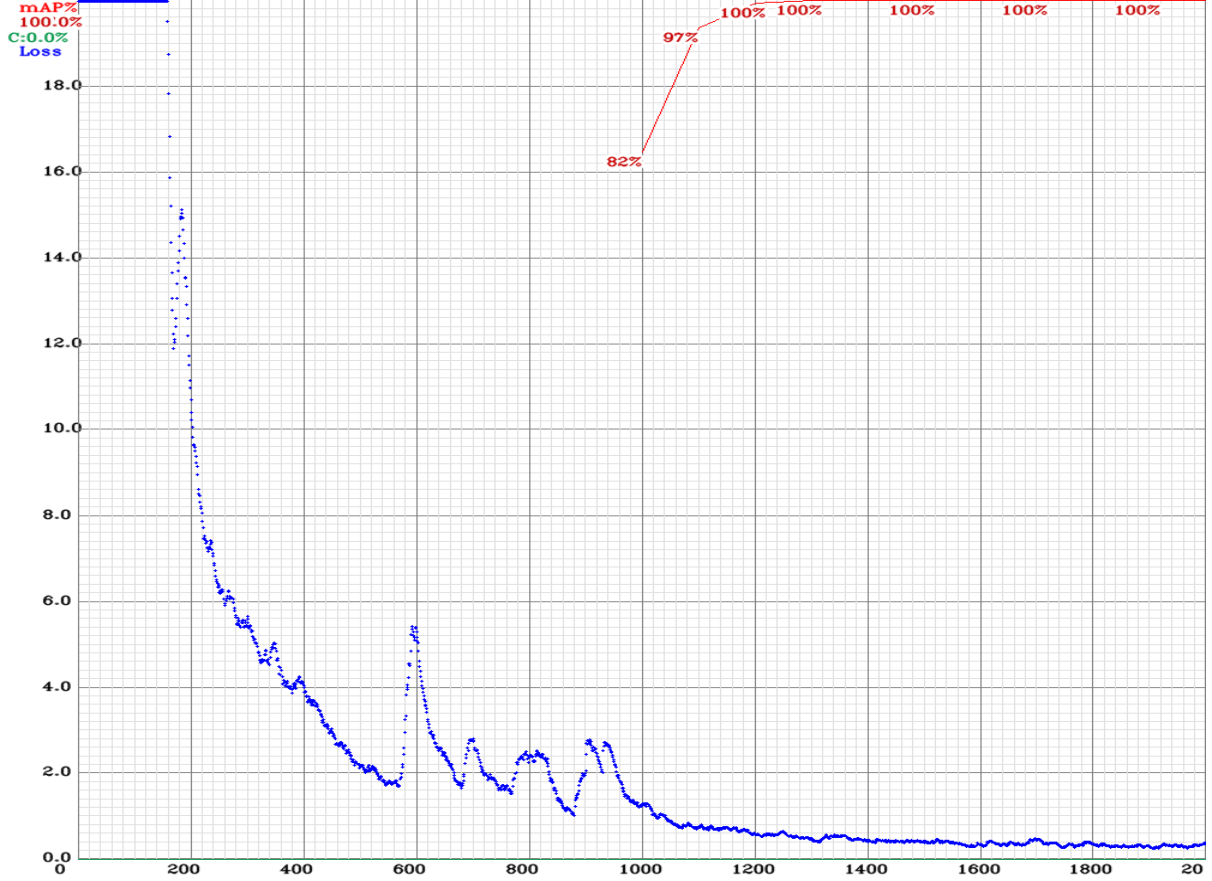
**Tablo 3:** Farklı renk ve desene sahip test görüntülerinde, HSV renk uzayı parametrelerinin kullanılması ile elde edilen sonuçlar

Sınıf	Duy	Bel	F Puanı	Genel Başarımlar
Daire	%90	%90	%90	
Üçgen	%80	%100	%88,88	%86,25
Kare	%75	%100	%85,71	
Yıldız	%100	%74,07	%85,10	

### 3.2. Yolo Algoritması Eğitim Sonuçları

Yolov4 algoritması veri setine göre revize edilmiştir. Bu kapsamda yeniden boyutlandırma işlemi için 416x416 olarak ayarlanmıştır. Filters parametresi  $3 \cdot (5 + \text{classes})$  ile 4 sınıf için 27 olarak belirlenmiştir. İterasyon sayısı 2000 olarak belirlenmiş ve her iterasyonda 60 resim alınarak her resim 60 ızgaraya bölünmüştür. Öğrenme oranı (learning rate) parametresi 0,0013 olarak belirlenmiştir. Veri seti ve YOLOv4 algoritması Google Drive üzerinden Google Colaboratory’ye aktarılmıştır. Burada Tesla K80 GPU üzerinden dosyalar Unix formatına çevrilerek eğitim gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle veri seti makesense.ai uygulaması kullanılarak etiketlenmiştir ve Yolov4 formatına dönüştürülmüştür. Daha sonra gerek sabit arka planlı gerekse desenli veri setleri üzerinde YOLOv4 algoritması ile yapılan eğitim sonucunda kare, daire, üçgen ve yıldız şekilleri %100 doğrulukla sınıflandırılırken duyarlılık, belirlilik, F Puanı değerleri %100 olarak elde edilmiştir. Farklı arka plan desenlerine sahip görseller için Yolov4 derin öğrenme algoritmasının sağladığı öznelik öğrenme becerisi sayesinde desenlerdeki çeşitliliğin nesne tespiti için bir problem olmaktan çıktığı görülmüştür.

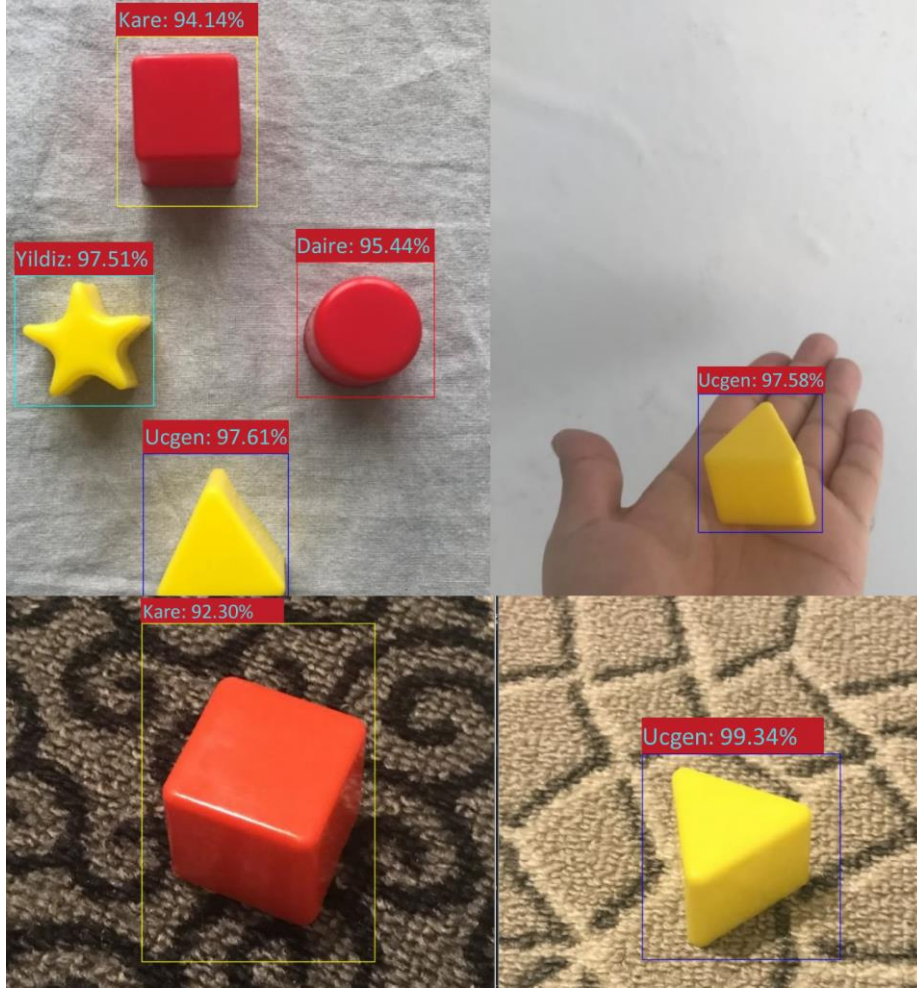


Şekil 11. Farklı renk ve desene sahip veri setinde Yolov4 başarımı (mAP: Genel Başarım, Loss: Kayıp Değeri)

Eğitim işlemi her iterasyonda rastgele seçilen 60 resimle yapılmıştır. Eğitim sonuç grafiği incelendiğinde iterasyon sayısı ilerledikçe hata oranının gitgide azaldığı, buna bağlı olarak 1000 iterasyondan itibaren hesaplanan ortalama hassasiyet değerinin %82 ile başlayıp eğitimler ilerledikçe %100'e ulaştığı Şekil 11'de görülmektedir.

Eğitilmiş dosya python'da OpenCV Kütüphanesi [14] ile oluşturulan nesne tanıma algoritmasında kullanılarak resimler ve gerçek zamanlı kamera görüntüleri üzerinden nesne tespiti başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiş olup sonuç çıktısı Şekil 12'de gösterilmiştir.





Şekil 12. Yolov4 ile yapılan nesne tespiti algoritmasının gerçek zamanlı sonuçları

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada deneysel ortamda klasik görüntü işleme yöntemleri ile oluşturulan ilk algoritma, siyah arka planda rotasyon ve ölçekten bağımsız alınan resimlerde nesne tespitinde %100 başarımla sonuçlandı. Arka planı farklı renk ve desenlerde olup rotasyon ve ölçekten bağımsız alınan resimlerle oluşturulan ikinci veri setinde ilk algoritma başarımla sonuçlanamadı. Ön işlemlerde iyileştirmeler yapılarak yeniden ele alınmış ve oluşturulan algoritma, ikinci veri setinde nesne tespitinde %86,25 başarımla sonuçlandı.

Yolov4 derin öğrenme yöntemiyle oluşturulan algoritma, her iki veri setinde de %100 başarımla sonuçlandı. Mevcut sistemde klasik yöntemde görüntü işleme açısından yeni yaklaşımlar gerekli olduğu, aksi durumda nesnelerin bulunmasında sorunlar olduğu görülmüştür. Her ne kadar iyileştirmeler yapılsa da yeterli olmamış ve sabit arka planlı veri setindeki başarımla seviyesi ikinci veri setinde yakalanamamıştır. Derin öğrenme algoritmalarında ise arka plan değişikliklerinde algoritmik olarak herhangi bir değişiklik yapılmadığı ve sonuçların etkilenmediği görülmüştür.

Bu algoritmalar, 8gb DDR4 ram, NVIDIA 4gb ekran kartı, 2.4ghz işlemci hızına sahip bir bilgisayarda, 1280x768 çözünürlüğe sahip bir web kamera ile çalıştırılmıştır. Siyah arka planlı bir kare görüntü için klasik yöntem 0,06sn'de sonuca ulaşırken farklı renk ve desende arka plana sahip bir kare görüntü için ise 0,04sn'de nesne tespiti yapmıştır. Yolov4 derin öğrenme algoritmasıyla yapılan teste ise her iki veri setinde de 1,06sn'de nesne tespiti yapmıştır. Burada dikkat edildiği gibi basit problemlerde klasik yöntemler çok hızlı sonuç verse de ortam değişimlerinin başarımları etkilediği görülmektedir. Bunun için daha gelişmiş görüntü işleme algoritmaları kullanılmasının gerekli olduğu, bunun başarımları arttırabileceği gibi tespit süresini de arttırabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak bu çalışmada çözülmek istenen problem basit olarak arka planı sabit tutulup çözülebileceği durumlarda klasik yöntemde oluşturulan ilk algoritmada kullanılarak hızlı bir şekilde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Problemin daha karmaşık olduğu, arka planların değişkenlik gösterebileceği durumlarda başarımleri açısından Yolov4 derin öğrenme algoritmasının tercih edilmesi daha iyi sonuçlar verecektir. Örneğin gezgin robot, insansız hava araçları gibi mobil olarak hareket halindeki robotik uygulamalarda ciddi bir problem olan bu konu, özellikle yeni geliştirilen GPU destekli gömülü kartlarla birlikte derin öğrenme algoritmalarının uygulanabilirliğinin gelişmesi ile çözüme kavuşacağı düşünülmektedir.

### **Yazarların Katkısı**

Çalışmada 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.

### **Teşekkürler**

Bu çalışma İskenderun Teknik Üniversitesinin 2021TF-01 Numaralı Bilimsel Araştırma Projesi(BAP) desteği ile yapılmıştır.

### **Kaynaklar**

- [1] İşçimen B., Atasoy H., Kutlu Y., Yıldırım S., Yıldırım E. 2015. Smart robot arm motion using computer vision. *Elektronika Ir Elektrotechnika*, 21 (6): 3-7.
- [2] İşçimen B., Atasoy H., Kutlu Y., Yıldırım S., Yıldırım E. 2014. Bilgisayar Görmesi ve Gradyan İniş Algoritması Kullanılarak Robot Kol Uygulaması. *Akıllı Sistemlerde Yenilikler Ve Uygulamaları*, Mustafa Kemal University, İskenderun, Hatay, Turkey.
- [3] Kutlu Y., Alanoglu Z., Gökçen A., Yeniad M. 2021. Raspberry pi based intelligent robot that recognizes and places puzzle objects. *arXiv preprint arXiv:2101.12584*.
- [4] Ali H., Seng T. C., Hoi L. H., Elshaikh M. 2012. Development of Vision-Based Sensor of Smart Gripper for Industrial Applications. *IEEE 8th International Colloquium on Signal Processing and its Applications*, 23-25 March, Malacca, 300-304.
- [5] Erdoğan T. 2012. Hareketli Konveyör Üzerinde Kamera Görüntüsü ile Nesne Tanıma ve Nesnelere Yerine Koyma Uygulaması. *Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir*, 1-93.
- [6] Rege S., Memane R., Phatak M., Agarwal P. 2013. 2D geometric shape and color recognition using digital image processing. *International journal of advanced research in electrical, electronics and instrumentation engineering*, 2(6): 2479-2487.
- [7] Gupta S., Singh Y. J. 2017. Shape detection using geometrical features. *An International Journal of Engineering Sciences*, 26(1): 260-270.
- [8] Zakaria M. F., Choon H. S., Suandi S. A. 2012. Object shape recognition in image for machine vision application. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 4(1): 76-80.
- [9] Aktaş A., Doğan B., Demir Ö. 2020. Derin öğrenme yöntemleri ile dokunsal parke yüzeyi tespiti. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3): 1685-1700.

- [10] Chen W., Lu S., Liu B., Li G., Qian T. 2020. Detecting citrus in orchard environment by using improved YOLOv4. Scientific Programming, 2020: 1-13.
- [11] Akgül T., Çalik N., Töreym B. U. 2020. Deep Learning-Based Fish Detection in Turbid Underwater Images. 28th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 5-7 Oct, Gaziantep, 1-4.
- [12] Kılıç B. 2020. Panorama ile Üretilen Plevral Efüzyon Sitopatoloji Görüntüleri Üzerinde Yolov3 ile Otomatik Çekirdek Algılama. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1-50.
- [13] Çağıl G., Yıldırım B. 2020. Bir montaj parçasının derin öğrenme ve görüntü işleme ile tespiti. Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi, 3(2): 31-37.
- [14] Bradski G., Kaehler A. 2008. Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media, Sebastopol, 1-580.
- [15] HSV color, 2010. HSV color solid cylinder saturation gray, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=9801673>. (Erişim Tarihi: 25.11.2020).
- [16] Bochkovskiy A. 2020. Yolo v4, v3 and v2 for Windows and Linux. <https://github.com/AlexeyAB/darknet>. (Erişim Tarihi: 15.11.2020).
- [17] Cover T. M., Hart P. E. 1967. Nearest neighbor pattern classification. IEEE Transactions on Information Theory, 13 (1): 21-27.
- [18] Yayık A., Kutlu Y. 2012. Diagnosis of Congestive Heart Failure Using Poincare Map Plot. 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), 18 - 20 April, Muğla, 1-4.

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## **Bir Akış Alanı İçerisine Sıralı Şekilde Yerleştirilen İki Silindir Arasındaki Mesafenin Alt Akış Bölgesindeki Silindire Olan Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi**

Doğan Burak SAYDAM<sup>1,2\*</sup>, Coşkun ÖZALP<sup>1</sup>, Cemre POLAT<sup>3</sup>, Ertaç HÜRDOĞAN<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Osmaniye*

<sup>2</sup>*Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Enerji Eğitim-Etüt Uygulama ve Araştırma Merkezi, Osmaniye*

<sup>3</sup>*Düziçi Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Makine Teknolojisi Bölümü, Osmaniye*

(ORCID: [0000-0001-8453-2917](https://orcid.org/0000-0001-8453-2917)) (ORCID: [0000-0003-2249-7268](https://orcid.org/0000-0003-2249-7268)) (ORCID: [0000-0002-7001-1042](https://orcid.org/0000-0002-7001-1042))  
(ORCID: [0000-0003-1054-9964](https://orcid.org/0000-0003-1054-9964))

### **Öz**

Bu çalışmada, bir akış alanı içerisine sıralı şekilde yerleştirilen iki silindir (kontrol silindiri ve ısıtılan silindir) arasındaki mesafenin alt akış bölgesindeki ısıtılan silindir etrafındaki ısı transferine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Isıtılan silindir alüminyumdan imal edilmiş olup, içerisine elektrikli rezistans yerleştirilerek silindir yüzeyinin ısıtılması sağlanmıştır. Çalışmada öncelikle, silindir yüzeyinde sabit sıcaklık elde etmek ve ölçümleri gerçekleştirmek için bir sıcaklık ölçüm ve kontrol sistemi tasarlanmış ve test edilmiştir. İlk ölçümlerin değerlendirilebilmesi amacıyla tek silindir (ısıtılmış silindir) için farklı Reynolds (Re) sayılarında silindir etrafındaki değişimler incelenmiştir. Daha sonra Re=2700 için pasif akış kontrolü sağlamak amacı ile ısıtılan silindirin üst akış bölgesine farklı mesafelerde (L/D oranı) bir kontrol silindiri yerleştirilerek silindir çevresindeki ısı transferi incelenmiştir. Farklı Re sayılarında yapılan deneylerden, Nusselt (Nu) sayısının akışa bağlı olarak silindir çevresi boyunca değişim gösterdiği ayrıca Re sayısının artması ile silindir çevresindeki akış yapısındaki düzensizliklerden kaynaklı olarak silindir yüzeyindeki sıcaklıkların düştüğü ve dolayısıyla Nu sayısının arttığı görülmüştür. Silindirler arasındaki L/D oranının artması ile kontrol silindirinin etkisinin azaldığı görülmüş ve Re=2700 için ısı transferi açısından optimum oranın L/D=2.0 olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Pasif akış kontrolü, Isı geçişi, Dairesel silindir, Açık su kanalı.

## **Experimental Investigation of the Effect of the Distance Between Two Cylinders Placed in Line in the Flow Area on the Cylinder in the Downstream Region**

### **Abstract**

In this study, the effect of the distance between two cylinders (control cylinder and heated cylinder) placed sequentially in a fluid flow on the heat transfer around the heated cylinder in the downstream region was investigated experimentally. The heated cylinder is made of aluminum, and the surface of the cylinder is heated by placing an electrical resistance inside. In the study, first, a temperature measurement and control system were designed and tested to obtain a constant temperature on the cylinder surface and to perform measurements. To evaluate the first measurements, the changes around the cylinder at different Reynolds (Re) numbers for a single cylinder were examined. Then, to provide passive flow control for Re = 2700, a control cylinder at different distance (L/D ratio) was placed in the upper flow area of the heated cylinder and the heat transfer around the cylinder was examined. It was determined from the experiments made with different Re numbers that the Nusselt (Nu) number changes along the circumference of the cylinder depending on the flow. In addition, it was observed that the temperature on the cylinder surface decreased due to the irregularities in the flow structure around the cylinder with the increase in the Re number and thus the Nu number increased. It was also observed that the effect of the control cylinder decreased with the increase of the L/D ratio between the cylinders, and it was determined that the optimum ratio for Re = 2700 in terms of heat transfer was L/D = 2.0.

\*Sorumlu yazar: [doganburaksaydam@osmaniye.edu.tr](mailto:doganburaksaydam@osmaniye.edu.tr)

Geliş Tarihi: 28.04.2021, Kabul Tarihi: 18.10.2021

**Keywords:** Passive flow control, Heat transfer, Circular cylinder, Open water channel.

## 1. Giriş

Akış ayrılması ve girdap atma gibi kararsız akış özellikleri, daldırılmış cisimler üzerinde akustik gürültü, yapısal titreşimler ve rezonans gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkarmakta ve aynı zamanda cisme etki eden sürüklenme ve kaldırma kuvvetlerinde düzensizlikler meydana getirmektedir. Bu etkilerin ortadan kaldırılması veya sıklığının azaltılması, akış ayrılma noktasının ötelenmesi veya bastırılması, cisimler etrafındaki akışın kontrolü ile sağlanmaktadır [1–3]. Akış kontrol yöntemleri hem iç hem de dış akışlarda istenen hedeflere ulaşmak için mühendisler, bilim adamları ve ürün geliştiriciler için güçlü bir araçtır [4]. Bir akış alanının kontrol edilmesinin aerodinamik tasarımlara büyük faydası vardır. Verimli akış kontrol sistemleri, kara taşıtlarının, deniz taşıtlarının, uçakların, otomobillerin, yüksek katlı binaların, köprülerin vb. birçok cismin performansını artırabilmekte, aynı zamanda verimli tasarımlar neticesinde tasarruf sağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra daha ekonomik, çevreye uyumlu ve rekabetçi endüstriyel üretim süreci elde edilebilmektedir [5]. Akış kontrolü araştırmaları, 1904'te sınır tabaka teorisi ile tanınan Prandtl'a kadar uzanmaktadır. İkinci Dünya Savaşı ve soğuk savaş döneminde, askeri talep nedeniyle akış kontrolü kapsamlı bir şekilde incelenmiş ve bu dönemden sonra da daha fazla dikkat çekmiştir [6]. Akış kontrol yöntemleri kontrol mekanizmasının enerji harcamasına bağlı olarak, pasif akış kontrolü ve aktif akış kontrolü yöntemi olarak sınıflandırılabilir. Pasif kontrol yöntemlerinde enerji gereksinimi olmadan cisim ya da akış alanı içerisinde yapısal değişiklikler yapılarak, aktif kontrol yönteminde ise ana akışa dışarıdan farklı yöntemler ile enerji verilerek cisim etrafında oluşan girdapları kontrol etmek hedeflenmektedir [7, 8].

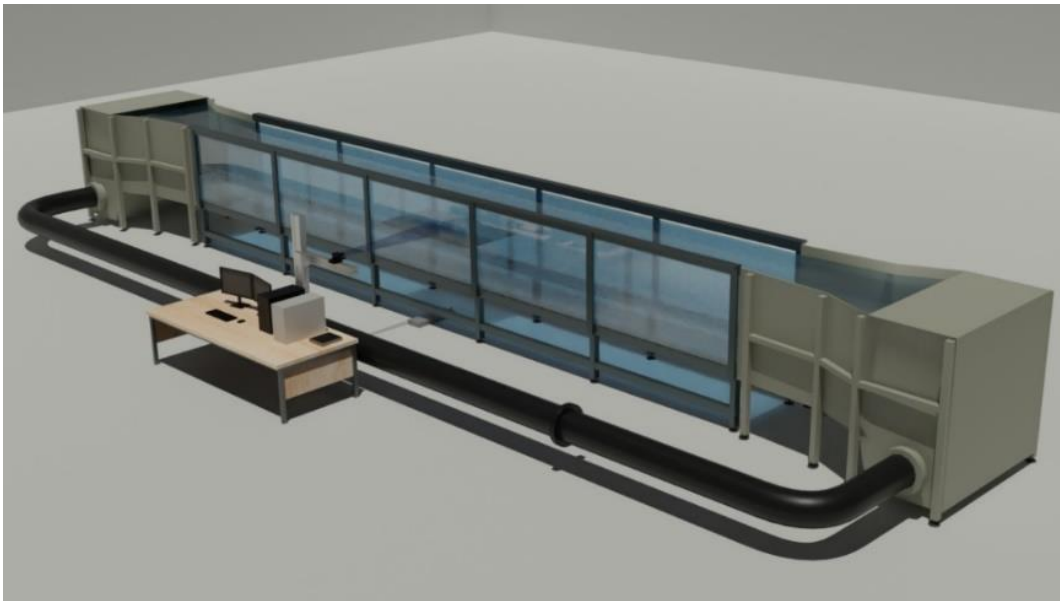
Akış içerisinde daldırılmış dairesel cisimler etrafındaki akış yapısı ve ısı geçişi teorik ve pratik mühendislik uygulamaları ile doğrudan ilişkilidir [2]. Isı geçişinin belirlenmesi, özellikle yüzeye erişimin her zaman mümkün olmadığı yanma odaları, endüstriyel kazanlar, döküm uygulamaları, ayrıca binaların termal yönetimi, havacılık mühendisliği gibi farklı teknoloji ve mühendislik uygulamalarında büyük öneme sahiptir. Ayrıca malzeme yüzey sıcaklığının doğru ölçümü, özellikle yüksek sıcaklık uygulamalarında hayati bir rol oynamaktadır [9, 11].

Literatürde cisimlerin akış yapısının ve ısı geçişinin farklı yöntemler ile incelendiği pek çok farklı çalışma görmek mümkündür. Dipanakar vd. [12], düşük Reynolds sayılarında silindir arkasındaki vorteks kopmalarının, silindirin arkasına başka bir silindir yerleştirilerek kontrol edilebilmesini incelemişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar kontrol silindirinin girdap kopmalarının bastırılmasına ve girdap dökülme sıklığının azaltılmasına bunun da sürüklenme kuvvetinin azalmasına neden olduğu göstermişlerdir. Al-Mdallal ve Mahfouz [13], çapraz akışta, dairesel hareket gerçekleştiren bir silindirin ve ısıtılmış dönmeyen dairesel silindirin zorlanmış konveksiyon ile ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Yazarlar, yüksek Reynolds (Re) sayısı, dairesel hareketin genliği ve frekans oranı aralığında ısı transferinin önemli ölçüde arttığını göstermişlerdir. Gao vd. [14], farklı çaplarda tandem sıralı iki dairesel silindirin etrafındaki akış yapısının farklı L/D oranlarında ve farklı Reynolds sayılarında Parçacık Görüntü Hız Ölçümü (PIV) tekniği kullanarak incelemişlerdir. Çalışmada ayrıca Reynolds sayısının ve merkezden merkeze boşluk oranının (L/D), akış yapısı ve türbülans özellikleri üzerindeki etkileri de incelenmiştir. Yazarlar, çap oranının, farklı L/D oranlarında akış modelleri üzerinde belirli bir etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Lin vd. [15], art arda yerleştirilen iki silindirin akış yapısını, anlık ve ortalama hız, vortisite ve Reynolds stresi modellerine bağlı olarak PIV tekniği ile incelemişlerdir. Çalışmada, silindirlerin akış yapısının silindirlerin arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak değiştiği tespit edilmiş ayrıca silindirin alt akış alanı içerisinde başka bir silindir yerleştirilmesinin, girdap dökülmesinin sıklığını ve akış yapısını, tek bir silindirin kullanılması durumuna göre büyük ölçüde değiştiğini göstermişlerdir. Paramane ve Sharma [16], farklı Reynolds sayılarında (20-160) ve Prandtl sayısı 0.7 için, serbest akış içerisinde ve dönen bir silindir boyunca eşit ısı akışı verilerek zorlanmış taşınım ısı transferini sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda araştırmacılar, silindirin döndürülmesinin sadece akışın kontrolü için değil, aynı zamanda silindir yüzey sıcaklığının iyileştirilmesinde de etkili olarak kullanılabilir olduğunu göstermişlerdir. Khanafer ve Aithal [17], kavite içerisinde döner bir silindiri, ısı transferinin iki önemli parametresi (Richardson sayısı, silindirin boyutsuz açılma hızı) için sayısal olarak analiz etmişlerdir. Araştırmacılar ortalama Nusselt sayısının, farklı Richardson sayıları için silindirin saat yönünde dönmesi ile açılma hızda meydana gelen artışla doğru orantılı bir şekilde arttığını göstermişlerdir.

Literatürde, farklı kontrol yöntemleri kullanılarak silindirler etrafındaki akış yapısının kontrol edilmesi ile ilgili fazlasıyla çalışma olmasına karşın silindir etrafındaki ısı geçişinin deneysel olarak incelendiği kısıtlı çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmada sıralı şekilde yerleştirilen iki silindir arasındaki mesafenin alt akış bölgesindeki ısıtılan silindire olan etkisinin deneysel olarak incelenmesi hedeflenmiştir. Makale kapsamında yapılan çalışmalar, bir su kanalı içerisine daldırılmış küt cisimler için yüzeyden sıcaklık ölçüm sistemi tasarımı ve uygulaması için gerekli deneysel destekleri sağlayacaktır. Çalışma bu yönüyle özellikle su kanalı içerisinde yüzeyden sıcaklık ölçümü yapılacak uygulamalara hem bir örnek hem de referans olmayı hedeflemektedir.

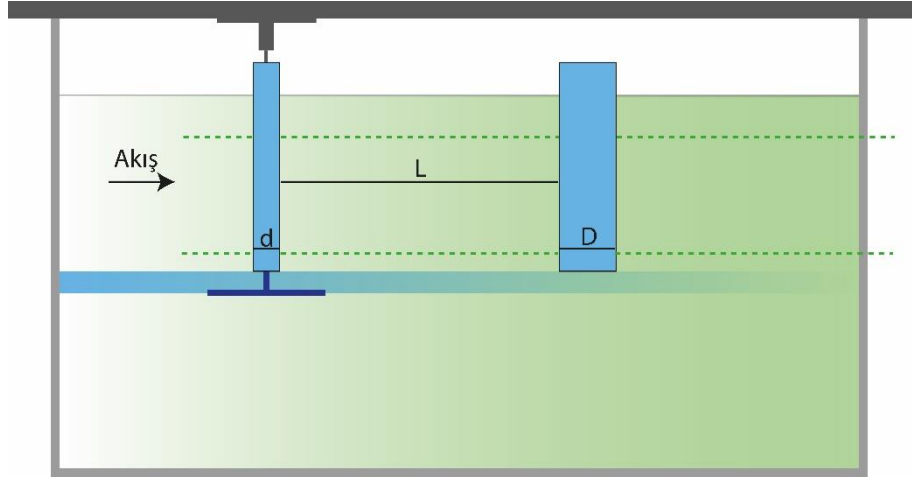
## 2. Materyal ve Metot

Deneyler Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi İleri Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan, kapalı çevrim açık su kanalında gerçekleştirilmiştir. Kanalın şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Su kanalı, iki adet devir kontrolüne sahip (farklı Re sayılarında deneyler gerçekleştirebilmek için) aksenal pompa, iki adet toplama tankı, bir adet bal peteği desenli ve ızgaralı akış düzenleyici bileşenlerine sahiptir. Su kanalı tanklarla birlikte 15 m uzunluğa, 1.8 m yüksekliğe ve akış ölçümlerinin yapıldığı bölümde 1 m genişliğe sahiptir. Akış, test odasına girmeden önce, bir akış çökeltme deposundan, bir bal peteğinden ve 2:1 oranında bir daralmadan geçmekte ve akışın tam gelişmiş olması sağlanmaktadır. Şekil 2-a'da üst akış bölgesinde yer alan kontrol silindiri ile ısıtılacak silindirin ve masa üzerinde konumlandırılması için yapılan tasarımın teknik çizimi yer almaktadır. Şekil 2-b'de ise sıcaklık ölçüm sistemi ve akış kontrolü için tasarlanan sistemin, kurulurken yapılan örnek testlerine ait gerçek görseli yer almaktadır. Isıtılan silindir, iletimle olan ısı geçişinin yüksek olması için ısı iletim katsayısı, plastik esaslı malzemelere göre yüksek olan alüminyum malzemeden yüzeyi pürüzsüz olacak şekilde imal edilmiştir (Şekil 2-b). Silindir içerisine bir fişek rezistans yerleştirilerek silindir yüzeyinin ısıtılması sağlanmıştır. Silindir yüzeyinden merkeze  $45^\circ$  lik açılar ( $\theta$ ) ile sekiz farklı noktadan ısı eleman çiftleri yerleştirilerek sıcaklık ölçüm deneyleri yapılmıştır. Deney düzeneğinde, yüzey sıcaklıklarının istenilen değerde sabit tutulabilmesi için gerilimin ayarlandığı bir varyak sistemi ayrıca tüm kontrollerin ve sıcaklık ölçümlerinin anlık olarak izlendiği ve kaydedildiği bir Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi (SCADA) kullanılmıştır. Şekil 3'te sıcaklık kontrol ve ölçüm sistemine ait donanım yapısının akış şeması yer almaktadır. Sistem ana bilgisayar, güç kaynağı, elektrikli ısıtıcı, hareket kontrolcüsü ve tüm sistemin kontrol ve haberleşmesini sağlayan Programlanabilir Mantıksal Denetleyici (PLC) sisteminden oluşmaktadır. Kontrol bilgisayarı üzerinden kullanıcı tarafından girilen veriler (Gerilim (V), Devir (devir/dk), vb.), kontrol sistemlerine iletilmekte ve sensörler vasıtasıyla ölçüm yapılmaktadır. Ölçülen ve hesaplanan veriler ise SCADA sistemi üzerinden bilgisayar ekranına yansımakta ve eş zamanlı olarak rapor halinde yine bilgisayara kaydedilmektedir.

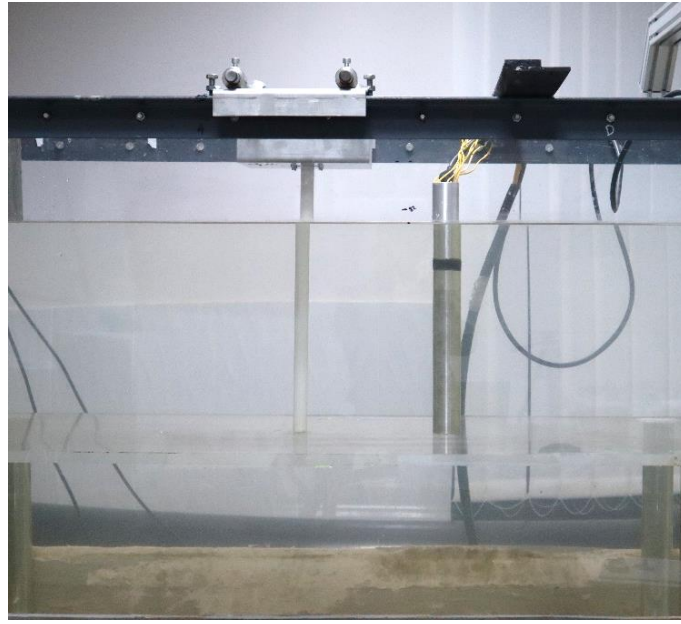


Şekil 1. Kapalı devre açık su kanalının şematik gösterimi [18]



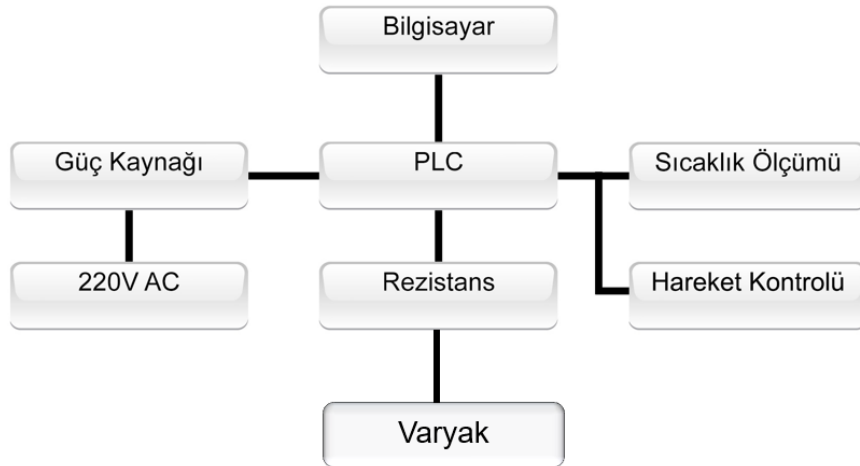


(a)



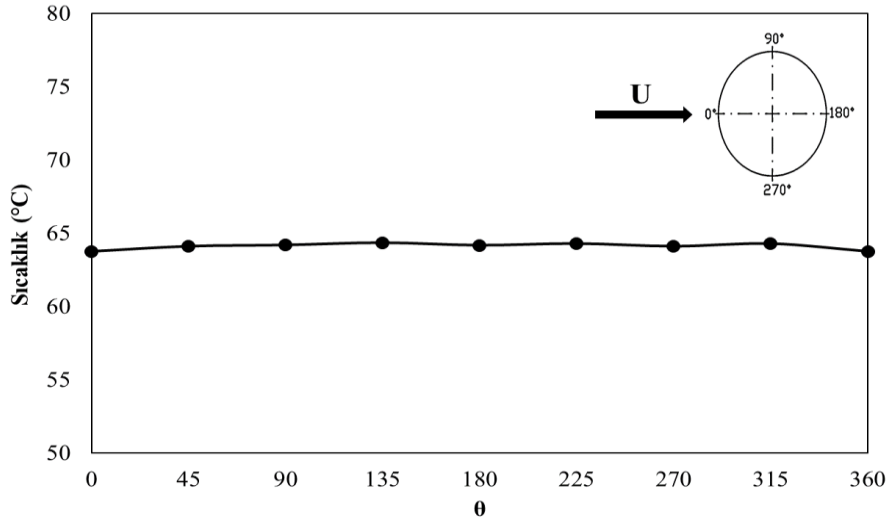
(b)

Şekil 2. Kanal içerisinde konumlandırılan silindirlerin (a) şematik gösterimi ve (b) kanal içerisindeki görseli [19]



Şekil 3. Sıcaklık kontrol ve ölçüm sistemine ait donanım yapısının akış şeması

Çalışmada sıcaklık ölçümlerinde kullanılacak ısı eleman çiftlerinin kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon çalışmalarında, referans sıcaklık tespiti için Türk Akreditasyon Kurumu (TÜRKAK) standartlarına göre yapılmış güncel kalibrasyon sertifikasına sahip TESTO marka 435 model numaralı sıcaklık ölçüm cihazı kullanılmıştır. Silindir etrafındaki sıcaklık değişiminin ölçümünde kullanılacak ısı eleman çiftlerinin kalibrasyonu farklı sıcaklıklar için yapılmıştır. Kalibrasyon yapabilmek için oluşturulan kalibrasyon düzeneği (su banyosu) içerisine farklı sıcaklıklarda (buzlu su, sıcak su, soğuk/sıcak su karışımı) akışkan gönderilerek kalibrasyon çalışmaları için gerekli farklı sıcaklık değerleri elde edilmiştir. Kalibrasyon sonucunda her bir ölçüm noktası için oluşturulan eğrilerden elde edilen denklem ile ölçülen sıcaklık değerleri kalibre edilmiştir [19]. Deneyle geçilmeden önce kurulan deney düzeneğinin ve ölçüm sisteminin test edilmesi amacıyla belirli bir ısı akısında durgun kanalda ısıtılan silindir yüzeyindeki sıcaklıkların değişimi incelenmiştir (Şekil 4). Silindir etrafındaki farklı açılara karşılık gelen sıcaklık değişimleri incelendiğinde, silindir yüzeyinde homojen bir sıcaklık dağılımı olduğu görülmektedir. Çalışmada ölçülen parametreler sonucunda hesaplamaları yapılacak olan değerler için belirsizlik analizi yapılmıştır. Belirsizlik analizi Holman tarafından önerilen metot kullanılarak gerçekleştirilmiştir [20]. Yapılan analiz sonucunda Nusselt sayısı için belirsizlik değeri %3,75 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Durgun kanalda ısıtılan silindir için Sıcaklık-Açı grafiği

Isı transferi için gerekli olan hesaplamaları yapabilmek için öncelikle ısıtıcıya verilen birim alandaki (A) ısı akısının ( $\dot{q}$ ) hesaplanması gerekmektedir.  $\dot{q}$  değeri, Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmıştır [21, 22].

$$\dot{q} = \frac{V \cdot I}{\pi DL} = \frac{P}{\pi DL} \quad (1)$$

$$\dot{q} = h \Delta T \quad (2)$$

Burada V gerilim (V), I akım (A), P rezistans gücü (W), h ısı transfer katsayısı ( $W/m^2K$ ), A silindir alanı ( $m^2$ ),  $\Delta T$  sıcaklık farkı ( $^{\circ}C$ ), D silindir çapı (m), L ise silindirin uzunluğunu (m) ifade etmektedir. Isı transfer katsayısı ise Eşitlik 3 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$h = \frac{\dot{q}}{(\pi DL)(T_y - T_{su})} \quad (3)$$



Burada,  $T_y$  silindir dış yüzey sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{su}$  su sıcaklığıdır ( $^{\circ}\text{C}$ ). Nu sayısı için, Eşitlik 4 kullanılmaktadır.

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (4)$$

Burada k suyun ısı iletim katsayısıdır (W/m.K). Reynolds sayısı ise atalet kuvvetlerin viskoz kuvvetlere oranı olarak Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmıştır.

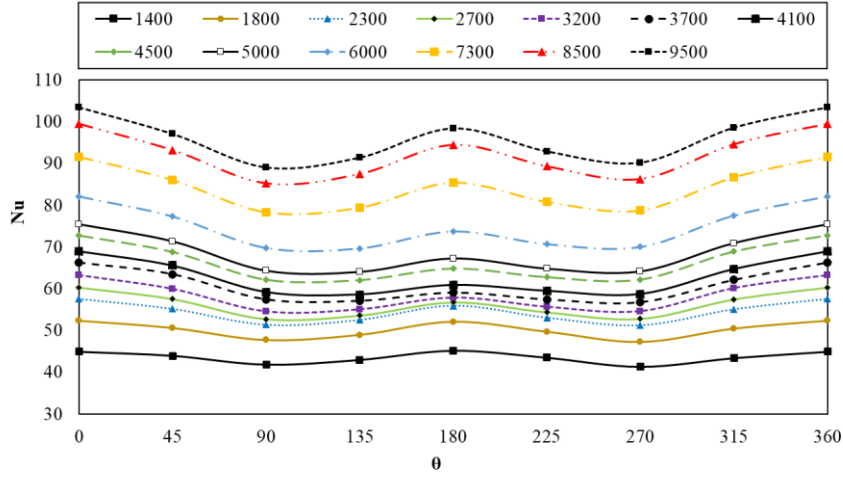
$$Re = \frac{\rho UD}{\mu} \quad (5)$$

Burada  $\rho$  akışkanın yoğunluğunu ( $\text{kg/m}^3$ ), U akış hızını (m/s) ve  $\mu$  akışkanın dinamik viskozitesini ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ) ifade etmektedir.

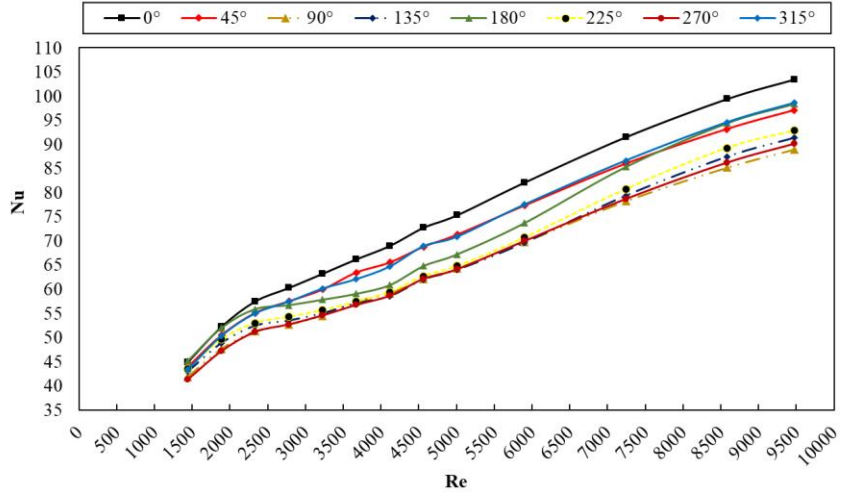
### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında, ısıtılan bir silindir etrafındaki Nu dağılımı ve pasif akış kontrol yönteminin ısı geçişine etkisi incelenmiştir. Tek silindir etrafındaki ısı geçişi öncelikle farklı Re sayıları için incelenmiştir. Şekil 5'te farklı Re sayılarında Nu-Açı grafiği yer almaktadır. Grafik incelendiğinde, Re sayısı arttıkça (kanaldaki su hızının artması ile artmakta) Nu değerlerinin arttığı dolayısıyla ısı geçişinin iyileştiği görülmektedir. Şekillerden ayrıca,  $45^{\circ}$ - $135^{\circ}$  ve  $225^{\circ}$ - $315^{\circ}$  açılara karşılık gelen ölçüm noktasında akış ayrılmasının başladığı ve bu noktalarda sıcaklık artışı ile Nu değerlerinin düştüğü görülmüştür. Şekil 6'da silindir etrafında ölçüm alınan her bir açı ( $0^{\circ}$ - $45^{\circ}$ - $90^{\circ}$ - $135^{\circ}$ -  $180^{\circ}$ - $225^{\circ}$ - $270^{\circ}$ - $315^{\circ}$ - $360^{\circ}$ ) için Nu'nun Re ile değişimi verilmiştir. Grafik incelendiğinde her açıda Re sayısının artması ile Nu sayısının arttığı görülmektedir. Re sayısı arttıkça Nu değerlerinin arttığı dolayısıyla ısı geçişinin iyileştiği görülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde de Reynolds sayısının artması ile Nusselt sayısının arttığı görülmektedir. Bu durum Nusselt sayısındaki değişimin Reynolds sayısı değişimlerinden güçlü bir şekilde etkilendiğini göstermektedir [13,23].

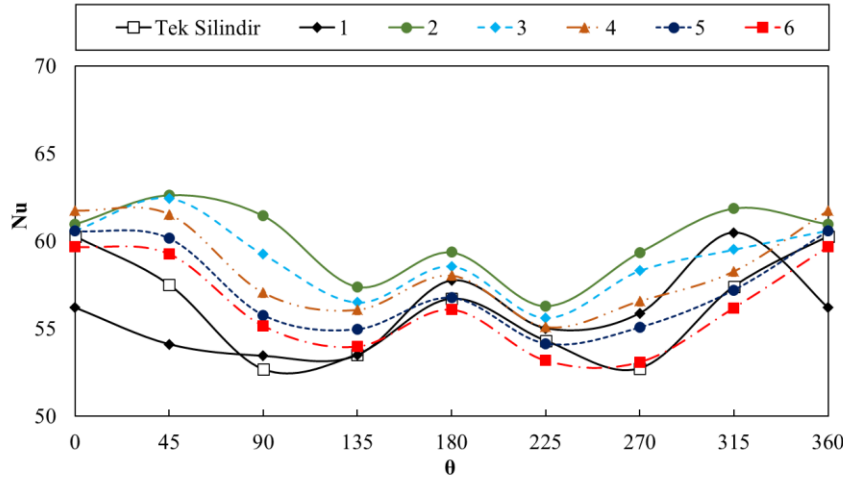
Çalışmada pasif akış kontrolü sağlamak amacı ile ısıtılan silindirin üst akış bölgesine farklı oranlarda (L/D) bir kontrol silindiri yerleştirilerek silindir çevresindeki ısı transferi incelenmiştir.  $Re=2700$  için gerçekleştirilen deneylerde su sıcaklığı  $23^{\circ}\text{C}$ 'dir. Şekil 7'de farklı L/D oranında Nu-Açı değişimi grafiği yer almaktadır. Nu sayısı, silindirin ön durma noktasından ( $0^{\circ}$ ), termal sınır tabaka ayrılma noktasına ( $90^{\circ}$ - $110^{\circ}$ ) kadar azalmakta, termal sınır tabaka noktasına ulaşıldığında ise Nu minimum değere düşmektedir. Bu durum termal sınır tabakasının devamlı artması ile ilgili bölgede (tek silindir  $90^{\circ}$ - $110^{\circ}$  ve kontrol silindirinin kullanılması durumunda  $135^{\circ}$  ve  $225^{\circ}$ ) bir termal direncin meydana gelmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca silindirin arka noktasında yer alan  $180^{\circ}$  açısına sahip ölçüm noktasında da akış ayrılması sonucunda oluşan ölü akış bölgesinden kaynaklı sıcaklık değerlerinde bir azalma dolayısıyla Nu değerinde artma meydana gelmektedir. Silindirin arka bölgesinde Reynolds sayısının Nusselt sayısı üzerindeki etkisinin göreceli olarak ön bölgeye göre daha küçük olduğunu göstermektedir. Ayrıca üst akış bölgesinde yer alan kontrol silindiri, alt akış bölgesindeki ısıtılan silindirin akış yapısını silindirin sağ tarafına göre daha baskın bir yapıya getirmekte ve bu durumda ısı geçişine yansımaktadır. Özellikle L/D oranları içerisinde akış ve sıcaklık kontrolünde daha az etkisi olan L/D=1 için bu durum daha da belirgin bir hal almaktadır ve tek silindirde elde edilen simetrik yapı bozulmaktadır. Özellikle literatürde ısıtılan silindir etrafındaki ısı geçişi ile ilgili kısıtlı olan deneysel çalışmalarda da art arda yerleştirilen ikinci silindirde benzer durumlar görülmektedir [24,25]. Şekil 8'de farklı açılar için Nu'nun L/D ile değişimi verilmiştir. Kontrol silindirinin ısıtılan silindirin üst akış bölgesinde kullanılması akış ayrılma noktasını öteleyerek, silindir alt akış noktasındaki ölü akış bölgesini daraltmıştır. Şekillerden iki silindir arasındaki L/D mesafesinin artması ile kontrol silindirinin etkisinin azaldığı görülmektedir.  $Re=2700$  için optimum L/D oranının 2 olduğu görülmüştür.



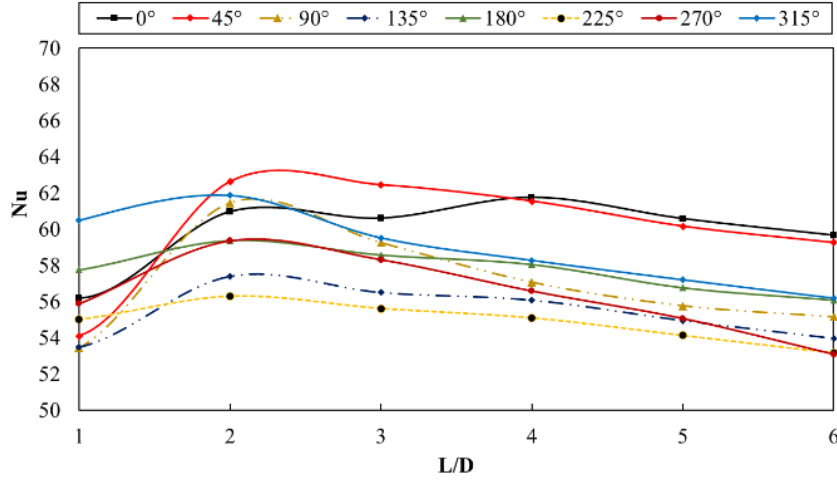
Şekil 5. Farklı Re sayılarında ısıtılan silindir için Nu-Açı grafiği



Şekil 6. Silindir etrafında sıcaklık ölçümü yapılan farklı açılar için Nu-Re grafiği



Şekil 7. Re=2700 için farklı L/D oranında Nu-Açı değişimi



Şekil 8. Re=2700'de farklı açılar için Nu-L/D değişimi

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, öncelikle sabit tek silindir (ana) etrafındaki ısı geçişi ve daha sonra ana silindirin üst akış bölgesinde bir kontrol silindirin kullanılması, alt akış bölgesinde bulunan ısıtılmış sabit bir silindirin etrafındaki ısı geçişine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Tek silindir için yapılan deneylerde Re sayısının artması ile Nu değerinin arttığı, dolayısıyla ısı geçişinin iyileştiği görülmüştür. Üst akış bölgesinde bulunan akış kontrol silindirin, alt akış bölgesine yerleştirilmiş olan ısıtılmış bir silindir etrafındaki ısı geçişi Re=2700'de farklı L/D oranlarında incelenmiş ve L/D=2.0 oranının, ısı geçişi açısından diğer L/D oranlarına göre daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (OKÜBAP) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından sırasıyla OKÜBAP-2019-PT3-021 ve TÜBİTAK-218M357 adlı proje kapsamında desteklenmiştir. OKÜBAP ve TÜBİTAK'a desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Semboller ve Kısaltmalar

A	Alan	(m <sup>2</sup> )
d	Kontrol silindir çapı	(mm)
D	Isıtılan silindir çapı	(mm)
h	Isı transfer katsayısı	(Wm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> )
I	Akım	(Amper)

k	Isı iletim katsayısı	(W m <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
L	Uzunluk	(m)
Nu	Nusselt sayısı	-
P	Güç	(W)
Re	Reynolds sayısı	-
T	Sıcaklık	°C
t	Zaman	s
V	Gerilim	(Volt)
U	Serbest akış hızı	(m/s)
$\dot{q}$	Isı akısı	(W/m <sup>2</sup> )

### Yunan Sembolleri

$\theta$	Açı	(°)
$\rho$	Akışkanın yoğunluğu	(kg/m <sup>3</sup> )
$\mu$	Dinamik viskozite	(Pa·s)

### Alt indisler

su	Su sıcaklığı	(°C)
y	Yüzey sıcaklığı	(°C)

### Kaynaklar

- [1] Zhang X., Choi K., Huang Y., Li H. 2019. Flow control over a circular cylinder using virtual moving surface boundary layer control. *Experiments in Fluids*, 60 (6): 1-15.
- [2] Shams-Ul-Islam., Manzoor R., Khan U., Nazeer G., Hassan S. 2018. Drag reduction on a square cylinder using multiple detached control cylinders. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22 (5): 2023-2034.
- [3] Karasu İ. 2020. Flow control over a diamond-shaped cylinder using slits. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 112: 109992.
- [4] Firat E., Ozkan G.M., Akilli H. 2017. PIV measurements in the near wakes of hollow cylinders with holes. *Experiments in Fluids*, 58 (5): 39.
- [5] Wang L., Luo Z., Xia Z., Liu B., Deng X. 2012. Review of actuators for high speed active flow control. *Science China Technological Sciences*, 55 (8): 2225-2240.
- [6] Gad-el-Hak M. 2000. *Flow Control: Passive, Active and Reactive Flow Management*. Cambridge University Press, New York, 1-421.
- [7] Oruç V., Akilli H., Sahin B. 2016. PIV measurements on the passive control of flow past a circular cylinder. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 70: 283-291.
- [8] Feng J., Lin Y., Zhu G., Luo X. 2019. Effect of synthetic jet parameters on flow control of an aerofoil at high reynolds number. *Sādhanā*, 44 (8): 1-10.
- [9] Amiri S., Taher R., Mongeau L.G. 2014. Experimental study of the oscillatory velocity and temperature near a heated circular cylinder in an acoustic standing wave. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 69: 464-472.
- [10] Cebula A., Taler J., Ocloń, P. 2018. Heat flux and temperature determination in a cylindrical element with the use of finite volume finite element method. *International Journal of Thermal Sciences*, 127: 142-157.
- [11] An B. L., Qu Y., Song X. Y., Dong W., Yuan Z. D., Zhao Y. L., Levick A. 2021. On surface temperature measurement of low emittance artefact coating by active infrared laser radiation thermometry. *Infrared Physics & Technology*, 115: 103696.

- [12] Dipankar A., Sengupta T. K., Talla S. B. 2007. suppression of vortex shedding behind a circular cylinder by another control cylinder at low reynolds numbers. *Journal of Fluid Mechanics*, 573: 171.
- [13] Al-Mdallal Q.M., Mahfouz F.M. 2017. Heat transfer from a heated non-rotating cylinder performing circular motion in a uniform stream. *Int J Heat Mass Transf*, 112: 147–157.
- [14] Gao Y., Etienne S., Wang X., Tan S.K. 2014. Experimental study on the flow around two tandem cylinders with unequal diameters. *Journal of Ocean University of China*, 13 (5): 761–770.
- [15] Lin J.C., Yang Y., Rockwell D. 2002. Flow past two cylinders in tandem: instantaneous and averaged flow structure. *Journal of Fluids and Structures*, 16 (8): 1059–1071.
- [16] Paramane S.B., Sharma A. 2010. Heat and fluid flow across a rotating cylinder dissipating uniform heat flux in 2d laminar flow regime. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53 (21-22): 4672-4683.
- [17] Khanafer K., Aithal S. M. 2017. Mixed convection heat transfer in a lid-driven cavity with a rotating circular cylinder. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 86: 131-142.
- [18] Özalp C., Polat C., Saydam D. B., Söyler M. Dye injection flow visualization around a rotating circular cylinder. *European Mechanical Science*, 4 (4): 185-189.
- [19] Saydam D.B. 2020. Aktif Akış Kontrol Tekniği Uygulanan Bir Silindir Etrafında Sıcaklık ve Hız Dağılımlarının Deneysel Olarak İncelenmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Osmaniye, 1-163.
- [20] Holman J.P. 2001. *Experimental Methods for Engineers*. McGraw Hill, New York, 1-741.
- [21] Cengel Y., Boles M. 2010. *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw Hill, New York, 1-1024.
- [22] Kamel M.S., Lezsovits F. 2020. Enhancement of pool boiling heat transfer performance using dilute cerium oxide/water nanofluid: an experimental investigation. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 114: 104587.
- [23] Alnak, D. E., Varol, Y., Firat, M., Oztop, H. F., Ozalp, C. 2019. Experimental and numerical investigation of impinged water jet effects on heated cylinders for convective heat transfer. *International Journal of Thermal Sciences*, 135, 493-508.
- [24] Wang, X., Qi, D., Li, T., Lin, M., Ke, H., Zeng, M., Wang, Q. 2020. Heat transfer characteristics of nonuniform flow around a circular cylinder in a t-junction duct. *Journal of Heat Transfer*, 142(10), 104502.
- [25] Sanitjai, S., Goldstein, R. J. 2004. Heat transfer from a circular cylinder to mixtures of water and ethylene glycol. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(22), 4785-4794.

---

Research Article

---

## Effect of Reduction Temperature and Time on The Reduction of Graphene Oxide with White Cabbage Extract

Nurşah KÜTÜK<sup>1\*</sup>, Sevil CETINKAYA GÜRER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Cumhuriyet University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, Sivas, Turkey  
(ORCID: [0000-0001-5799-3865](https://orcid.org/0000-0001-5799-3865)) (ORCID: [0000-0001-5421-0474](https://orcid.org/0000-0001-5421-0474))

---

### Abstract

Graphene is an important material that has attracted attention in recent years due to its large surface area, mechanical strength, thermal, electrical and magnetic properties. In this work, reduced graphene oxide (RGO) was obtained by reducing the graphene oxide (GO) with green synthesis. For this purpose, white cabbage aqueous extract was selected to reduce GO. The total phenolic acids, which are the reducing agent in the extract, were determined according to the Folin-Ciocalteu method. It was determined that there is 0.064 grams of polyphenols in 1 mL of white cabbage extract. In order to determine the reduction experimental conditions, a reduction temperature of 25, 50 and 100 °C and 1, 2, 4 and 6 hours of reduction time were studied. Structural characterization of synthesized RGOs was performed with XRD, FTIR and SEM techniques. The results showed that GO was reduced at a reduction reaction temperature of 100 °C and a reduction reaction time of 6 hours. The peak seen at 22.08° in the XRD data is evidence of reduction of GO.

**Keywords:** Reduced graphene oxide, Green synthesis, White cabbage, Polyphenol

---

## Beyaz Lahana Özütü ile Grafen Oksitin İndirgenmesi Üzerinde İndirgeme Sıcaklığı ve Süresinin Etkisi

### Öz

Grafen, geniş yüzey alanı, mekanik dayanımı, ısı, elektriksel ve manyetik özellikleri nedeniyle son yıllarda dikkatleri üzerine çeken önemli bir malzemedir. Bu çalışmada grafen oksitin (GO) yeşil sentezle indirgenmesi ile indirgenmiş grafen oksit (RGO) elde edilmiştir. Bu amaçla, GO'yu indirgemek için beyaz lahana sulu özütü seçildi. Özütteki indirgeyici ajan olan toplam fenolik asitler Folin-Ciocalteu yöntemine göre belirlendi. 1 mL beyaz lahana özütünde 0.064 gram polifenol olduğu tespit edildi. İndirgeme deney koşullarını belirlemek için 25, 50 ve 100 °C indirgeme sıcaklığı ve 1, 2, 4 ve 6 saatlik indirgeme sürelerinde çalışılmıştır. Sentezlenen RGO'ların yapısal karakterizasyonu XRD, FTIR ve SEM teknikleri ile yapıldı. Sonuçlar 100 °C indirgeme reaksiyonu sıcaklığında ve 6 saat indirgeme reaksiyonu süresinde GO'nun indirgenmiş olduğunu göstermiştir. XRD verilerinde 22.08°de görülen pik GO'nun indirgenmiş olduğunu kanıtlar.

**Anahtar kelimeler:** İndirgenmiş grafen oksit, Yeşil sentez, Beyaz lahana, Polifenol

---

### 1. Introduction

Graphite, which is formed by the overlapping of graphene sheets with strong  $\pi$ - $\pi$  interaction, is a common and inexpensive source [1]. Graphene is a material that attracts science and industry due to its many unique properties such as strength, large surface area, high thermal conductivity, hydrophobic structure and electronic, catalytic, magnetic properties [2, 3]. Thanks to these properties, graphene is used in many different sectors such as medicine and energy [3]. The unique properties of graphene are due to the  $\pi$  electrons in the C=C bond [1]. It has a two-dimensional (2D) sheet of  $sp^2$  carbon atoms and very thin structure [4-7]. It is thought that graphene has an electron mobility of more than 15000  $cm^2V^{-1}s^{-1}$ .

---

\*Corresponding author: [nursahkutuk@hotmail.com](mailto:nursahkutuk@hotmail.com)

Received: 01.05.2021, Accepted: 20.08.2021

$1\text{S}^{-1}$  at room temperature and a thermal conductivity of around  $5000\text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  and surface area is  $2630\text{ m}^2/\text{g}$  [8]. Some of the graphene synthesis methods are the top-down approach, micromechanical cleavage, solvothermal reduction, chemical reduction, laser irradiation, liquid phase exfoliation, and the reduction of graphene oxide with chemical or vegetable agents [9, 10]. Graphene oxide is a graphene allotrope similar to graphene with its hexagonal carbon structure. However, it has many oxygen-containing (hydroxy, carbonyl, carboxylic acid, alkoxy) functional groups. If functional groups containing oxygen are formed on the graphite surface, graphite oxide is formed. Graphene oxide is obtained by the expansion of graphite oxide layers [7, 11]. Both graphene and GO have large surface areas. However, GO can dissolve in water due to its oxygenated functional groups. In addition, it has an amphiphilic structure [12]. There are many synthesis methods of GO such as Hummers, Brodie, Hofmann, Staundenmaier [13].

In recent years, RGO is known as one of the graphene production methods, which has been prominent in many fields such as nanotechnology [14]. Reduced graphene oxide (RGO) is similar in structure and properties to graphene [4]. It has been reported that the measure of reduction of GO or the extent of oxidation of graphene affects some properties of electrical conductivity, catalysis activity. The degree of reduction of graphene oxide is controlled by temperature and time [10]. Reduced graphene oxide (RGO) is a biocompatible material with superior mechanical strength and electrical conductivity [15]. Reducing chemicals such as hydrazine ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ), hydrazine hydrate and sodium borohydride ( $\text{NaBH}_4$ ) are frequently used to reduce GO. However, these chemicals are both toxic and harmful to the environment. Plant extracts (*Lycium barbarum*, *Ginkgo biloba*, Kombucha tea, carrot root, green tea, cinnamon, *Chrysanthemum*), caffeic acid, organic acids, glucose, melatonin, vitamin C and some bacteria (*Escherichia coli*, *E. fergusonii*) have been used in recent years to reduce GO [3, 15-21]. White cabbage is an important vegetable that can be grown almost anywhere in the world. It belongs to the Cruciferae family. It has been reported that white cabbage is an important source of polyphenols [22, 23]. No studies of GO reduction with white cabbage extract have been reported to date.

In this study, it was aimed to obtain reduced GO by using white cabbage extract. Total phenolic content of white cabbage was determined by Folin-Ciocalteu method. The effect of reaction temperature and reaction time on reduction was investigated by XRD, FTIR and SEM techniques.

## 2. Material and Method

### 2.1 Materials

The materials used in our experiments were gallic acid ( $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_5$ , Sigma-Aldrich) and sodium carbonate ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , 99%, Sigma-Aldrich), Folin-Ciocalteu reagent (Carlo-Erba). White cabbage was obtained from local markets.

### 2.2 Preparation of White Cabbage Extract

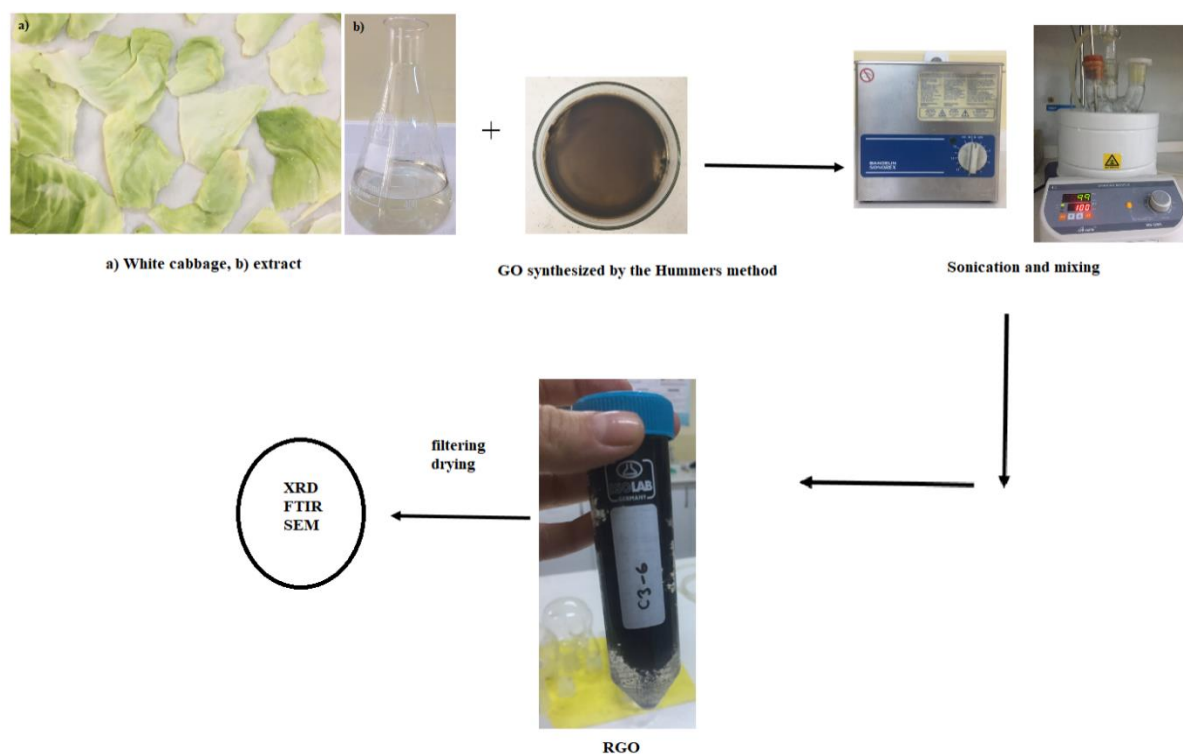
About 100 grams of white cabbage cut into long strips. It was extracted by brewing by soaking in 500 mL distilled water (at  $70\text{ }^\circ\text{C}$ ) for 30 minutes. The extract was obtained by filtration. The extract obtained was used fresh.

### 2.2 Folin-Ciocalteu Method

The total amount of phenolic matter in white cabbage was determined according to the Folin-Ciocalteu method. In the alkaline medium provided with 10 mL of supersaturated sodium carbonate, 1 mL of extract and 5 mL of Folin reagent and a blue solution of distilled water were prepared. It was kept in the dark for 1 hour. Then, absorbance was measured at 720 nm wavelength in UV-vis spectroscopy. With this method, the amount of reducing agent in white cabbage extract was determined.

### 2.3 Synthesis of Reduced Graphene Oxide

We used GO, which we reported in our previous article and synthesized by the Hummers method [19]. 50 mg of GO was added (concentration 1 mg/mL) into 50 mL of white cabbage extract and kept in an ultrasonic water bath at room temperature for 1 hour until it became homogeneous. Then, 50 mL more white cabbage extract was added onto this sonicated mixture. In this way, the concentration of the suspension was brought to the level of 0.5 mg/mL. The reaction vessel connected to the spiral refluxer was stirred at 400 rpm at different reaction temperatures (25, 50, 100 °C) and times (1, 2, 4 and 6 h), and the black solution obtained was precipitated by centrifugation and dried at 60 °C for 24 hours. The visual version of the method we use to reduce GO is given in Figure 1.



**Figure 1.** Schematic view of the reduction of GO with white cabbage extract

### 3. Results and Discussion

Gallic acid (GA) solution with ethanol was used to determine the total phenolic content. Because gallic acid is the equivalent of polyphenol. For this purpose, GA solution at different concentrations (1, 10, 20, 100, 250, 375 mg/L) was prepared and the calibration graph was prepared in Figure 2 by measuring the absorbance values at 720 nm. The total amount of phenolic matter in the white cabbage extract was determined from the equation ( $y=0.0049x+0.0945$ ) obtained from the graph. It has been calculated that there is 0.064 grams of total phenolic substance in 1 mL of white cabbage extract.



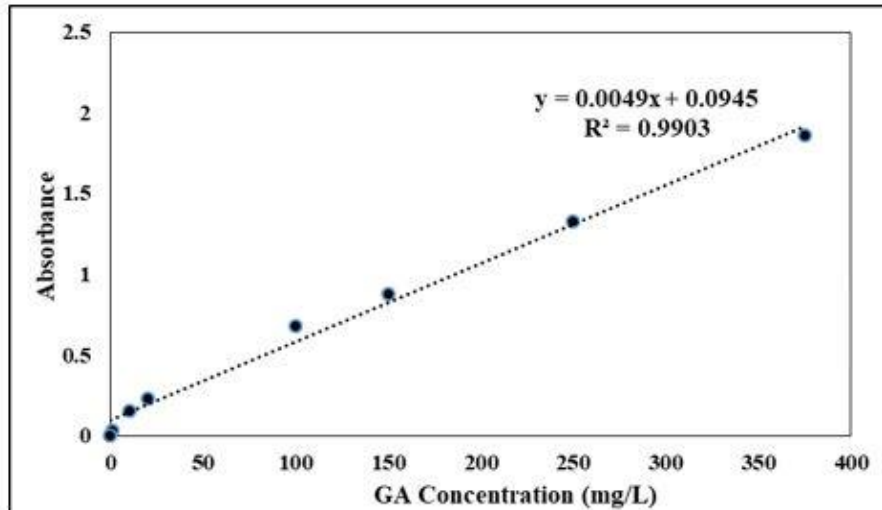


Figure 2. Gallic acid calibration graph

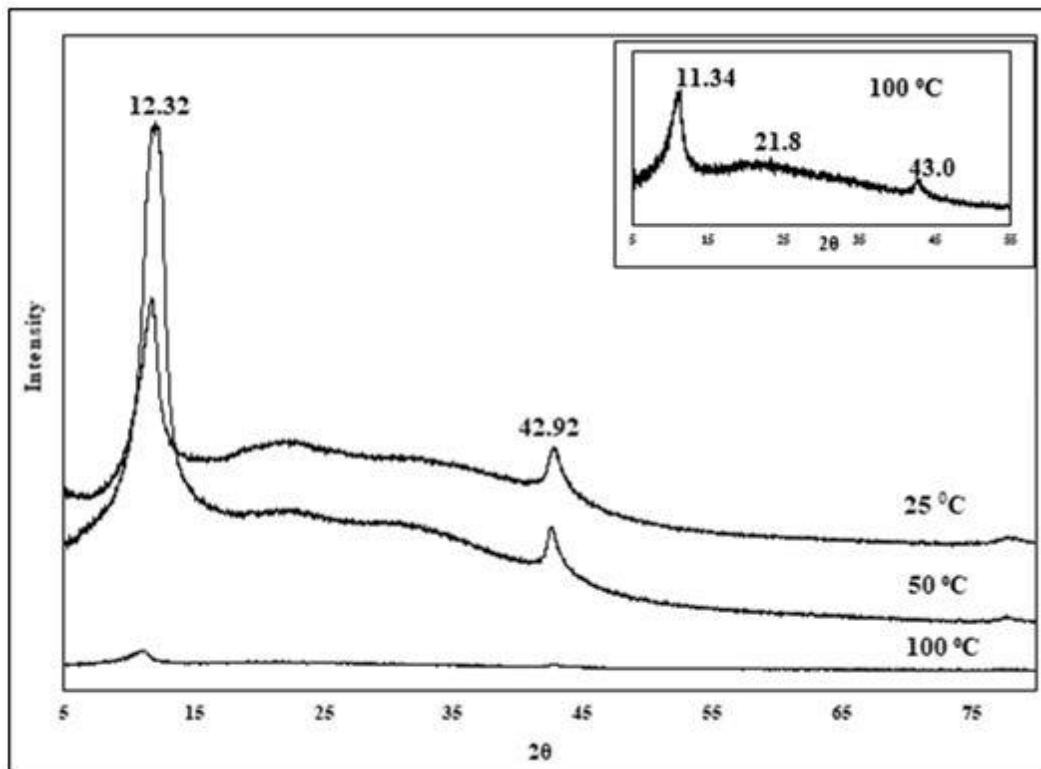


Figure 3. XRD spectra of RGO samples prepared at different reaction temperatures using white cabbage extract (Reaction time 1 hour).

Using white cabbage extract, RGO samples were prepared at reaction temperatures of 25, 50 and 100 °C, with a constant reaction time of 1 hour. The properties of the prepared RGO samples were examined using XRD and FTIR techniques. According to XRD data in the literature, graphite gives a peak in the range of 25-26°, while GO gives a peak between 11-13° [19]. XRD spectra of RGO samples prepared with white cabbage extract at different reaction temperatures are given in Figure 3. In the RGO samples synthesized at 25 and 50 °C, characteristic peaks of GO at  $2\theta = 12.32^\circ$  and  $42.92^\circ$  were clearly observed. It is seen that the peak intensity of GO at  $2\theta = 12.32^\circ$  decreases significantly when the temperature rises to 100 °C. In addition, in this sample, it was observed that the peak of GO at  $2\theta = 12.32^\circ$  shifted to the left to  $2\theta = 11.34^\circ$ . The low intensity peak at  $2\theta = 42.92^\circ$  indicates the graphene crystal plane structure [18]. The inter-layer distance for RGO was calculated by Bragg's law (Eq. 1) [24]. RGO peak

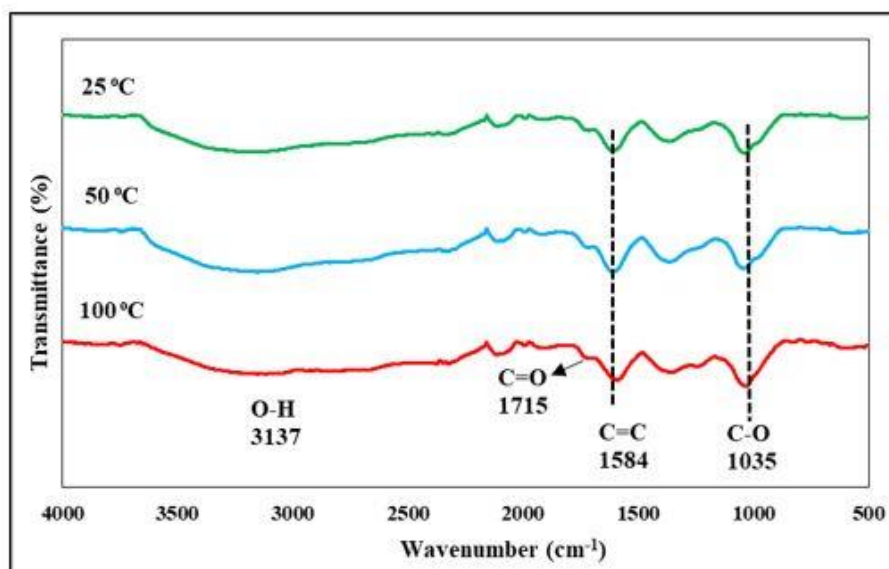
seen at  $2\theta = 21.8^\circ$  for the reaction temperature of  $100^\circ\text{C}$ , the interlayer distance was calculated as 0.41 nm.

$$\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

In the formula,  $d$  is the distance between the layers and  $\theta$  is the angle of diffraction.  $\lambda$  is 0.154056 nm wavelength value. The average crystal size ( $D_p$ ) of the RGO samples was calculated with the Debye-Scherrer equation (Eq. 2) using the Full Width at Half Maximum (FWHM) values obtained from the XRD graph.

$$D_p = K\lambda/\beta\cos\theta \quad (2)$$

Where  $D_p$  is the average crystallite size,  $K$  is the Scherrer constant (0.94).  $\lambda$  is the wavelength,  $\beta$  is the full width at half the maximum intensity (FWHM) and  $\theta$  is the diffraction angle in degrees [25].



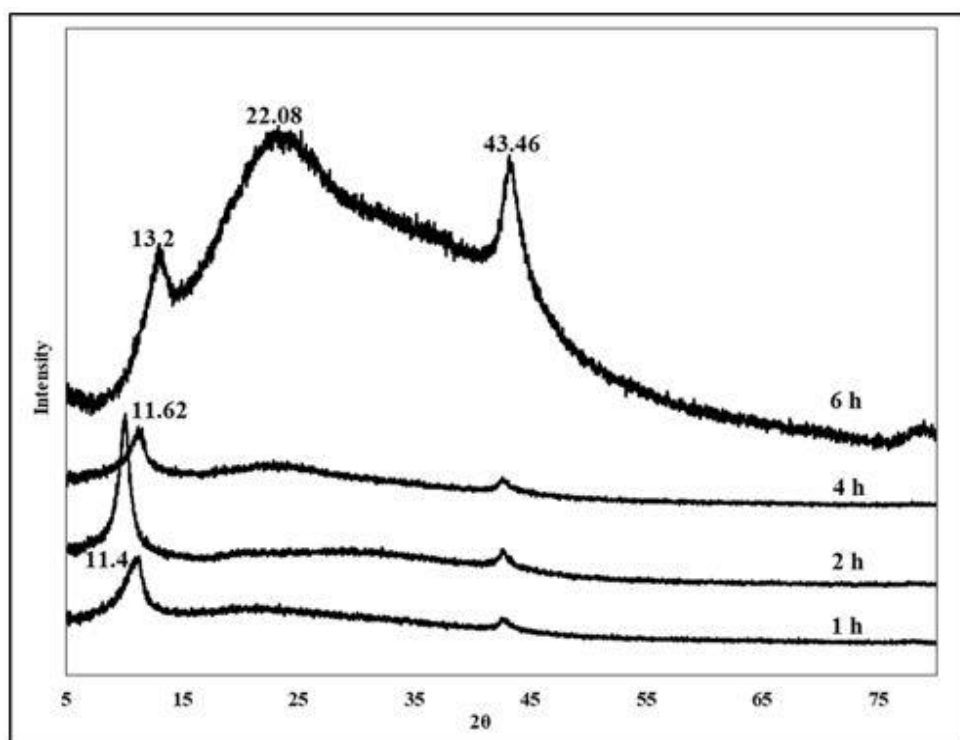
**Figure 4.** FTIR spectrum of RGO samples prepared at different reaction temperatures using white cabbage extract (Reaction time 1 hour).

The FTIR spectrum of the RGO samples prepared by using white cabbage extract at 25, 50 and  $100^\circ\text{C}$  reaction temperature with by 1 hour reaction time are shown in Figure 4. There are many functional groups on the GO surface. IR absorption peak values of functional groups on the GO surface in the literature are given in Table 1. In Figure 4, the peaks seen at 1035, 1584, 1715 and  $3137\text{ cm}^{-1}$  on RGO surfaces show C-O (alkoxy) stretch, C=C aromatic stretch vibration, C=O stretch and O-H (hydroxyl) vibration respectively. The intensity of the peak corresponding to the C=O vibration band at  $1715\text{ cm}^{-1}$  decreased with the increase in temperature [14, 26]. The permeability intensity of the hydroxyl group ( $3137\text{ cm}^{-1}$ ) decreased as the temperature increased from  $25^\circ\text{C}$  to  $100^\circ\text{C}$ . The reason for this is that the absorbed water molecules evaporate by intercalation as the temperature increases. In addition, GO is reduced by losing the presence of oxygen-containing functional groups and its hydrophilic properties [14].

**Table 1.** Functional groups on GO surface and IR absorption peak values in the literature [19, 27]

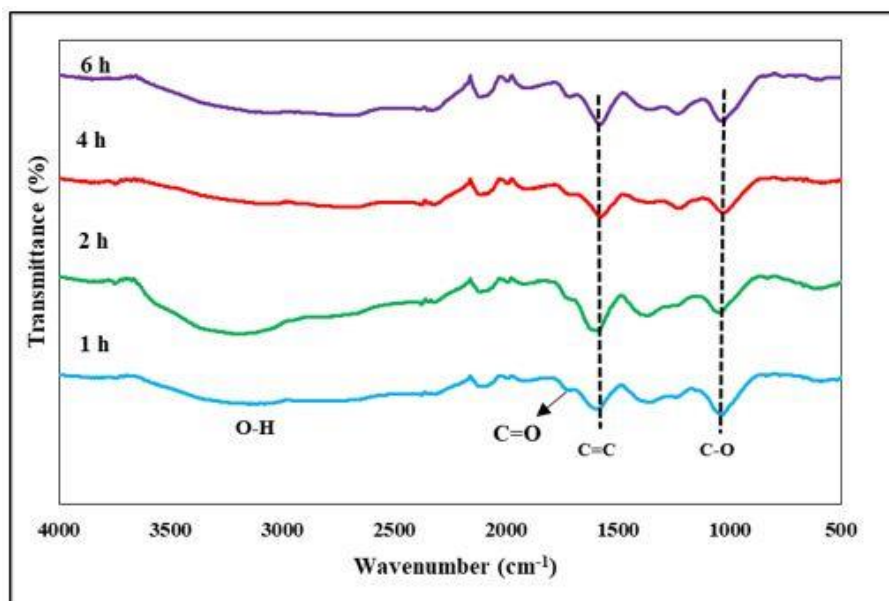
Peak position ( $\text{cm}^{-1}$ )	Functional group
3000-3500	O-H
1700-1750	C=O
1550-1650	C=C
1000-1100	C-O

The reduction temperature was chosen as 100 °C because of the peak attributed to the graphene structure in the XRD data at  $2\theta=21.8^\circ$  and the functional peak intensities of oxygen-containing groups decreased slightly. XRD data of RGO samples prepared for 1, 2, 4 and 6 hours at a reduction temperature of 100 °C are shown in Figure 5. The characteristic peak of GO has emerged in the range of  $2\theta = 11.4-11.62^\circ$ , shifted to the left for RGO samples prepared in 1, 2 and 4 hours reduction times. The characteristic wide and small peak of RGO prepared in 4 hours mixing period was seen at  $2\theta = 23.3^\circ$ , and this peak is not seen in RGO samples prepared at 1 and 2 hours mixing times. When the reaction time reached 6 hours, a wide and distinct characteristic peak of RGO was observed at  $2\theta = 22.08^\circ$ . For this peak, the distance between the layers can be calculated as 0.40 nm. According to literature, it can be concluded that this value is smaller than the distance between the layers (0.7-0.98 nm) of GO [17]. For this example, GO's peak was observed at  $2\theta = 13.2^\circ$ . From the results, it can be said that the peak of RGO appears and peak of GO is reduced in direct proportion to the increase in reaction time [28]. According to Eq. 2, the average crystal size in the sample prepared with 100 °C reaction temperature and 6 hours reduction time was determined as 0.51 nm.

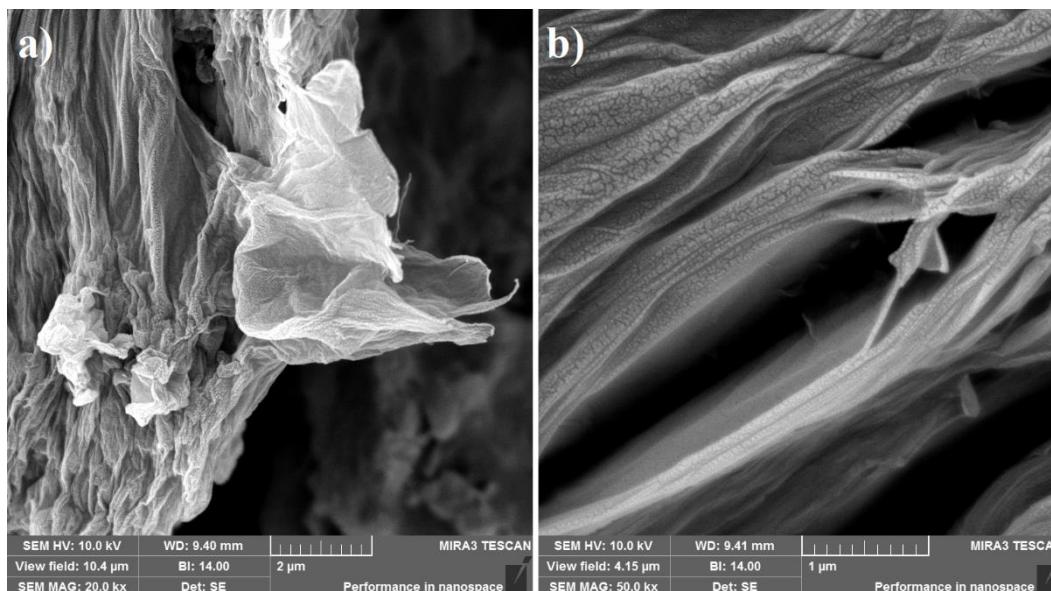


**Figure 5.** XRD spectrum of RGO samples prepared at different reaction times using white cabbage extract (Reaction temperature 100 °C).

From the FTIR spectra where the effect of the reaction time for RGO obtained using white cabbage extract was investigated, reduction appears to be more effective after 2 hours (Figure 6). For RGOs prepared at the 4th and 6th hour, the peak intensity (O-H) at  $3137\text{ cm}^{-1}$  and the intensity of the alkoxy (C-O) peak at  $1045\text{ cm}^{-1}$  decreased significantly. Because the reducing temperature was chosen as 100 °C, free water molecules intercalated in GO evaporated, weakening the peak intensity of the O-H functional groups [26, 28]. When the results obtained from FTIR and XRD are evaluated together, it is concluded that suitable conditions for the reduction of GO can be achieved using white cabbage extract at a reduction temperature of 100 °C and a reduction time of 6 hours.



**Figure 6.** FTIR spectrum of RGO samples prepared at various reaction times using white cabbage extract (Reaction temperature 100 °C).



**Figure 7.** SEM images of RGO from different angles a) 20k magnification b) 50k magnification (Reaction temperature 100 °C, reaction time 6 hours)

SEM images of the prepared RGO sample at 100 °C for 6 hours is shown in Figure 7a,b. In Figure 7a, it is seen that there is agglomeration in the structure of RGO. Figure 7b illustrated that multilayer RGO was synthesized. In addition, it seen that prepared RGO sample formed undulating ripple-like layers had the basic properties of graphene (Fig.7b). Also, it is clear that after the GO is reduced, the wrinkled sheets increased and randomly collected [30]. It can be said that oxygen-containing functional groups decrease with increasing reaction temperature and so by removing these groups from the RGO surface, shrinkage occurs [14, 29].

#### 4. Conclusion

Green synthesis has been applied to an environmentally friendly method by using extract instead of harmful chemicals. In this study, the reduction was achieved by removing the functional groups on the GO surface using white cabbage extract. According to the XRD and FTIR data, it can be said that suitable experimental conditions can be provided for the reduction of GO when the reduction

temperature is 100 °C and the reduction time is 6 hours. In the SEM results, it was determined that the morphological structure of RGO is multi-layered. These results revealed that white cabbage extract can be used in the reduction of GO. When the literature is examined, it is seen that the reduction temperature of GO has been tested at different temperatures. However, the commonly chosen temperature in the studies is the range of 95-100 °C. Similarly, the reduction temperature was determined as 100 °C in our study. This study indicates that white cabbage extract can be used as an alternative reducer instead of toxic chemicals, thanks to the polyphenol it contains.

### **Acknowledgements**

This study was supported by Sivas Cumhuriyet University Scientific Research Projects (CÜBAP), project number as M702.

### **Authors' Contributions**

In this study, Author 1 contributed to the literature review, experiments, evaluation of data and article writing, while Author 2 contributed to the formation of ideas, evaluation of the data, and article writing and editing.

### **Statement of Conflicts of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

### **Statement of Research and Publication Ethics**

The authors declare that this study complies with Research and Publication Ethics

### **References**

- [1] Gebreegziabher G.G., Asemahegne A.S., Ayele D.W., Dhakshnamoorthy M. 2019. One-step synthesis and characterization of reduced graphene oxide using chemical exfoliation method. *Materials Today Chemistry*, 12: 233–239.
- [2] Hosseinzadeh A., Bidmeshkipour S., Abdi Y., Arzi E., Mohajerzadeh S. 2018. Graphene based strain sensors: A comparative study on graphene and its derivatives. *Applied Surface Science*, 448: 71–77.
- [3] Gurunathan S., Han J.W., Park J.H., Eppakayala V., Kim J.H. 2014. Ginkgo biloba: A natural reducing agent for the synthesis of cytocompatible graphene. *International Journal of Nanomedicine*, 9 (1): 363–377.
- [4] Wang J., Salihi E.C., Šiller L. 2017. Green reduction of graphene oxide using alanine. *Materials Science and Engineering C*, 72: 1–6.
- [5] Narayanan D.P., Gopalakrishnan A., Yaakob Z., Sugunan S., Narayanan B.N. 2020. A facile synthesis of clay – graphene oxide nanocomposite catalysts for solvent free multicomponent Biginelli reaction. *Arabian Journal of Chemistry*, 13 (1): 318–334.
- [6] Park Y.H., Park S.Y., In I. 2015. Direct noncovalent conjugation of folic acid on reduced graphene oxide as anticancer drug carrier. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 30: 190–196.
- [7] Smith A.T., LaChance A.M., Zeng S., Liu B., Sun L. 2019. Synthesis, properties, and applications of graphene oxide/reduced graphene oxide and their nanocomposites. *Nano Materials Science*, 1: 31–47.
- [8] Charmi J., Nosrati H., Mostafavi Amjad J., Mohammadkhani R., Danafar H. 2019. Polyethylene glycol (PEG) decorated graphene oxide nanosheets for controlled release curcumin delivery. *Heliyon*, 5 (4): e01466.
- [9] Ismail Z. 2019. Green reduction of graphene oxide by plant extracts: A short review. *Ceramics International*, 45 (18): 23857-23868.

- [10] Xu C., Yuan R.S., Wang X. 2014. Selective reduction of graphene oxide. *New Carbon Materials*, 29 (1): 61–66.
- [11] Romero A., Lavin-Lopez M.P., Sanchez-Silva L., Valverde J.L., Paton-Carrero A. 2018. Comparative study of different scalable routes to synthesize graphene oxide and reduced graphene oxide. *Materials Chemistry and Physics*, 203: 284–292.
- [12] McCoy T.M., Turpin G., Teo B.M., Tabor R.F. 2019. Graphene oxide: a surfactant or particle? *Current Opinion in Colloid and Interface Science*, 39: 98–109.
- [13] Bhunia P., Kumar M., De S. 2019. Rapid and efficient removal of ionic impurities from graphene oxide through hollow fiber diafiltration. *Separation and Purification Technology*, 209: 103–111.
- [14] Jaafar E., Kashif M., Sahari S.K., Ngaini Z. 2019. Effects of reduction temperatures on morphological, optical, and electrical properties of reduced graphene oxide (rGO) thin films. *Materials Today: Proceedings*, 16: 1702–1707.
- [15] Barra A., Ferreira N.M., Martins M.A., Lazar O., Pantazi A., Jderu A.A., Neumayer S.M., Rodriguez B.J., Enăchescu M., Ferreira P., Nunes C. 2019. Eco-friendly preparation of electrically conductive chitosan - reduced graphene oxide flexible bionanocomposites for food packaging and biological applications. *Composites Science and Technology*, 173: 53–60.
- [16] Esfandiar A., Akhavan O., Irajizad A. 2011. Melatonin as a powerful bio-antioxidant for reduction of graphene oxide. *Journal of Materials Chemistry*, 21 (29): 10907–10914.
- [17] Hou D., Liu Q., Cheng H., Li K., Wang D., Zhang H. 2016. Chrysanthemum extract assisted green reduction of graphene oxide. *Materials Chemistry and Physics*, 183: 76–82.
- [18] Hou D., Liu Q., Cheng H., Zhang H., Wang S. 2017. Green reduction of graphene oxide via *Lycium barbarum* extract. *Journal of Solid State Chemistry*, 246: 351–356.
- [19] Çetinkaya Güreer S., Küttük N. 2019. Green reduction of graphene oxide by using kombucha tea. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 20: 24-29.
- [20] Abdolahad M., Janmaleki M., Mohajerzadeh S., Akhavan O., Abbasi S. 2013. Polyphenols attached graphene nanosheets for high efficiency NIR mediated photodestruction of cancer cells. *Materials Science & Engineering C*, 33 (3): 1498–1505.
- [21] Suresh D., Kumar M.A.P., Nagabhushana H., Sharma S.C. 2015. Cinnamon supported facile green reduction of graphene oxide, its dye elimination and antioxidant activities. *Materials Letters*, 151: 93–95.
- [22] Samec D., Pavlovic I., Salopek-Sondi B. 2017. White cabbage (*Brassica oleracea* var. *capitata* f. *alba*): botanical, phytochemical and pharmacological overview. *Phytochemistry Reviews*, 16: 117–135.
- [23] Singh J., Upadhyay A.K., Bahadur A., Singh B., Singh K.P., Rai M. 2006. Antioxidant phytochemicals in cabbage (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*). *Scientia Horticulturae*, 108: 233–237.
- [24] Sadhukhan S., Kumar T., Roy I., Rana D., Bhattacharyya A., Saha R., Chattopadhyay S., Khatua S., Acharya K., Chattopadhyay D. 2019. Green synthesis of cadmium oxide decorated reduced graphene oxide nanocomposites and its electrical and antibacterial properties. *Materials Science and Engineering C*, 99: 696–709.
- [25] Tiyek İ., Dönmez U., Yıldırım B., Alma M.H., Ersoy M.S., Karataş Ş., Yazıcı M. 2016. Synthesis of reduced graphene oxide by chemical method and its characterization. *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 20 (2): 349–57.
- [26] Andrijanto E., Shoelarta S., Subiyanto G., Rifki S. 2016. Facile synthesis of graphene from graphite using ascorbic acid as reducing agent. *AIP Conference Proceedings*, 17-25 April, 020003.
- [27] Kassae M.Z., Motamedi E., Majdi M. 2011. Magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> -graphene oxide / polystyrene: Fabrication and characterization of a promising nanocomposite. *Chemical Engineering Journal*, 172 (1): 540–549.
- [28] Sreeja V.G., Vinitha G., Reshmi R., Anila E.I., Jayaraj M.K. 2017. Effect of reduction time on third order optical nonlinearity of reduced graphene oxide. *Optical Materials*, 66: 460–468.
- [29] Chong S.W., Lai C.W., Abdul Hamid S.B. 2015. Green preparation of reduced graphene oxide using a natural reducing agent. *Ceramics International*, 41 (8): 9505–9513.

- [30] Wang X., Hu Y., Min J., Li S., Deng X., Yuan S., Zuo X. 2018. Adsorption characteristics of phenolic compounds on graphene oxide and reduced graphene oxide: A batch experiment combined theory calculation. *Applied Sciences*, 8 (10): 1–13.

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Farklı Düzeylerdeki Vermikompost Uygulamasının Atdışi Mısırın (*Zea mays L. indentata*) Verim ve Verim Karakterlerine Etkisi

Muhammed Reşit ÖZEL<sup>1</sup>, Ayşe Gülgün ÖKTEM<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü, Şanlıurfa  
(ORCID: [0000-0002-3573-0930](https://orcid.org/0000-0002-3573-0930)) (ORCID: [0000-0002-7669-5801](https://orcid.org/0000-0002-7669-5801))

### Öz

Bu araştırma ile farklı düzeylerdeki vermikompost uygulamasının ikinci ürün olarak yetiştirilen atdışi (*Zea mays L. indentata*) mısırdaki verim ve verim karakterlerine etkisini belirlemek amaçlanmıştır. Araştırma tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak 2017 yılında Şanlıurfa'da yürütülmüştür. Denemede bitkisel materyal olarak Famoso hibrit mısır çeşidi kullanılmıştır. Vermikompost (VK) dozları 0 (kontrol), 250 kg da<sup>-1</sup> VK, 500 kg da<sup>-1</sup> VK, 750 kg da<sup>-1</sup> VK, 1000 kg da<sup>-1</sup> VK, 1250 kg da<sup>-1</sup> VK ve 1500 kg da<sup>-1</sup> VK şeklinde oluşturulmuştur. Vermikompost dozları ekim öncesinde toprak yüzeyine serpilerek, karıştırılmıştır. Araştırma sonucunda, toprağa uygulanan farklı dozlardaki vermikompost uygulamalarının tepe püskülü çiçeklenme süresi ve sap kalınlığı hariç, bitki boyu, bitkide yaprak sayısı, bin tane ağırlığı, tane verimi, protein oranı, koçanda sıra sayısı ve tek koçan ağırlığı değerlerine etkisi istatistiksel olarak önemli bulunmuştur. En yüksek tane verimi (1561 kg da<sup>-1</sup>) 750 kg da<sup>-1</sup> vermikompost uygulamasından elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** At dişi mısır, tane verimi, Şanlıurfa, Vermikompost

## The Effect of Vermicompost Application at Different Levels on Yield and Yield Characteristics in Dent Corn (*Zea mays L. indentata*)

### Abstract

This study, it was aimed to determine the effect of vermicompost application at different levels on yield and yield characteristics of dent corn plant (*Zea mays L. indentata*) as grown second crop conditions. The research was set up according to randomized complete block design with 3 replicates in 2017, Şanlıurfa. Famoso hybrid corn variety was used as a plant material in the experiment. Vermicompost dosages (VK) were arranged as 0 (control), 250 kg da<sup>-1</sup> VK, 500 kg da<sup>-1</sup> VK, 750 kg da<sup>-1</sup> VK, 1000 kg da<sup>-1</sup> VK, 1250 kg da<sup>-1</sup> VK and 1500 kg da<sup>-1</sup> VK. Vermicompost dosages were pulverized to soil surface and mixed before sowing. As a result of the study, the effects of vermicompost applications at different doses applied to the soil on plant height, number of leaves per plant, thousand grain weight, grain yield, protein ratio, number of rows in the ear and ear weight values, excluding tassel flowering dates and stem diameter, were found statistically significant. The highest grain yield (1561 kg da<sup>-1</sup>) were obtained from 750 kg da<sup>-1</sup> of vermicompost application.

**Keywords:** Dent corn, grain yield, Şanlıurfa, vermicompost.

### 1. Giriş

Dünya nüfusu sürekli olarak artmakta, artan nüfusun beslenmesi için de tarımsal üretimin artırılması gerekmektedir. Bu tarımsal ürünlerin en önemlilerinden birisi de mısır bitkisidir. Mısır, dünya tahıl ekiliş yönünden buğdaydan sonra ikinci sırada, üretim açısından baktığımızda ise ilk sırada yer alan önemli bir bitkidir [1]. Mısırın, Dünya'daki ekim alanı 191.3 milyon ha<sup>-1</sup>, mısır üretimi ise 1.122 (milyon ton), mısır verimi 5.87 (ton ha<sup>-1</sup>) kadardır [2]. Mısır bitkisinde, üretimimizi artırmak için, modern tarım

\*Sorumlu yazar: [gulgumoktem@harran.edu.tr](mailto:gulgumoktem@harran.edu.tr)

Geliş Tarihi: 12/05/2021, Kabul Tarihi: 29/06/2021



teknikleri ile birlikte, çevreye zarar vermeyen, toprağı koruyan teknikleri de göz önüne almamız gerekmektedir.

Ülkemizde, toprakların %75’den fazla kısmında organik madde ve azot içeriğı çok az veya az olarak saptanmıştır. Topraklarımızdaki yeterli ve/veya fazla organik madde içeriğı ise yaklaşık % 6 civarındadır. Topraklarda bitkilere yararlı azot ve organik madde birbirleri ile yakından ilişkilidir [3]. Bu nedenle, topraklarımızdaki organik maddenin yetersizliğini ve besin elementleri eksikliğini gidermek için, çiftlik gübresi, yarasa gübresi, solucan gübresi gibi organik gübrelerin topraklara uygulanması önem arz etmektedir.

Son yıllarda Dünya’da bitkisel üretimde yaygın olarak kullanılan organik gübrelerden birisi de solucan gübresi olarak bilinen vermikomposttur. Topraktaki solucanlar, beslenmek için topraktaki mineralleri çözümlenerek ortama bırakırlar. Bu atıklardan elde edilen solucan gübresi, içeriğinde simbiyotik bakteri (Rhizobium) ile asimbiyotik mikroorganizmalardan azot fiksasyonu yapan bakterinin (Azotobakter) yanında mikoriza mantarlarını da barındırır[4]. Vermikompost içeriğinde yer alan yararlı mikroorganizmalar bitkinin kök bölgesine yerleşerek kökün etkileşim halinde bulunduğu rizosfere çeşitli antibiyotik, enzim (üreaz, fosfataz, β-glikosidaz vb.) ve bitki gelişim düzenleyiciler (oksin, sitokinin, gibberellik asit vb.) salgılamaktadırlar [5]. Ayrıca organik olduğu için yabancı ot tohumu barındırmaz. Bitkilere karşı ters bir etki bulundurmaz ki, bunun en önemli nedeni doğal olmasıdır. Toprak pH’sı ve toprak yapısı gibi özelliklerin iyileştirmesini sağlar ve topraktaki yararlılık uzun süre devam etmektedir.

Değerli bir organik materyal olan solucan gübresinin, toprağın kimyasal, fiziksel ve biyolojik özelliklerine olumlu etkisinin olduğu, ayrıca vermikompostun uygulandığı birçok bitkide kalite ve verim artışı sağladığı açıklanmıştır [6,7,8,9]. Çıtak ve ark. [10], solucan gübresinin bitkinin gelişim ve toprak içeriğindeki verimliliğine etkileri incelemişler, verim, mineral madde kapsamı, bitki gelişimi gibi özelliklerin yanı sıra toprak verimliliği parametrelerinde de önemli artışlar sağladığını açıklamışlardır. Sap, saman, yaprak, sebze veya meyve gibi atıklarla beslenen solucanlardan elde edilen kompostun, toprak pH’sını düşürdüğünü, mısır bitkisinin kuru madde miktarını yükselttiği açıklanmıştır[11]. Jat ve Ahlawat [12], toprağı uygulanan 300 kg da<sup>-1</sup> vermikompostun, şeker mısırdaki protein içeriğı ve tane kuru ağırlığında artış sağladığını, ayrıca topraktaki alınabilir azot ve fosfor miktarına da olumlu etkide bulunduğunu açıklamıştır. Prasanna ve ark. [13], farklı besin kaynaklarının mısırdaki verim ve verim unsurlarına etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada, kontrol, çiftlik gübresi, yeşil yaprak gübresi (pongamia), sorgum kalıntıları, kümes gübresi ve solucan gübresi kullanmışlardır. Araştırmacılar deneme sonucunda en yüksek kuru madde, bin dane ağırlığı, koçanda tane sayısı, tane verimi ve koçan verimi değerlerini, solucan gübre uygulamasından elde ettiklerini bildirmişlerdir.

Bu çalışmada; farklı seviyelerdeki vermikompostun, at dışı mısırın verim ve verim unsurlarına etkisini belirlemek, bunun yanı sıra tarımsal sürdürülebilirlik yönünden kimyasal gübreye alternatif olarak kullanılabilirliğini saptamak amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırma 2017 yılında Şanlıurfa Harran Ovası koşullarında ikinci ürün yetiştirme sezonunda yürütülmüştür. Deneme yerinin toprak yapısı killi ve pH oranı 7.2 olup alkali özelliktedir. Toprak organik maddelerce fakir, tuzluluk oranı önemsiz olup kireç oranı yüksektir. Araştırma alanının toprak özellikleri Tablo 1’de, iklim özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Deneme alanına ait toprak özellikleri

Derinlik (cm)	HA (g/cm <sup>3</sup> )	OM (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kireç (%)	pH	N (kg ha <sup>-1</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg ha <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )
0-30	1,36	1,3	8	33	57	7.2	23	28	1283

HA: hacim ağırlığı, OM: organik madde.

**Tablo 2.** Araştırmanın yürütüldüğü döneme ait iklim verileri

Aylar	Ortalama Sıcaklık(°C)	En Yüksek Sıcaklık(°C)	En Düşük Sıcaklık(°C)	Ortalama Nispi Nem(%)	Yağış(mm)
Haziran	29.6	36.4	17.5	27.8	0.0
Temmuz	34,2	41.3	22,4	23.7	0.0
Ağustos	32.2	39.4	21.4	35.8	0.0
Eylül	29.6	36.9	18.3	28.7	0.0
Ekim	20.6	27.4	11.3	35.7	15.7
Kasım	13.4	19.1	2.5	55.9	16.3

Kaynak: Anonim [14].

Çalışmada bitkisel materyal olarak 115 günlük gelişme periyoduna sahip Famoso at dişi mısır çeşidi kullanılmıştır. Denemede organik materyal olarak kullanılan vermikompostun bazı özellikleri Tablo'3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Araştırmada kullanılan solucan gübresine (vermikompost) ait bazı analiz değerleri

Analiz Değerleri	pH	Toplam Azot %	Toplam Fosfor Pentaoksit %	Suda Çözünür Potasyum Oksit %	Suda Çözünür Kalsiyum Oksit%	Toplam Humik+Fulvik asit %	Nem %
Sonuçlar	7.27	3.24	3.28	1.24	0.10	41.46	48

Vermikompost dozları 1.uygulama: kontrol (vermikompost verilmemiş, 17 kg da<sup>-1</sup> N ve 8 kg da<sup>-1</sup> P verilmiştir), 2. uygulama: 250 kg da<sup>-1</sup> VK, 3.uygulama: 500 kg da<sup>-1</sup> VK, 4.uygulama: 750 kg da<sup>-1</sup> VK, 5.uygulama: 1000 kg da<sup>-1</sup> VK, 6.uygulama: 1250 kg da<sup>-1</sup> VK, 7.uygulama: 1500 kg da<sup>-1</sup> VK olacak şekilde düzenlenmiştir. Vermikompost dozları belirlenen miktarlarda tartılarak ekimden önce toprağa karıştırılmış, akabinde ekim işlemi gerçekleştirilmiştir.

Ekimden önce, buğday hasadından sonra toprak pullukla derin sürülmüş, kültivatör ve goble-disk ardından tapan çekilerek düzlenmiş ve ekime hazır hale getirilmiştir. Araştırma tesadüf blokları deneme desenine göre 07.07.2017 tarihinde üç tekrarlamalı olarak kurulmuştur. Denemede sıra araları 70 cm, sıra üzeri ise 18 cm'den ve her parsel 4 sıradan oluşturulmuş, parsel boyu 5 m olarak alınmıştır. Ekimden yaklaşık 1 hafta sonra bitki çıkışı gözlenmiştir.

Ekimden sonra iyi bir çıkışın sağlanması için yağmurlama sulama sistemiyle tav sulaması yapılmıştır. Çıkış sağladıktan sonra 6-7 gün ara ile bitki ve toprağın su isteğine göre her parselde kendi içerisinde karıklar yardımıyla eşit miktarda su verilmiştir ve bitki gelişimi kontrol edilmiştir. İlk çapalama bitki boyu 15-20 cm iken el çapası şeklinde, ikinci çapalama işlemi ise bitkiler 40-45 cm iken traktör çapası ile birlikte boğaz doldurma yapılmıştır. Deneme alanındaki yabancı ot durumuna göre gerektiğinde her sulamadan sonra deneme alanı elle temizlenerek yabancı ot kontrolü gerçekleştirilmiştir. Hasat bitkilerin fizyolojik gelişimine göre belirlenerek elle yapılmıştır. Bitkisel ve koçan özellikleri her parsel içerisinden rastgele seçilen 10 mısır bitkisi ve koçanın örneğinde belirlenmiştir. Hasat, her bir parselin orta sıralarında bulunan mısır bitkilerinin koçanlarının toplanmasıyla yapılmıştır. Hasat döneminde ise tanedeki nem oranı Dickey John nem ölçer ile belirlenerek, tane verimi % 15'e göre düzeltilmiştir. Tanedeki protein oranı Kjeldahl auto analizler cihazı ile 15 gr numune ile ICC Standart No. 167'ye göre belirlenmiştir.

Deneme sonucu elde edilmiş veriler kullanılarak varyans analizi yapılmış, ortalamalar ise LSD testine göre gruplandırılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Tepe Püskülü Çiçeklenme Süresi (gün)

Yapılan varyans analiz sonucuna göre vermikompost uygulamalarının tepe püskülü çiçeklenme süresi üzerine etkisi istatistik olarak önemsiz bulunmuştur. Tepe püskülü çiçeklenme süresi 54.66 ile 53.33 gün arasında değişim göstermiştir (Tablo 4). Deneme ortalaması ise 54.14 gün olarak gerçekleşmiştir. Tepe püskülü çiçeklenme süresi çevre koşulları ve genotipe bağlı bir özellik olmakla birlikte, vermikompost uygulamaları tepe püskülü çiçeklenme süresine olumlu veya olumsuz herhangi bir etkiye

bulunmamıştır. Tepe püskülü çiçeklenme süresini mısır bitkisinde, İdikut ve Kaya [15], 46.00 ile 57.00 gün, Öktem ve Toprak [16], 47.3-51.7 gün, Erdal ve ark. [17], 59-66 gün arasında bulmuşlardır. Bulgularımız araştırmacıların bulguları ile benzerlik göstermektedir.

### 3.2. Sap Kalınlığı (mm)

Bitkide sap kalınlığı bakımından yapılan varyans analiz sonucuna göre uygulamalar arasında istatistiki olarak önemli farklılık bulunmamıştır. Sap kalınlığı değeri 22.12 mm ile 24.00 mm arasında değişim göstermiştir (Tablo 4). Sap kalınlığı değeri genotipik bir özellik olmakla birlikte, yetiştirme koşullarından da etkilenmektedir. Çalışmada vermikompost uygulamalarının bitkide sap kalınlığına olumlu veya olumsuz etkisi gözlenmemiştir. Çeşitli araştırmacılar mısırdaki yaptıkları çalışmalarda sap kalınlığı değerini Üzen [18], 18.64 mm ile 14.18 mm arasında bulgularımızdan daha düşük bulurken, Bakış [19], 28.6-31.4 cm daha yüksek değerler bulmuştur. Ancak, bulgularımız İdikut ve Kara [15] 25-21 mm, Demirbay ve Kılıç [20], 24.8-28.3 cm bulguları ile uyum içindedir.

### 3.3. Koçanda Sıra Sayısı (sıra/koçan)

Yapılan varyans analiz sonucuna göre, koçanda sıra sayısı bakımından vermikompost uygulamaları arasında 0.01 önem seviyesinde istatistiki olarak farklılık belirlenmiştir. En yüksek koçanda sıra sayısını 15.86 sıra/koçan ile 750 ve 1500 kg /da vermikompost uygulaması vermiş, ancak 500 kg/da VK, 750 kg da<sup>-1</sup> VK, 1250 kg da<sup>-1</sup> VK ve 1500 kg da<sup>-1</sup> VK aynı istatistiki grupta yer almıştır. Babaoğlu [21], koçandaki sıra sayısının fazla olmasının daha fazla tane demek olduğunu, bunun da tane verimini olumlu etkileyeceğini bildirmiştir. Prasanna ve ark. [13], değişik organik gübre uygulamaları sonucunda en yüksek koçanda tane sayısını solucan gübresi uygulamalarının verdiğini bildirmişlerdir. Araştırmada, vermikompost uygulamaları koçanda sıra sayısını artırıcı etkide bulunmuştur.

Şekeroğlu ve ark. [22], Vartanlı [23], koçanda sıra sayısı değerleri bakımından bulgularımıza benzer sonuçlar elde ederken, Yılmaz ve Han[24], daha yüksek sonuçlar elde etmişlerdir.

**Tablo 4.** Farklı dozlarda Vermikompost uygulamalarının tepe püskülü çiçeklenme süresi, sap kalınlığı ve koçanda sıra sayısına ait ortalama değerleri ve oluşan istatistiki gruplar

Vermikompost (VK) Miktarları (kg da <sup>-1</sup> )	Tepe Püskülü Çiçeklenme Süresi (gün)	Sap Kalınlığı (mm)	Koçanda Sıra Sayısı (sıra/koçan)**
Kontrol	54.66 †	24.00	15.00 b
250 kg da <sup>-1</sup> VK	54.33	23.72	15.06 b
500 kg da <sup>-1</sup> VK	54.00	23.75	15.66 a
750 kg da <sup>-1</sup> VK	54.33	22.28	15.86 a
1000 kg da <sup>-1</sup> VK	55.33	23.33	15.70 a
1250 kg da <sup>-1</sup> VK	54.00	22.12	15.60 a
1500 kg da <sup>-1</sup> VK	53.33	23.46	15.86 a
LSD	-	-	0.41
Ortalama	54.14	23.24	15.53

\*\* : %1'e göre önemli \* : %5'e göre önemli

† : Aynı harf grubunda yer alan ortalamalar arasında LSD testine göre 0.05 düzeyde istatistiki olarak önemli farklılık yoktur

### 3.4. Bitki Boyu (cm)

Farklı miktarlarda vermikompost uygulamasının atdığı mısır çeşidinde bitki boyuna ait yapılan varyans analiz sonucuna göre uygulamalar arasında istatistiki olarak %1 seviyesinde önemli farklılık tespit edilmiştir (Tablo 5). Araştırmada bitki boyu değerleri 209.90 cm ile 219.90 cm arasında değişmiştir. En yüksek bitki boyu değeri 1000 kg da<sup>-1</sup> vermikompost dozunda 219.90 cm olarak bulunurken, en düşük bitki boyu kontrol uygulamasından 209.90 cm olarak elde edilmiştir.

Vermikompost içeriğinde bulunan organik madde, humik ve fulvik asit, besin elementi içeriği nedeniyle, mısırdaki bitki boyunu artırıcı etkide bulunmuş olabilir. Turgut [25], bitki boyunun tane verimi üzerine olumlu etkisinin olduğunu bildirmiştir. Bitki boyunun vermikompost uygulaması ile arttığı,

bunun tane verimini de olumlu etkilemiş olabileceği düşünülebilir. Çeşitli araştırmacılar vermikompost miktarı arttıkça bitki boyunun da arttığını, solucan gübresinin bitki boyu üzerine olumlu etkide bulunduğunu bildirmişlerdir [26,27,28,29,30]. Bulgularımız araştırmacıların bu tespitlerini destekler niteliktedir.

**Tablo 5.** Farklı dozlarda Vermikompost uygulamalarının bitki boyu, bitkide yaprak sayısı ve bin tane ağırlığı ortalama değerleri ve oluşan istatistikî gruplar

Vermikompost (VK) Miktarları (kg da <sup>-1</sup> )	Bitki boyu (cm)**	Yaprak sayısı (adet/bitki)*	Bin Tane Ağırlığı (g)**
Kontrol	209.90 e †	12.20 b c	312.81 c
250 kg da <sup>-1</sup> VK	219.10 ab	12.03 c	340.19 b
500 kg da <sup>-1</sup> VK	214.63 bcd	12.80 a b	351.67 ab
750 kg da <sup>-1</sup> VK	211.90 de	12.83 a	359.98 a
1000 kg da <sup>-1</sup> VK	219.90 a	12.80 a b	353.46 ab
1250 kg da <sup>-1</sup> VK	214.26 cde	12.90 a	353.11 ab
1500 kg da <sup>-1</sup> VK	217.36 abc	12.86 a	353.32 ab
LSD	4.59	0.61	14.32
Ortalama	215.29	11.06	346.36

\*\* : %1'e göre önemli \* : %5'e göre önemli

† : Aynı harf grubunda yer alan ortalamalar arasında LSD testine göre 0.05 düzeyde istatistikî olarak önemli farklılık yoktur.

### 3.5. Yaprak Sayısı (adet/bitki)

Yaprak sayısı bakımından yapılan varyans analiz sonucuna göre vermikompost uygulamaları arasında istatistikî olarak %5 önem seviyesinde farklılık saptanmıştır (Tablo 5). Yaprak sayısı en yüksek 1250 kg da<sup>-1</sup> vermikompost dozunda 12.90 adet/bitki bulunurken, yaprak sayısı en düşük 250 kg da<sup>-1</sup> VK uygulamasından 12.03 adet/ bitki olarak belirlenmiştir.

Çalışmayı destekler nitelikte Özkan ve Müftüoğlu [31], vermikompostun yaprak sayısı üzerinde istatistikî olarak önemli bir artış sağladığını belirtmiş, Durukan [32], ise mısır bitkisine vermikompost uygulandığında, bitkinin toprak üstü aksamının arttırdığını ve bu artışın %40 oranında olduğunu açıklamıştır. Müftüoğlu ve arkadaşları [26], Köksal ve ark. [33] ise vermikompost uygulamasının yaprak sayısını arttırdığını, ancak bu artışların istatistikî olarak önemli bulunmadığını belirtmişlerdir.

### 3.6. Bin tane ağırlığı (g)

Yapılan varyans analiz sonucuna göre vermikompost uygulamaları arasında bin tane ağırlığı bakımından %1 düzeyinde istatistikî olarak önemli fark bulunmuştur. Bin tane ağırlığı en yüksek 750 kg da<sup>-1</sup> vermikompost uygulamasında, 359.98 g olarak bulunurken, bin tane ağırlığı en düşük kontrol parselinden 312.81 g olarak bulunmuştur. Bin tane ağırlığı çeşidin genetik yapısına bağlı bir özellik olmakla birlikte, yetiştirme koşullarından da etkilenmektedir. Araştırmada vermikompost uygulamaları bin tane ağırlığına olumlu etkide bulunmuştur. Farklı organik gübre uygulamalarının sonucunda en yüksek bin tane ağırlıklarının solucan gübresi uygulamalarından elde edildiği açıklanmıştır [13].

### 3.7. Koçanda tane ağırlığı (g/koçan)

Yapılan varyans analiz sonucuna göre vermikompost uygulamalarının koçanda tane ağırlığı üzerine %1 önem düzeyinde istatistikî olarak önemli fark saptanmıştır. En yüksek koçanda tane ağırlığı değeri 750 kg da<sup>-1</sup> vermikompost uygulamasından (293.1 g), elde edilirken, en düşük koçanda tane ağırlığı ise kontrol parselinden (254.0 g) elde edilmiştir (Tablo 6). Koçanda tane ağırlığı değeri tane verimine doğrudan etki eden özelliklerden birisidir. Koçanda tane ağırlığının yüksek oluşu birim alandaki tane veriminin de artmasını ifade etmektedir. Ayrıca, tek koçan ağırlığı değeri bir çeşit özelliği olmakla birlikte, yetiştirme koşullarından da etkilenmektedir. Vermikompost uygulamaları sonucu bitkinin ihtiyaç duyduğu besin maddeleri toprakta elverişli bir biçimde bulunmakta ve bitki tarafından alımı da artmaktadır [34]. Benzer şekilde, bu çalışmada da vermikompost uygulamaları ile bitkinin besin elementi alımının arttığı, dolayısıyla koçanda tane ağırlığına da olumlu etkide bulunduğu

düşünülmektedir. Tek koçan ağırlığı bakımından, bulgularımıza benzer sonuçlar, Şanlıurfa koşullarında Taş [35], 225.70-279g arasında, Aygün[36], Bursa koşullarında 214.48-272.37g, İdikut ve Kara[15] ise Kahramanmaraş koşullarında 177- 293g tarafından bildirilmiştir. Kuşvuran ve Nazlı [37], ise 159-211 g arasındaki değerlerle bulgularımızdan daha düşük sonuçlar elde etmişlerdir.

**Tablo 6.** Farklı dozlarda Vermikompost uygulamalarının koçanda tane ağırlığı, protein oranı ve tane verimi ortalama değerleri ve oluşan gruplar

Vermikompost (VK) Miktarları (kg da <sup>-1</sup> )	Koçanda Tane Ağırlığı (g/koçan)**	Protein Oranı (%)**	Tane Verimi (kg da <sup>-1</sup> )**
Kontrol	254.00 c	7.38 c †	1193.11 b
250 kg da <sup>-1</sup> VK	274.63 b	7.40 c	1341.28 b
500 kg da <sup>-1</sup> VK	285.43 a b	7.48 bc	1375.66 a b
750 kg da <sup>-1</sup> VK	293.10 a	7.74 ab	1561.26 a
1000 kg da <sup>-1</sup> VK	287.90 a b	7.74 ab	1560.10 a
1250 kg da <sup>-1</sup> VK	286.90 a b	7.75 ab	1560.45 a
1500 kg da <sup>-1</sup> VK	286.06 a b	8.00 a	1560.90 a
LSD	16.0	3.01	39.1
Ortalama	281.14	7.64	1450.39

\*\* : %1'e göre önemli \* : %5'e göre önemli

† : Aynı harf grubunda yer alan ortalamalar arasında LSD testine göre 0.05 düzeyde istatistikî olarak önemli farklılık yoktur.

### 3.8. Protein oranı (%)

Vermikompost uygulamasının atdiği mısır çeşidinde protein oranına ilişkin varyans analiz sonuçları Tablo 6'da verilmiş, yapılan varyans analiz sonucuna göre protein oranı bakımından uygulamalar arasında istatistikî olarak %1 düzeyinde önemli farklılık bulunmuştur. Protein oranı en yüksek 1500 kg da<sup>-1</sup> vermikompost uygulamasında %8.0 olarak bulunurken, protein oranı en düşük kontrol parselinden %7.38 olarak bulunmuştur. Araştırmacılar, bitki besin elementi oranı ve protein oranının artan solucan gübresi dozuyla doğru orantılı olarak arttığını belirlemişlerdir [38, 39]. Araştırmacıların bulguları sonuçlarımızı destekler niteliktedir. Mısır çeşitleri ile yapılmış olan çalışmalarda protein oranı Kalkan, [40] %4.3 ile 4.51, Koca, [41] % 4.28 ile 4.73 olarak daha düşük değerler gösterirken, Erdal ve ark. [17] %7.3-8.7 bulgularımıza yakın değerler elde etmişlerdir.

### 3.9. Tane verimi (kg da<sup>-1</sup>)

Tane verimi bakımından yapılan varyans analiz sonucuna vermikompost uygulamaları arasında istatistikî olarak %1 düzeyinde önemli farklılık saptanmıştır (Tablo 6). Araştırmada en yüksek tane verimi değeri 750 kg da<sup>-1</sup> vermikompost uygulamasından 1561.26 kg da<sup>-1</sup> olarak bulunurken, en düşük tane verimi ise kontrol parselinden 1193.11 kg da<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Şekil 1). Kontrol uygulamasından itibaren 750 kg da<sup>-1</sup> seviyelerine kadar tane veriminde artış görülmüştür. Ancak, bundan sonraki seviyelerdeki vermikompost uygulamaları ile 750 kg da<sup>-1</sup> uygulaması ile aynı istatistikî grupta yer almıştır. Vermikompost, toprağın organik madde içeriğini arttırmakta, toprağın havalanmasını sağlamakta, su tutma kapasitesini arttırmakta ve bitki besin maddesi alımını kolaylaştırmakta sonuç olarak verimi olumlu yönde etkilemektedir. Bunun yanı sıra Atiyeh ve ark. [42] solucan gübresinin bitki büyümesini uyarıcı etkisinin, yüksek miktardaki besin kapsamından çok, içeriğindeki yüksek humik madde miktarı ve humus ile ilişkili olan bir 'hormonal etki' den kaynaklandığını açıklamışlardır. Tomati ve ark [43], ise sitokin, giberellin ve oksin benzeri bileşiklerin solucanlar tarafından salgılandığını belirtmişlerdir. Araştırmacıların tespitlerine paralel olarak, bu çalışmada vermikompost uygulamalarının mısır bitkisinin tane verimine olumlu etkide bulunduğu saptanmıştır. Durukan ve ark. [32], Vermikompost uygulamalarının mısır bitkisinin toprak üstü aksamını arttırdığını açıklamışlardır. Prasanna ve ark. [13] yapmış oldukları bir çalışmada mısır bitkisinde çiftlik gübresi, yaprak gübresi, sorgum kalıntıları, kümes gübresi ve solucan gübresinin etkilerini denemişler bu deneme sonucunda en yüksek tane verimini solucan gübresi verilen parselden elde etmişlerdir. Öktem ve ark. [28], Ashoka ve ark. [44] solucan gübre + kimyasal gübre uygulamasından en yüksek tane verimi aldıklarını belirtmişlerdir. Büyükfiliz [45], en yüksek verimi 800

kg da<sup>-1</sup> vermikompost uygulamasından elde ettiğini açıklamıştır. Bulgularımız, araştırmacıların tespitleri ile uyum içindedir.



Şekil 1. Vermikompost uygulamalarının tane verimine etkisi

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Mısır bitkisine farklı miktarlarda uygulanan vermikompost uygulamaları sonucu, tepe püskülü çiçeklenme süresi 54.66 ile 53.33 gün, sap kalınlığı 22.12 mm ile 24.00 mm, koçanda sıra sayısı 15.86-15.00 sıra/koçan, bitki boyu değerleri 209.90 ile 219.90 cm, bitkide yaprak sayısı 12.90 adet/bitki - 12.03 adet/ bitki, bin tane ağırlığı 359.98 g -312.81 g, protein oranı %8 - %7.38, koçanda tane ağırlığı 293.1 g -254.0 g ve tane verimi 1561.26 kg da<sup>-1</sup>- 1193.11 kg da<sup>-1</sup>arasında bulunmuştur. Tepe püskülü çiçeklenme süresi ve sap kalınlığı hariç, incelenen diğer özellikler vermikompost uygulanmasından olumlu etkilenmiş, en yüksek tane verimi değeri 750 kg/da vermikompost uygulanmasından (1561.26 kg da<sup>-1</sup>) elde edilmiştir. Ayrıca 750 kg da<sup>-1</sup> VK uygulamasının kontrol uygulamasına göre daha ekonomik olduğu da saptanmıştır. Çalışma sonucunda vermikompostun tarımın sürdürülebilirliği açısından uygulanabilir olduğu, ancak daha kapsamlı çalışmaların da yapılmasının da gerekli olduğu düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Doç. Dr. Ayşe Gülgün ÖKTEM danışmanlığında, Muhammed Reşit ÖZEL'in yüksek lisans çalışmasının bir bölümü olup, Harran Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'nce K19160 kodlu proje ile desteklenmiştir.

#### Yazarların Katkısı

A.G. ÖKTEM araştırmayı planlamış, denemeyi kurmuş, istatistiki analizleri yapmış, makaleyi yazmıştır. M.R. ÖZEL gözlem ve ölçümleri almıştır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Anonymous. 2019. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Statistics <http://www.fao.org/faostat> (Erişim tarihi: 15.04.2021)
- [2] Anonymous. 2019. National Agriculture Statistics Service <https://www.nass.usda.gov/> (Erişim tarihi: 20.04.2021).
- [3] Aygün Y., Acar M. 2004. Organik gübreler ve önemi. Hasat Dergisi, 228: 68-72.
- [4] Demir H., Polat E., Sönmez İ. 2010. Ülkemiz için yeni bir organik gübre: solucan gübresi. Tarım Aktüel 14: 54-60.
- [5] Maltaş A.Ş., Tavalı İ.E., Uz İ., Kaplan M. 2017. Kırmızı baş lahanaya (*Brassica oleracea* var. capitata f. rubra) yetiştiriciliğinde vermikompost uygulaması. Mediterranean Agricultural Sciences, 30: 155-161.
- [6] Alam M.N., Jahan M.S., Ali M.K., Ashraf M.A., Islam M.K. 2007. Effect of vermicompost and chemical fertilizers on growth, yield and yield components of potato in barind soils of Bangladesh. Journal of Application Science Research 3 (12): 1879-1888.
- [7] Ali M., Griffiths A.J., Williams K.P., Jones D.L. 2007. Evaluating the growth characteristics of lettuce in vermicompost and green waste compost. European Journal of Soil Biology 43: 316-319.
- [8] Singh R., Sharma R.R., Kumar S., Gupta R.K., Patil R.T. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch). Bioresource Technology, 99: 8507-8511.
- [9] Rangarajan A., Leonard B., Jack A. 2008. Cabbage Transplant Production Using Organic Media on Farm. In: Proceedings of National Seminar on Sustainable Environment, Edited by N. Sukumaran, Bharathiar University Press., Coimbatore, 45-53.
- [10] Çıtak S., Sönmez S., Koçak F., Yasin S. 2011. Vermikompost ve ahır gübresi uygulamalarının ıspanak bitkisinin gelişimi ve toprak verimliliği üzerine etkileri. Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Derim Dergisi, 28 (1): 56-69.
- [11] Ferreira M.E., Cruz M.C.P., Da Cruz M.C.P. 1992. Effects of compost from municipal wastes digested by earthworms on the dry matter production of maize and soil properties. Cientifica Japoticabol, 20 (1): 217-226.
- [12] Jat R.S., Ahlawat I.P.S. 2006. Direct and residual effect of vermicompost, biofertilizers phosphorus on soil nutrient dynamics and productivity of chickpea-fodder maize. Journal of Sustainable Agriculture 28: 41-54.
- [13] Prasanna K., Halepyati A.S., Desai B.K., Pujari B.T. 2007. Effect of integrated nutrient management on the productivity and nutrient uptake by maize (*Zea mays* L.). Karnataka Journal of Agricultural Sciences 20 (4): 833-834.
- [14] Anonim, 2017. Şanlıurfa Meteoroloji Bölge Müdürlüğü kayıtları, Şanlıurfa.
- [15] İdikut, L., Kara, S.N. 2013. Tane ürünü için yetiştirilen ikinci ürün mısır çeşitlerinin bazı verim öğeleri ile tane nişasta oranlarının belirlenmesi. KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi 16 (1): 8-15.
- [16] Öktem A., Toprak A. 2013. Çukurova koşullarında bazı atdışı mısır (*Zea mays* L. indentata) genotiplerinin verim ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2013, 17(4): 15-24.
- [17] Erdal Ş., Pamukçu M., Ekiz H., Soysal M., Savur O., Toros A. 2009. Bazı silajlık mısır çeşit adaylarının silajlık verim ve kalite özelliklerinin belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 22: 75-81.
- [18] Üzen S. 2020. Şanlıurfa Koşullarında Bazı Atdışı Mısır (*Zea mays* L. indentata) Genotiplerinin Verim ve Verim Unsurlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 1-87.
- [19] Bakış B., 2018. Mardin Ekolojik Koşullarında II. Ürün Olarak Yetiştirilen Bazı Tanelik Mısır (*Zea mays* L. indentata) Çeşitlerinin Verim ve Bazı Verim Unsurlarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Siirt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Siirt, 1-87.

- [20] Demiray Y.G., Kılıç H. 2015. Bingöl Ekolojik Şartlarına Uygun Tane Mısır (*Zea mays* L.) Çeşitlerinin Belirlenmesi. 11. Tarla Bitkileri Kongresi. Kongre kitabı, 7-10 Eylül, Çanakkale, 255-258.
- [21] Babaoğlu M., 2003. Farklı Kökenli Mısır (*Zea mays* L.) Genotiplerinin Çeşitli Agronomik ve Kalite karakterleri bakımından Karşılaştırmalı Olarak Değerlendirilmesi. Doktora Tezi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 1-108.
- [22] Şekeroğlu N., Dede Ö., Devenci M., Kara Ş.M. 2000. Melez mısır populasyonlarında verim ve verim unsurları arasındaki ilişkilerin path analizi ile belirlenmesi. Gazi Osman Paşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 17 (1): 79-82.
- [23] Vartanlı S. 2006. Ankara Koşullarında Hibrit Mısır Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-80.
- [24] Yılmaz N., Han E. 2016. Giresun ekolojik koşullarında bazı mısır çeşitlerinin tane verimi ve verim öğelerinin belirlenmesi. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6 (3): 171-176.
- [25] Turgut İ. 1998. Bursa koşullarında bazı melez mısır (*Zea mays indentata* Sturt.) çeşitlerinde tane verimi ve bazı verim öğelerinin korelasyonu ve path analizi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 14: 173-182.
- [26] Müftüoğlu N.M., 2016. Vermikompostun ıspanak verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkisi. Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 4: 1-5.
- [27] Özkan N., Dağlıoğlu M., Ünser E., Müftüoğlu N.M. 2016. Vermikompostun ıspanak (*Spinacia oleracea* L.) verimi ve bazı toprak özellikleri üzerine etkisi. Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 4 (1): 1-5.
- [28] Öktem A.G., Öktem A., Yahlizade B. 2018. Mısır bitkisinde (*Zea mays* L. *indentata*) vermikompost uygulamaları. Ivpe Yayınları, Karadağ, 1: 355-367.
- [29] Oo A.N., Iwai C.B., Saenjan P. 2015. Soil properties and maize growth in saline and non-saline soils using cassava-industrial waste compost and vermicompost with or without earthworm. Land Degradation and Development, 26: 300-310.
- [30] Ateş, 2016. Endojeik Toprak Solucanının Mısır Bitkisinde Besin Elementi Alımına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 1-57.
- [31] Özkan N, Müftüoğlu N.M. 2015. Farklı Dozlardaki Vermikompostun Marul Verimi ve Bazı Toprak Özellikleri Üzerine Etkisi. VII. Ulusal Bahçe Bitkileri Kongresi, 25-28 Ağustos, Çanakkale, 121-124.
- [32] Durukan H., Saraç H., Demirbaş A. 2020. Farklı dozlarda vermikompost uygulamasının mısır bitkisinin verimine ve besin elementleri alımına etkisi. Ziraat Fakültesi Dergisi, Özel Sayı: 45-51.
- [33] Köksal S.B., Aksu G., Altay H. 2017. Vermikompostun bazı toprak özellikleri ve pazı bitkisinde verim üzerine etkisi. Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 5 (2): 123-128.
- [34] Peyvast G.H., Olfati J.A., Madeni S., Forghani A. 2007. Effect of vermicompost on the growth and yield of spinach (*Spinacia oleracea* L.). Journal of Food, Agriculture & Environment 6: 132-135.
- [35] Taş T. 2020. Şanlıurfa koşullarında bazı atdışi hibrit mısır (*Zea mays indentata* Sturt) çeşitlerinin tane özellikleri ile tane verimi arasındaki ilişkilerin belirlenmesi. ISPEC Tarım Bilimleri Dergisi, 4: 222-233.
- [36] Aygün İ. 2012. Mısırdaki Aynı Genetik Tabandan Gelen Tek Melez, Üçlü Melez ve Çift Melezlerde Tane Verim ve Bazı Agronomik Özelliklerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-182.
- [37] Kuşvuran A., Nazlı R.İ. 2014. Orta Kızılırmak havzası ekolojik koşullarında bazı mısır (*Zea mays* L.) çeşitlerinin tane mısır özelliklerinin belirlenmesi. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 24 (3): 233-240.
- [38] Küçükşumuk Z., Gültekin M., Erdal İ. 2014. Vermikompost ve mikorizanın biber bitkisinin gelişimi ile mineral beslenmesi üzerine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 9 (1): 51-58.
- [39] Tavalı İ.E., Uz İ., Orman Ş. 2014. Vermikompost ve tavuk gübresinin yazlık kabağın (*Cucurbita pepo* L. cv. Sakız) verim ve kalitesi ile toprağın bazı kimyasal özellikleri üzerine etkileri. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 27 (2): 119-124.



- [40] Kalkan M, 2008. Farklı Mısır Olum Grupları ve Hasat Tarihlerinde Verim, Verim Ögeleri İle Besin Değerleri ve Aflatoksin Düzeylerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 1-88.
- [41] Koca Y.O. 2009. Aydın Bölgesinde, Birinci ve İkinci Ürün Mısırdaki (*Zea mays* L.) Verim, Verim Ögeleri, Fizyolojik ve Diğer Bazı Özellikler Arasındaki Farklılıklar. Doktora Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aydın, 1-135.
- [42] Atiyeh R.M., Edward C.A., Arancon N.Q., Metzger J.D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth, *Bioresource Technology*, 84 : (1) 7–14.
- [43] Tomati V., Grappelli A., Galli E. 1988. The hormone like effect of earthworm casts on plant growth. *Biology and Fertility of Soils*, 5: 288–294.
- [44] Ashoka P., Anand S.R., Mudalagiriappa P., Smitha R. 2009. Effect of macro and micronutrients with organics on growth, quality, yield and economics of baby corn (*Zea mays* L.) in tungabhadra command area. *Crop Research (Hisar)* 37: 15-18.
- [45] Büyükfiliz F. 2016. Vermikompost Gübrelemesinin Ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) Bitkisinin Verim ve Bazı kalite Parametreleri Üzerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, 1-62.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Uluslararası Bir Krizin Oyun Teorisi ile Matematiksel Olarak Modellenmesi

Murat ÖZKAYA<sup>1,2\*</sup>, Burhaneddin İZGİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Siyasal Bilgiler Fakültesi, İşletme Bölümü, Çanakkale.

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, İstanbul.

(ORCID: [0000-0001-7241-4710](https://orcid.org/0000-0001-7241-4710)) (ORCID: [0000-0002-8441-9137](https://orcid.org/0000-0002-8441-9137))

---

### Öz

Bu çalışmamızda, herhangi iki ülke arasında yaşanan karşılıklı can ve mal kayıplarıyla devam eden uluslararası bir krizi oyun teorisi kullanarak modelledik. İlk olarak, inceleyeceğimiz problemi geçmişte yaşanan bazı gerçek krizleri inceleyerek detaylarıyla tanımladık. Daha sonra, detaylı bir şekilde tanımladığımız bu problemi oyun teorisinin en bilinen oyunlarından biri olan tutuklu ikilemini temel alarak modelledik. İlk olarak, modellediğimiz bu oyunun saf Nash denge noktasını bulduk. Buna ek olarak, oyuncuların yani ülkelerin tekrar krize sürüklenmesi durumunda ne yapması gerektiğini incelemek için oyunu tekrarlı oyun haline getirdik. Daha sonra bu oyundaki stratejileri ve sonuçları açıkça görebilmek için oyunumuzu oyun ağacı şeklinde ifade ettik. Ardından, oluşan bu yeni durum için yeni oyunun getiri matrisini oluşturduk. Son olarak tekrarlı oyun haline gelen oyunun saf Nash denge noktalarını bulduk. Ayrıca, ikinci oyunun bir alt oyununu kullanarak oyunumuzu farklı bir açıdan tekrar çözdük. Böylece uluslararası bir krizi tutuklu ikilemini kullanarak başarıyla modelledik ve sonuçlarını sunduk.

**Anahtar kelimeler:** Oyun teorisi; Bimatrix oyunlar; Tutuklu ikilemi; Uluslararası ilişkiler; Uluslararası kriz.

---

## Mathematical Modeling of an International Crisis with Game Theory

---

### Abstract

In this study, we discuss a crisis occurring between any two countries and continuing with reciprocity losses of life and property in terms of game theory. First of all, we describe the problem in detail taking account of the real crisis that has occurred in the near-past. We then model the problem which is identified on the basis of The Prisoner's dilemma, which is one of the well-known game in game theory. We find the pure Nash equilibrium point of the first game. Later on, we model the game under the fact that these players have a crisis again, that is, we construct a repeated game. We expressed our game as a game tree so that we can clearly see the strategies and results in this game. Then, we created the payoff matrix of the new game for this new situation. Finally we find the pure Nash equilibrium points of the new game. In addition, we solve our game again from a different perspective using a subgame of the second game. Hence, we successfully model an international crisis using the prisoner's dilemma and present its results.

**Keywords:** Game theory; Bimatrix games; Prisoner's dilemma; International relations; International crisis.

---

### 1. Giriş

Oyun teorisi kısaca çatışma içeren durumlarda karar verme süreçlerini inceleyen bir bilim dalı olarak tanımlanabilir [1]. Ayrıca, oyun teorisini mücadele içeren durumları matematiksel bir yaklaşımla ele alan bir bilim dalı olarak da tanımlayabiliriz [2]. Bu teori ilk olarak 2. Dünya savaşındaki bazı durumlara matematiksel yaklaşımların uygulanması sonucu ortaya çıkmıştır [3]. Oyun teorisini detaylarıyla ele alan ilk kitap ise Von Neumann ve Morgenstern tarafından 1944 yılında yazılmıştır [4]. Oyun teorisinin literatürde farklı uygulamaları bulunmaktadır [5-8]. Biz çalışmamızda uluslararası yaşanan bir kriz

---

\*Sorumlu yazar: [murat.ozkaya@comu.edu.tr](mailto:murat.ozkaya@comu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 25.05.2021, Kabul Tarihi: 16.11.2021

durumunu ele alacağımızdan yani uluslararası bir problemi inceleyeceğimizden dolayı oyun teorisinin uluslararası ilişkiler açısından kullanımını içeren bazı çalışmaları şu şekilde sunabiliriz:

1985 yılında Snidal yaptığı çalışmada, oyun teorisinin uluslararası ilişkiler alanında yeni yeni kullanıldığını belirtmiştir. Oyun teorisinin giderek artan kullanımı sayesinde askeri-politik strateji analizlerinin, uluslararası ekonomi politikalarının daha iyi bir şekilde modellendiğini belirtmiştir [9]. 1995 yılında ise Allan ve Dupont sosyal etkileşimi oyun teorisi kullanarak inceleyen kişilerin neler yapması gerektiğini ve neleri dikkate alması gerektiğini çalışmalarında ifade etmişlerdir. Daha sonra, bu durumun teorik karmaşıklığı ve deneysel gücü arasındaki dengeyi incelemişlerdir. Bunu yaparken güvenlik ve uluslararası ekonomi politikası örneklerini kullanmışlardır [10]. 2001’de Correa oyun teorisinin uluslararası ilişkiler açısından kısıtlarını ve olanaklarını gösteren bir çalışma yayınlamıştır. Bu makalesinde bazı limitler ve kısıtlamalar altında oyun teorisinin uluslararası ilişkilerle ilgili problemlerin çözümünde kullanılabileceği sonucunu sunmuştur [11]. 2003 yılında Sandlers ve Arce teröristler ve antiteröristler arasındaki stratejik etkileşimin oluşturduğu problemlere oyun teorisinin uygulanabileceğini göstermişlerdir. Ayrıca ilgili çalışmada konuyu detaylandıran farklı çalışmalara da yer vermişlerdir [12]. 2007 yılında Wishnietsky, Amerikan tarihindeki başkanların yaptıkları hataları iki kişilik matris oyunları şeklinde modelleyip diğer karar verme yöntemleriyle birleştirmiştir. Ardından, bu modelleri kullanarak Clinton, Kennedy vb. gibi başkanların örneklerini inceleyerek detaylı bir şekilde ele almıştır. Bu uygulamalarının sonucunda oyun teorisi ve diğer karar verme yöntemlerinin kombinasyonu ile modelledikleri oyunların rasyonel çözümlerini açık bir şekilde sunmuştur [13].

Aydın 2009 yılındaki tezinde, ABD ile İran arasındaki nükleer rekabeti oyun teorisini kullanarak incelemiştir. İki ülke arasındaki bu gerilimi tam bilgili ve eksik bilgili oyun modellerini kullanarak ele almıştır [14]. Ferreira vd. 2010 yılında talep belirsizliğini uluslararası bir pazar üzerinde incelemiştir. Bunu yaparken Cournot ve Stackelberg duopolylerini kullanıp, elde ettikleri sonuçları birbirleriyle kıyaslamıştır [15]. 2015 yılına gelindiğinde ise Omrani vd. çalışmalarında diğer ülkelere elektrik dağıtımını yapan şirketlerin verimliliğini değerlendirmek için bütünsel bir yaklaşım sunmuştur. Daha gerçekçi sonuçlar elde etmek için pazarlık oyunu teorisini, temel bileşen analizini (principal component analysis) ve veri zarflama analizini (data envelopment analysis) birleştirmiştir [16]. Diesen oyun teorisi yardımıyla 2015’te Sovyetler Birliği’nin çöküşünden sonra ‘demokrasiler arası’ güvenlik kurumlarının yükselişini ve Rusya ile ilişkilerini takip eden etkilerini ele almıştır [17]. 2016 yılında, Bhuiyan oyun teorisinin bazı uygulamalarını çalışmada sunmuştur. Bu uygulamalar arasında Hindistan ve Bangladeş arasında yaşanan terörizm problemini ele almıştır. Oyun teorisi ile durumu modelledikten sonra terörizm konusunda iki ülkenin konuya karşı iş birliği yapıp yapmaması gerektiğini incelemiştir [18]. 2017’de Rass vd. çalışmalarında gelişmiş bir kalıcı tehdit (advanced persistent threats) savunması için bir risk azaltma aracı olarak geliştirilmiş bir matris oyunları sınıfını araştırmaktadır [19]. Aynı yıl içinde Levi tarafından yayınlanan çalışmada ise Kuzey Kore ve Çin arasında nükleer anlaşmazlıklar sebebiyle gelişemeyen ilişkiler ele alınmıştır. Bu iki ülke arasındaki ilişkiyi açıklamak için oyun teorisi kullanılmıştır. Oyun teorisinin Kuzey Kore ve Çin arasındaki ilişkilere uygulanmasına ilişkin bazı kısıtları çalışmada sunmuştur ve iki ülke arasındaki ilişkiyi farklı bir açıdan değerlendirmiştir [20]. 2018 yılında Yin ve Hamilton gümrük tarifelerinin uygulanması ve hedefli korumacılığın uygulanması için ABD ve Çin arasındaki ticaret davranışındaki olası eylemleri ve bunların sonuçlarını modellemek ve göstermek için oyun teorisi yaklaşımını ele alarak incelemiştir [21].

Tavares ve Tran 2019 yılındaki çalışmalarında Kanada ve ABD arasındaki iki turistik yer arasındaki rekabeti ve iş birliğini analiz etmek için oyun teorisini kullanmıştır. Çalışmanın sonucunda incelenen modelde bir Nash dengesi olduğu görülmüştür ve bu nedenle ABD’nin stratejisinin Kanada’nın tercihini değiştirmesi için herhangi bir gerekçe görülmediği sonucuna ulaşılmıştır [22]. Özdamar ise aynı yılda yayınlanan çalışmada İran’ın nükleer programı üzerine yapılan pazarlıkları ele alarak oyun teorisinin uluslararası ilişkilere uygulanabileceğini göstermiştir. Ayrıca oyun teorisini kullanarak İran’ın nükleer programı hakkında öngörüler oluşturmuştur ve bunları sonuçlarında sunmuştur [23]. Wen vd. 2019 yılında uluslararası ilişkilerde Çin’in iş birliğini rekabete tercih etmesi gerektiğini göstermek için kazan-kazan oyunu hipoteziyle beraber asimetric bir dinamik evrim oyunu oluşturmuştur. Bu modeli ise Afrika’ya yapılan Çin ve Japon çevresel yardım programları üzerine uygulamıştır [24].

2020 yılında Gassama vd.nin yaptığı çalışmada oyun teorisi aracılığıyla bölgesel olmayan güçlerin kendi çıkarlarına göre, özellikle batının artan taleplerini karşılamak için, enerji üretiminde hala güçlü olan Orta Doğu güçleri üzerinde hegemonik bir kontrole sahip olduklarını ileri sürmektedirler. Bu

nedenle, Orta Doğu ülkeleri bölgesel iş birliğine gitmeyip, farklılıkları uzlaştırmaz ise başta İran ve Suudi Arabistan olmak üzere oyunu kaybetmeye devam edeceklerini söylemektedir [25]. Krapohl vd. aynı yılda yayınladıkları çalışmalarında ise uluslararası ticaret iş birliğini incelemek için oyun teorisini kullanmışlardır. Bunun sonucunda uluslararası ticaret iş birliğinin istikrarlı bir dengede olmadığını ve ticaret serbestleştirme seviyelerinin koruma ticaret politikaları tarafından başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir [26].

Yukarıdaki örneklerden de görülebileceği gibi oyun teorisinin uluslararası ilişkilerin modellenmesinde etkin bir şekilde kullanıldığı anlaşılmaktadır. Biz bu çalışmamızda iki ülke arasındaki sınır güvenliği ve iç işlerine karışılma endişeleri sonucu ortaya çıkan çatışma durumunu oyun teorisi yardımıyla inceleyeceğiz. Bunu yaparken temel olarak Tutsak İkilemini kullanacağız. Çalışmanın devamı şu şekildedir: İkinci bölümde çalışma için gerekli olan bazı temel kavramlara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde çalışmada ele alınacak problem açıklanıp, modellenmiştir. Daha sonra modellenen problemin çözümü sunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlara yer verilmiştir.

## 2. Bazı Temel Kavramlar

Bu bölümde çalışma boyunca kullanılacak ve gerekli olacak bazı tanımlara ve açıklamalara yer vereceğiz. İlk olarak, sıfır toplamı bir oyunun tanımından başlayarak genel toplamı oyun, tekrarlı oyun, Nash dengesi ve çalışmanın temelinde kullanılacak olan tutuklu ikilemini sunacağız.

**Tanım 1 [27]:** Sıfır toplamı bir oyunun stratejik formu, diğer bir deyişle normal formu,

1.  $P$  boş olmayan ve I. oyuncunun stratejilerini içeren küme,
2.  $Q$  boş olmayan ve II. oyuncunun stratejilerini içeren küme,
3.  $A, X \times Y$  üzerinde tanımlı reel değerli bir fonksiyon olmak üzere,

$(X, Y, A)$  üçlüsü ile tanımlanır.

Kriz durumları, çıkar çatışmaları, rekabet durumları her zaman tek bir kez yaşanmayabilir, yani bu tür durumlar sürekli bir halde tekrarlanabilir. Böyle durumları tanımlamak için oyun teorisinde tekrarlı oyun kavramı ortaya konmuştur. Tekrarlı oyunlarda, oynanan oyun sayısı oyuncuların çıkarlarını, getirilerini etkilemektedir. Bu tür oyunlarda kayıplar daha da büyüyebileceği gibi kazançlarda büyüyebilir. Bu durum oyunun ilk haline bağlı olarak değişmektedir.

**Tekrarlı Oyun:** Bir oyunun üst üste oynandığı durumlarda oluşan oyunlar bütününe tekrarlı oyun denir. Eğer oyunun oynanış miktarı yani tekrar sayısı, sonlu ise sonlu tekrarlı oyun, sonsuz ise sonsuz tekrarlı oyun şeklinde tanımlanır.

**Nash Dengesi [29]:** Eğer bir strateji diğer stratejilere karşı en iyi karşılıksa bu stratejilerin oluşturduğu ikiliye saf Nash dengesi denir.

Sıfır toplamı olmayan matris oyunlarını, bimatrisler kullanarak gösterebiliriz. İlgili satır ve sütunlara her iki oyuncu için elde edilen getiriler sayı ikilileri şeklinde yazılarak oyunu bimatris olarak yazabiliriz. Aşağıda verilen tutuklu ikilemi bimatris oyunlar için bir örnek olarak kabul edilebilir.

**Tutuklu İkilemi [30]:** İki mahkûm bir suç şüphesiyle tutuklanmıştır. Her biri iki eylem arasında seçim yapmak durumundadır. Bu seçimler suçu kabul etmek (strateji "Evet") ve sessiz kalmak (strateji "Hayır") şeklinde iki tanedir. Oyunun  $G$  getiri bimatrisi aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$G = \begin{matrix} & \begin{matrix} E & H \end{matrix} \\ \begin{matrix} E \\ H \end{matrix} & \begin{bmatrix} (-6, -6) & (0, -10) \\ (-10, 0) & (-1, -1) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Getiri bimatrisinden de görüleceği gibi mahkûmlar suçu kabul ederse, 6 yıl ceza alırlar. Her ikisi de sessiz kaldığında, 1 yıl bir ceza alırlar. Suçu kabul etmenin diğer stratejilere kıyasla daha avantajlı olduğu görülebilir. Ayrıca bir mahkûm suçu kabul eder ve diğeri kabul etmezse, birincisi serbest kalırken ikincisi 10 yıl gibi daha büyük bir cezayı alır. Bu durumda oyunun Nash dengesi, yani iki

oyuncu için en uygun tercih, oyuncuların kazançlarının (-6,-6) oluşturduğu strateji profilinde diğer bir deyişle (E, E) stratejisinde yatmaktadır.

### 3. Problem

Bu bölümde öncelikle A ve B ülkeleri arasındaki çatışmayı açıklayıp, modelini oluşturacağımız durumları tanımlayacağız. Ardından bu durumları oyun teorisi kullanarak modelleyeceğiz. Modelimizi öncelikle ilk durumu tutsak ikilemini temel alarak kurup, çözümünü yapacağız. Daha sonra ilk durum için oluşturduğumuz tutsak ikileminden yararlanarak oyunu ikinci durum için genişleteceğiz. Diğer bir deyişle, oyunu tekrarlı oyun haline getireceğiz. Son olarak, oluşturduğumuz tekrarlı oyunun çözümünü elde edeceğiz.

Çalışma boyunca iki ülke arasındaki durumda ateşkese verilen destekler dışında dış faktörlerin etkisiz olduğu varsayılacaktır (üçüncü ülkelerin savaşa dahil olması, iç muhalif gruplar vs.).

*Durum I:* A ve B ülkeleri sınır komşusu olan iki ülkedir. A ülkesinde uzun bir süredir süregelen bir iç savaş yaşanmaktadır ve bu savaş A ülkesinin B ülkesiyle olan sınırına doğru ilerlemiştir. Bu savaştan dolayı B ülkesi sınır güvenliği ve göç dalgası endişesi yaşamaya başlamıştır. Bu nedenle B ülkesi uluslararası hukuka dayanarak A ülkesi ile olan sınırını korumak amacıyla bir sınır ötesi operasyon düzenleme kararı almıştır. B ülkesinin düzenlediği bu sınır ötesi operasyonları A ülkesi kendi iç işlerine karışılması olarak algılamış ve bu sebeple B ülkesinin sınır ötesinde bulunan askeri personeline yönelik karşı saldırılar başlatmıştır. Buna müteakip B ülkesi A ülkesinin saldırılarına karşı meşru müdafaa hakkını kullanarak hukuka uygun bir şekilde karşılık vermiştir. Bütün bu yaşananlar sonucunda hem A ülkesi hem de B ülkesi çok sayıda can (askeri ve sivil personel) ve mal (askeri teçhizat, meskûn yapı hasarları gibi) kaybı yaşamıştır. Yaşananlar uluslararası basında yer bulmuş ve üçüncü ülkelerin arabuluculuğuyla karşıt taraflar arasında ilk ateşkes imzalanmıştır. Ateşkesin imzalanmasıyla iki ülkenin karşılıklı can ve mal kayıpları durmuştur.

*Durum II:* İlk ateşkesin imzalanmasından bir süre sonra A ülkesinden iç savaşın şiddeti tekrar artmış ve B ülkesinin sınır ve göç dalgası endişesi tekrar ülke gündemine gelmiştir. Böylece B ülkesi operasyona kaldığı yerden devam etmeye başlamıştır. Bunun ardından A ülkesi ilk olaydaki tutumunu sergileyip B ülkesinin sınır ötesindeki personeline tekrar saldırmıştır. Çalışmamızda ele alacağımız ikinci durumu yukarıdaki gibi özetleyebiliriz. Bu durumlar altında ülkelerin nasıl bir tutum sergilemesi gerektiğini oyun teorisi yardımıyla inceleyeceğiz.

İlk olarak, aşağıda Durum I'i arka planda Tutuklular ikilemini kullanarak oyun teorisi yardımıyla modelleyeceğiz. Satır oyuncusu A ülkesi, sütun oyuncusu B ülkesi olsun.

A: Ateşkes ve S: Karşılıklı saldırıların devam etmesini temsil etmek üzere,

$$G_{I.durum} = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & S \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ S \end{matrix} & \begin{bmatrix} (-1, -1) & (1, -2) \\ (-2, 1) & (-3, -3) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

tutsak ikilemi şeklinde  $G_{I.durum}$  getiri bimatrisini yukarıdaki gibi oluşturduk. Getiri matrisinin girdileri oluşturulurken aşağıdakiler temel alınmış ve bunları temsilen sayılar atanmıştır:

1. Ateşkes- Ateşkes durumları için hali hazırda taraflar birbirine verdikleri zararı ilk anda durduracakları için kayıpları minimum olacaktır. Bu sebeple getiri olarak -1 verilmiştir.
2. Ateşkes-Saldırı (ya da Saldırı-Ateşkes) durumunda ise Ateşkes ilan eden taraf uluslararası düzeyde iyi niyetini göstermiş olup, diğer ülkelerin desteğini kazanacak ve haklı görüleceğinden +1, saldırıya devam eden ülke uluslararası düzeyde kötü görünüp destek ve maddi kayıplarla karşılaşacağına -2 değerleri verilmiştir.
3. Saldırı-Saldırı durumunda ise taraflar hem maddi zararlar karşılaşacak hem de uluslararası düzeyde gerginliği arttıracığından dolayı kayıplar diğer durumlara göre daha fazla olacaktır. Bu nedenle -3 değeri getiri olarak verilmiştir.

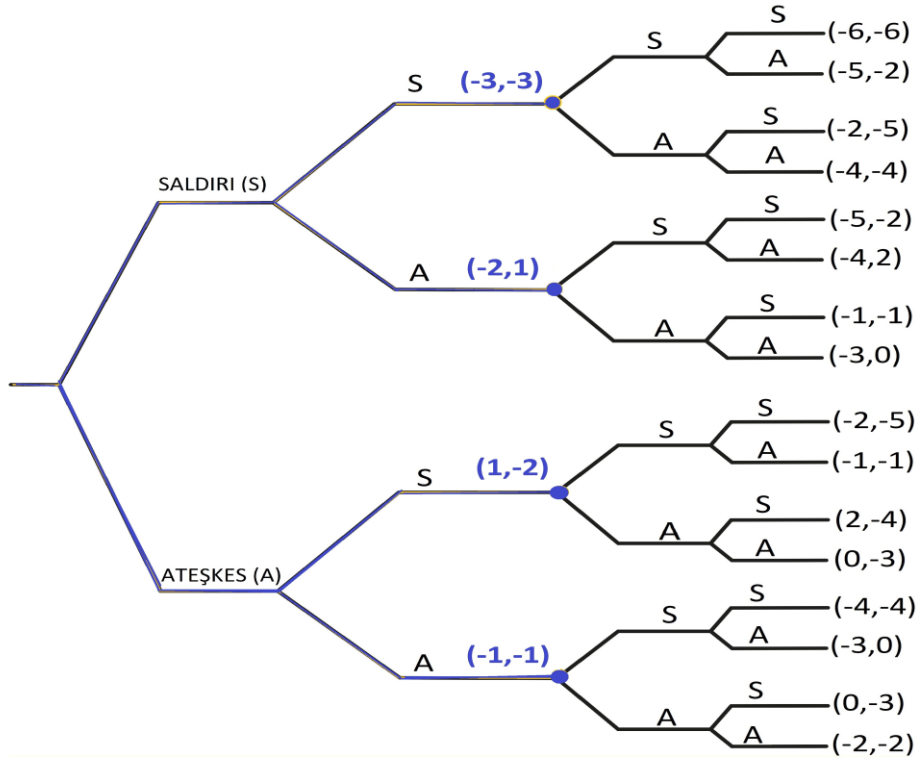
Birinci durumu temsil eden bu oyunun çözümüne Nash denge noktalarını bularak ulaşabiliriz. Nash denge noktalarını bulmak için her sütunda en büyük olan ilk sayının üzerine bir işaret koyarız ve aynı şekilde her satırda en büyük olan ikinci sayının üzerine bir işaret koyarız. İşaretle olan herhangi bir sayı çifti oyunun Nash dengesini gösterir [28].

$$G_{I.durum} = \begin{matrix} & \begin{matrix} A & S \end{matrix} \\ \begin{matrix} A \\ S \end{matrix} & \begin{bmatrix} (-1, -1) & (1, -2) \\ (-2, 1) & (-3, -3) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

İşaretlemleri yapıldıktan sonra yukarıda görüldüğü gibi oyun tek bir Nash dengesi olduğunu görülmektedir ve bu denge noktası (A,A) stratejisidir. Her iki ülke içinde ateşkes yapmak kendi çıkarlarını korumak adına daha iyi bir seçenektir. Böylece taraf ülkeler can ve mal kayıplarını durdurabilir ya da en az seviyeye indirebilir.

İlerleyen süreçte, iki ülke arasındaki durumun tekrar yaşandığını yani sınır güvenliği endişesi, göç dalgası, iç işlerine karışılması kaygısı vb. durumların, tekrar başladığını varsayıyoruz. Böylece A ve B ülkeleri arasındaki karşılıklı saldırıların tekrarlanması sonucu can ve mal kayıplarının hızlı bir şekilde arttığını görüyoruz (Durum II).

Durum II'nin modellemesini yapmadan önce bu durumu anlatan bir oyun ağacı oluşturacağız (Detaylı bilgi için [31])



**Şekil 1.** Durum II'nin oyun ağacı ile gösterilmesi

Mavi çizgiler ile gösterilen kısımlar Durum I sonucu elde edilen oyun getirilerini, siyah çizgiler ile temsil edilen kısımdaki getiriler ise Durum II sonucu oluşan oyun getirilerini göstermektedir. Oyun ağacından da görüleceği üzere tekrarlı oyunlarda, tekrar sayısı arttıkça her oyuncu için strateji kümesi daha da genişlemektedir. Oyun ağacındaki stratejileri özetlemek için ağacı bir tablo haline getirirsek aşağıdaki gibi olur (Detaylar için [32]).

**Tablo 1.** Oyun ağacındaki stratejiler

SSSS: (-6,-6)	SSSA: (-5,-2)	SSAS: (-2,-5)	SSAA: (-4,-4)
---------------	---------------	---------------	---------------

SASS: (-5,-2)	SASA: (-4,2)	SAAS: (-1,-1)	SAAA: (-3,0)
ASSS: (-2,-5)	ASSA: (-1,-1)	ASAS: (2,-4)	ASAA: (0,-3)
AASS: (-4,-4)	AASA: (-3,0)	AAAS: (0,-3)	AAAA: (-2,-2)

Tablo 1.'deki SSSS ifadesi ilk durumda SS stratejisi seçilip ikinci durumda da SS stratejisinin kullanıldığını temsil etmektedir, benzer şekilde SAAS ise ilk durumda SA, ikinci durumda AS stratejilerinin seçildiğini göstermektedir. İkinci durum için oyunun getiri bimatrisini

$$G_{II.durum} = \begin{bmatrix} (-6, -6) & (-5, -2) & (-5, -2) & (-4, 2) \\ (-2, -5) & (-4, -4) & (-1, -1) & (-3, 0) \\ (-2, -5) & (-1, -1) & (-4, -4) & (-3, 0) \\ (2, -4) & (0, -3) & (0, -3) & (-2, -2) \end{bmatrix}$$

şeklinde elde ederiz ( $G_{II.durum}$  matrisinin oluşturulmasındaki detaylar için [32]). Daha sonra Nash denge noktalarını bulabilmek için ilk durumdakine benzer şekilde işaretlemeleri aşağıdaki gibi yaparız:

$$G_{II.durum} = \begin{bmatrix} (-6, -6) & (-5, -2) & (-5, -2) & (-4, \bar{2}) \\ (-2, -5) & (-4, -4) & (-1, -2) & (-3, \bar{0}) \\ (-2, -5) & (-1, -3) & (-4, -4) & (-3, \bar{0}) \\ (\bar{2}, -4) & (\bar{0}, -3) & (\bar{0}, -3) & (\bar{-2}, \bar{-2}) \end{bmatrix}$$

İşaretlemeleri yaptıktan sonra Nash denge noktasını  $(-2, -2)$  olarak buluruz, bu strateji ise AAAA karşılık gelmektedir. Diğer bir deyişle, hem ilk durumda AA stratejisinin kullanılması gerektiğini, hem de ikinci durumda AA stratejisinin kullanılması gerektiğini görüyoruz. İkinci durumda da karşılıklı ateşkes yapılmasının hem A ülkesinin hem de B ülkesinin avantajına olacağı ve durumun bu şekilde sürdürülmesi gerektiği sonucuna ulaşabiliriz.

Diğer taraftan  $G_{II.durum}$  getiri matrisini oluşturan oyunun, yani ikinci durumun, ilk strateji durumu dikkate alınarak bir alt oyuna indirgenip, çözüldüğünde aynı stratejiye ulaşabiliriz. Problemdeki ilk durumda rasyonel bir oyuncunun AA stratejisinin kullanıldığı bilinmektedir, bu nedenle oyun ağacında sadece ilk oyunun sonunda kullanılan AA stratejinden sonra gelen dalları kullanarak ilgili alt oyunun getiri matrisini şu şekilde oluşturabiliriz.

$$G_{alt_oyun} = \begin{matrix} A \\ S \end{matrix} \begin{bmatrix} A & S \\ (\bar{-2}, \bar{-2}) & (\bar{0}, -3) \\ (-3, \bar{0}) & (-4, -4) \end{bmatrix}$$

Daha sonra oluşturduğumuz bu oyunun Nash denge noktalarını yukarıdaki oyunlara benzer şekilde bulacak olursak Nash denge noktasının AA stratejisi olduğu görülmektedir. Diğer bir deyişle, rasyonel bir oyuncunun  $G_{alt_oyun}$  oyununda da ateşkes stratejisini seçmesi gerektiği ifade edilmektedir.

Bu çalışmada problemi ele alırken ülkeler arası gerilimin iki defa yaşandığını varsaydık. Fakat bu durum daha fazla ve sonlu miktarda tekrarlanacak olursa oluşacak yeni oyunlar için de benzer şekilde çözüme ulaşılabilir. Oyunu geriye doğru indüksiyon yöntemi ile çözebiliriz. Diğer bir deyişle, her yeni oluşacak durumu ülkelerin son krizi olacakmış gibi değerlendirip, tek bir oyun şeklinde çözebiliriz. Örneğin ülkelerin onuncu krizini ele alalım, bu durumda onuncu krizin son kriz olacağını düşünüp bir önceki krizdeki gibi Ateşkes-Ateşkes stratejilerini seçmek, çalışmamızda da gösterdiğimiz üzere, her iki ülke içinde en avantajlı seçenek olacaktır. Bu durumda oyuncular, yani ülkeler, bu tarzda oluşabilecek her yeni bir kriz için saf Nash denge noktası olan Ateşkes-Ateşkes stratejilerini kullanmalıdır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

İki ülke arasında meydana gelen uluslararası bir gerginliği tutuklu ikilemi yardımıyla iki farklı durum için modelledik. Durum I olarak tanımladığımız olay da krizin sadece bir kere yaşanacağı varsayımından yola çıktık ve bunu tutuklu ikilemi üzerine inşa ettik. Ardından, oyunun Nash denge noktasını bulduk. Denge noktası ateşkes seçeneğinin en iyi seçenek olduğunu göstermektedir.

Daha sonra Durum I'de tanımladığımız gerginliğin tekrar yaşandığı varsayımı altında Durum II olayını tanımladık. Bundan sonra Durum II'yi oyun ağacı şeklinde modelledik ve getirilerini hesapladık. Oyun ağacını oluşturduktan sonra elde ettiğimiz stratejilerin getirilerini bir tablo halinde sunduk ve Durum II diye tanımladığımız olay için getiri matrisini oluşturduk. Bu getiri matrisini kullanarak Nash denge noktasını bulduk. Tekrarlı oyun haline getirdiğimiz ve çözdüğümüz bu oyunda da optimal seçeneğin tekrarı halinde yeniden ateşkes yaparak, kayıpları en aza indirmek olduğunu gösterdik.

Buna ek olarak, ilk durumda ateşkes seçeneklerinin kullanıldığını bildiğimizden ikinci durum için oluşturduğumuz oyun ağacındaki bir alt oyunu kullanarak da çözüme ulaştık. Her iki çözümde de bulduğumuz strateji iki tarafında ateşkes seçeneğini tercih etmesi gerektiğini göstermektedir. Böylece uluslararası bir gerginlik durumuna tutuklu ikilemini başarılı bir şekilde uygulayarak, ülkelerin maksimum menfaatleri için almaları gerektiği pozisyonları oyun teorisi açısından sunmuş olduk.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye eşit miktarda 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] Shubik M. 1964. Game Theory and Related Approaches to Social Behaviour: Selections. John Wiley & Sons. New York, USA.
- [2] Guseinov K. G., Akyar E., Düzce S. A. 2010. Oyun Teorisi: Çatışma ve Anlaşmanın Matematiksel Modelleri. Seçkin. Ankara, Türkiye.
- [3] Haywood Jr, O. G. 1954. Military decision and game theory. Journal of the Operation Research Society of America. 2 (4): 365-462.
- [4] Von Neumann J., Morgenstern O. 1944. Theory of Games and Economic Behaviour. Princeton University Press. Princeton, New Jersey, USA.
- [5] İzgi B., Özkaya M. 2019. A new perspective to the solution and creation of zero sum matrix game with matrix norms. Applied Mathematics and Computation, 341, 148-159.
- [6] İzgi B., Özkaya M. 2019. Matris normları ile bir matris oyununun adilliğinin gösterilmesi. International Journal of Advances in Engineering and Pure Sciences, 31 (2): 126-132.
- [7] İzgi B., Özkaya M. 2020. Tarım sigortası gerekliliğinin oyun teorisi yardımıyla gösterilmesi: Matris Norm Yaklaşımı. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi , 20 (5): 824-831.
- [8] Özkaya M., İzgi B. 2021. Effects of the quarantine on the individuals' risk of Covid-19 infection: Game theoretical approach, Alexandria Engineering Journal, 60 (4): 4157-4165.
- [9] Snidal D. 1985. The game theory of international politics. World Politics, 38 (1): 25-55.
- [10] Allan P., Dupont C. 1999. International relation theory and game theory: baroque modeling choices and empirical robustness. International Political Science Review, 20 (1): 23-47.
- [11] Correa H. 2001. Game theory as an instrument for the analysis of international relations. Ritsumaikan International Research, 14 (2001): 197-208.



- [12] Sandler T., M. Arce, D.G. 2003. Terrorism & game theory. *Simulation & Gaming*, 34 (3): 319-337.
- [13] Wishnietsky A. 2007, Applying Game Theory to Presidential Mistakes. Ph.D. Thesis. Graduate Faculty of Auburn University, Auburn, Alabama, 188.
- [14] Aydın S. 2009. The Super Power versus a Regional Power: A Game Theoretical Approach to the Current Nuclear Tension between the US and Iran. M.Sc. Thesis. The Institute of Economic and Social Sciences, Bilkent University, Ankara, 103.
- [15] Ferreira F. A., Ferreira F. 2010. Simultaneous Decisions or Leadership in an International Competition. *AIP Conference Proceedings*. 1281 (2010): 804-807.
- [16] Omrani H., Beiragh G.R., Kaleibari S.S. 2015. Performance assessment of Iranian electricity distribution companies by an integrated cooperative game data envelopment analysis principal component analysis approach. *Electrical Power and Energy Systems*. 64 (2015): 617-625.
- [17] Diesen G. 2015. EU and NATO relations with Russia: After the collapse of the Soviet Union. Routledge.
- [18] Bhuivan B.A. 2016. An overview of game theory and some applications. *Philosophy and Progress*. LIX-LX: 112-128.
- [19] Rass S., König S., Schauer S. 2017. Defending against advanced persistent threats using game theory. *PLOS ONE*, 12 (1), e0168657.
- [20] Levi N. 2017. Applying game theory to North Korea-China relations. *Journal of Modern Science*. 33 (2): 355-366.
- [21] Yin J.Z., Hamilton M.H. 2018. The conundrum of US-China trade relations through game theory modeling. *Journal of Applied Business and Economic*, 20 (8): 133-150.
- [22] Tavares J.M., Tran X. 2019. Is there a strategic independence between the USA and Canada in the tourism sector? An Analysis Using Game Theory. *Tourism Planning Development*, 13 (3): 304-317.
- [23] Özdemir Ö. 2019. An application of expected utility modeling and game theory in ir: assessment of international bargaining on Iran's nuclear program. *All Azimuth*, 8 (2): 205-230.
- [24] Wen Y., Li H., Du X., Yang K., Casazza M., Liu G. 2019. Analytical approach to win-win game analysis for Chinese and Japanese development assistance strategies in Africa. *Ecological Indicators*, 96 (2019): 219-229.
- [25] Gassama S.K., Ebrahimi M., Yusoff B.K. 2020. The oil hegemonic system and game theory: regional versus trans-regional powers in the middle east. *Contemporary Review of the Middle East*, 7 (3): 358-376.
- [26] Krapohl S., Ocelik V., Walentek D.M. 2020. The instability of globalization: applying evolutionary game theory to global trade cooperation. *Public Choice*.
- [27] Ferguson T.S. 2014. *Game Theory Part II*. Mathematics Department UCLA, 2nd Edition.
- [28] Ferguson T.S. 2014. *Game Theory Part III*. Mathematics Department UCLA, 2nd Edition.
- [29] Prisner E., G. 2014. *Game Theory through Examples*. The Mathematical Association of America, USA.
- [30] Mazalov V. 2014. *Mathematical Game Theory and Applications*. John Wiley & Sons. West Sussex, U.K.
- [31] Baron E. N. 2013. *Game Theory: An Introduction*. John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA.
- [32] Straffin P. D. 1993. *Game Theory and Strategy*. The Mathematical Association of America, Washington, USA.

## Image Processing of Optical Vortex and Determination of OAM

Makbule GÖK<sup>1\*</sup>, Koray KÖKSAL<sup>2</sup>

*1 Bitlis Eren Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitlis, Türkiye*  
*2 Bitlis Eren Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Bitlis, Türkiye*  
(ORCID: [0000-0003-3452-0533](https://orcid.org/0000-0003-3452-0533)) (ORCID: [0000-0001-8331-9380](https://orcid.org/0000-0001-8331-9380))

### Abstract

This study aims to analyze the transverse spatial profile of the intensity of optical vortex patterns which have been produced by using fork hologram and spatial light modulator. The properties of intensity distribution has been investigated by using image processing technique. The results will be very useful to understand the change of the intensity profile and the value of orbital angular momentum of optical vortex patterns which are obtained experimentally.

**Keywords:** Image processing, Orbital angular momentum, Twisted light

## Optik Vorteks için Görüntü İşleme ve OAM Tayini

### Öz

Bu çalışma, optik girdap desenlerinin yoğunluğunun enine uzaysal profilini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Çatal hologram ve uzaysal ışık modülatörü kullanılarak üretilmiştir. Yoğunluk dağılımının özellikleri görüntü işleme tekniği kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar deneysel olarak elde edilen optik girdap desenlerinin momentumunu, yoğunluk profilinin değişimini ve yörünge açısının değerini anlamak için çok faydalı olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Görüntü işleme, Yörüngesel açılal momentum, Bükümlü ışık

### 1. Introduction

Orbital angular momentum (OAM) carrying light which has been named as twisted light or optical vortex beam receive an increasing attention in the field of singular optics due to the potential applications such those optical tweezers [1,2], quantum cryptography [3], free space communication [4], optical trapping and cooling [5, 6]. Orbital angular momentum of light is a result of topological charge value in azimuthal term,  $e^{i\ell\phi}$  which is providing the helical characteristics of the light. Similarly, as in the case of angular momentum value  $\mp\hbar$  of spin polarized light, twisted light can take the values of  $\mp\ell\hbar$ .

For the generation of optical vortex beams, some different experimental techniques have been used. Spiral phase plates [7] and dove prisms [8] are methods to produce the constant topological charge carrying light. Allowing dynamical modulation of amplitude and phase, spatial light modulators [9] can be used to generate the optical vortex patterns with the aid of computer-generated holograms.

The inhomogeneous characteristics of transverse profile of an optical vortex beam leads to the optical force gradient which can be used as a strong tool for manipulating some dielectric microparticles, atoms and molecules [10]. In theoretical point of view, Laguerre-Gaussian beams are well defined optical vortices which are the solutions of paraxial wave equation in cylindrical coordinates [11, 12]. Laguerre-Gaussian (LG) beams can be created by using fork-hologram techniques [13], but of course there can be some differences between the theoretically and experimentally obtained radial profiles.

The transverse profile of an LG beam reads where  $E_0$  is the amplitude of electromagnetic field.  $\ell$  is known as the topological charge or orbital angular momentum (OAM) of light which is

\*Corresponding author: [makbule.elif.gok@gmail.com](mailto:makbule.elif.gok@gmail.com)

Received: 04.06.2021, Accepted: 07.12.2021

characterizing the helical phase change of the electromagnetic field.  $w(z)$  is the  $z$ -dependent beam waist and  $p$  is the radial node.

$$\vec{E} = E_0 \frac{C_{\ell,p}}{\sqrt{1+\frac{z^2}{z_R^2}}} e^{-\frac{\rho^2}{w^2(z)}} \left(\frac{\sqrt{2}\rho}{w^2(z)}\right)^{|\ell|} L_p^{|\ell|} \left(\frac{2\rho^2}{w^2(z)}\right) \times e^{-i\omega t} e^{i\ell\phi + ikz - i(2p+|\ell|+1)\tan^{-1}(z/z_R) + i\frac{k\rho^2 z}{2(z^2+z_R^2)}} \hat{x} \quad (1)$$

As seen in Eq. 1, OAM is well defined and described in the phase term of the expression. But it is well known that the OAM value of experimentally produced LG beam cannot be determined easily. In this study, our main aim is to produce the optical vortices, to get the images of the spots and to perform an image processing of the spots to get the information of OAM value. In our work, we obtain OAM value by using an optical technique and image processing technique.

We claim that any simple information (here total intensity) obtained by image processing can give a valuable and a discrete data which indicates the value of OAM.

## 2. Material and Method

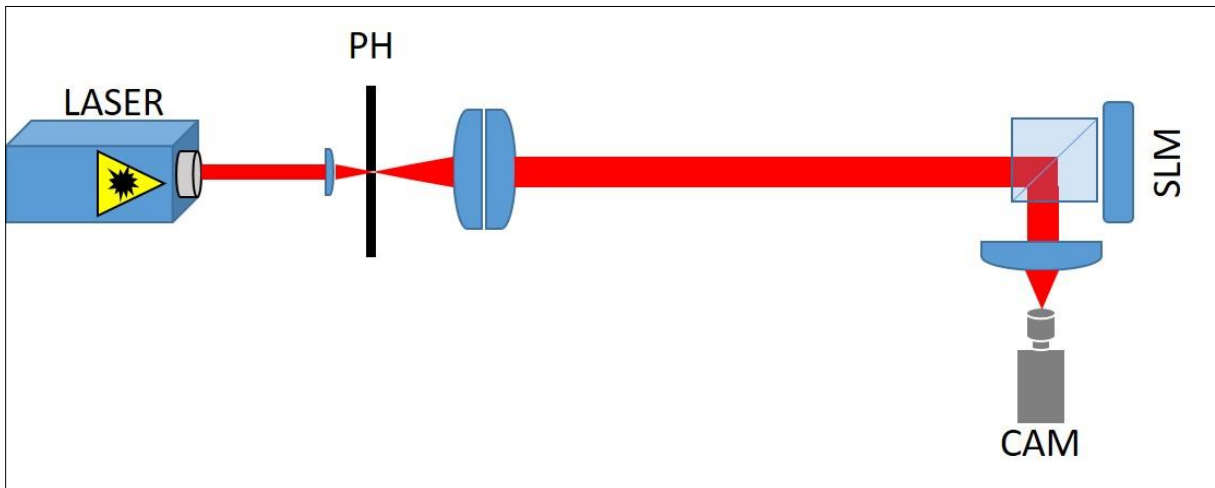
It is well known that any experimentally produced optical vortex beam can be theoretically described by the Eq. 1. As a simple technique, computer-generated holograms are quite effective to produce the optical vortex patterns. Although general trend is to use liquid crystal displays to modulate and tune the intensity profile of transmitted light [14], there is a possibility to use DMD displays due to their advantages of rapid refresh rates and amplitude modulation properties [15, 16]. In this experiment shown schematically in Fig. 1, we used both different techniques (DMD and LCD displays) to obtain computer-generated holographic masks and introduce an experimental setup.

In fig. 1, SLM refers to the liquid crystal display (LCD) based spatial light modulator (SLM) device. The pixels on LCD-SLM can be tuned by computer and it is possible to design the wavefront of laser beam by using holographic phase or amplitude masks [14].

The analytical expression for computer-generated holographic masks can be described as an interference of two exponential functions such that

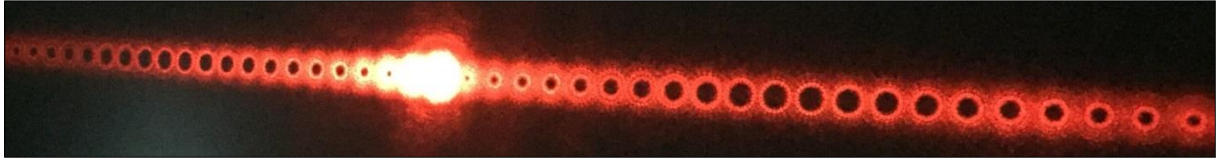
$$\mathcal{X}_T = |\mathcal{X}_1 + \mathcal{X}_2|^2 \quad (2)$$

where  $\mathcal{X}_1 = e^{ikx}$  and  $\mathcal{X}_2 = e^{i\ell\phi}$ . Here,  $\ell$  is the topological charge. This mask should be illuminated with a gaussian beam to get far-field Fraunhofer diffraction patterns [17].



**Figure 1.** Experimental setup for production and image of the optical vortex patterns. We used 1 mW He-Ne laser with 632.8 nm. PH and CAM indicate the pinhole and CCD camera. Beam splitter and lenses are other elements in the experimental setup

Keeping the wavelength of the laser light constant (here 632.8 nm), we change the topological charge ( $\ell$ ) value of the masks. The obtained radial profiles of the optical vortex patterns are shown in Fig. 2. The analytical expressions and corresponding mask paintings are obtained by using the Mathematica software. The line width between dark fringes should be carefully adjusted to achieve a diffraction.

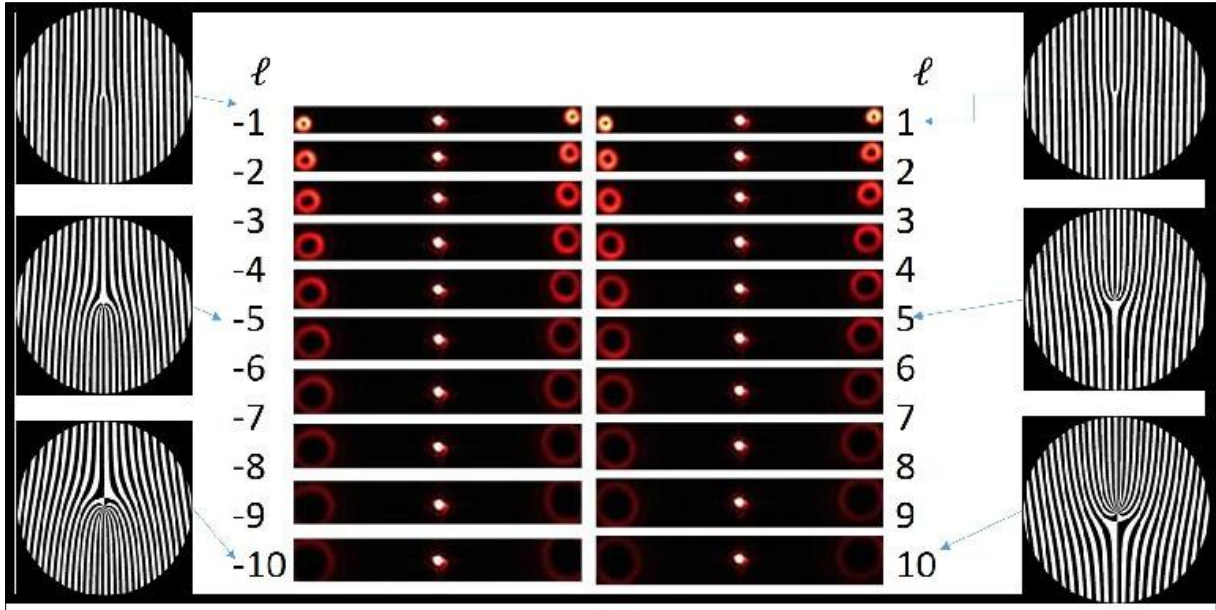


**Figure 2.** Optical vortex patterns for  $\ell = 1$  which is obtained by using fork holograms projected on SLM. It is possible to see all patterns with topological charge values from  $\ell = -12$  to  $\ell = 12$

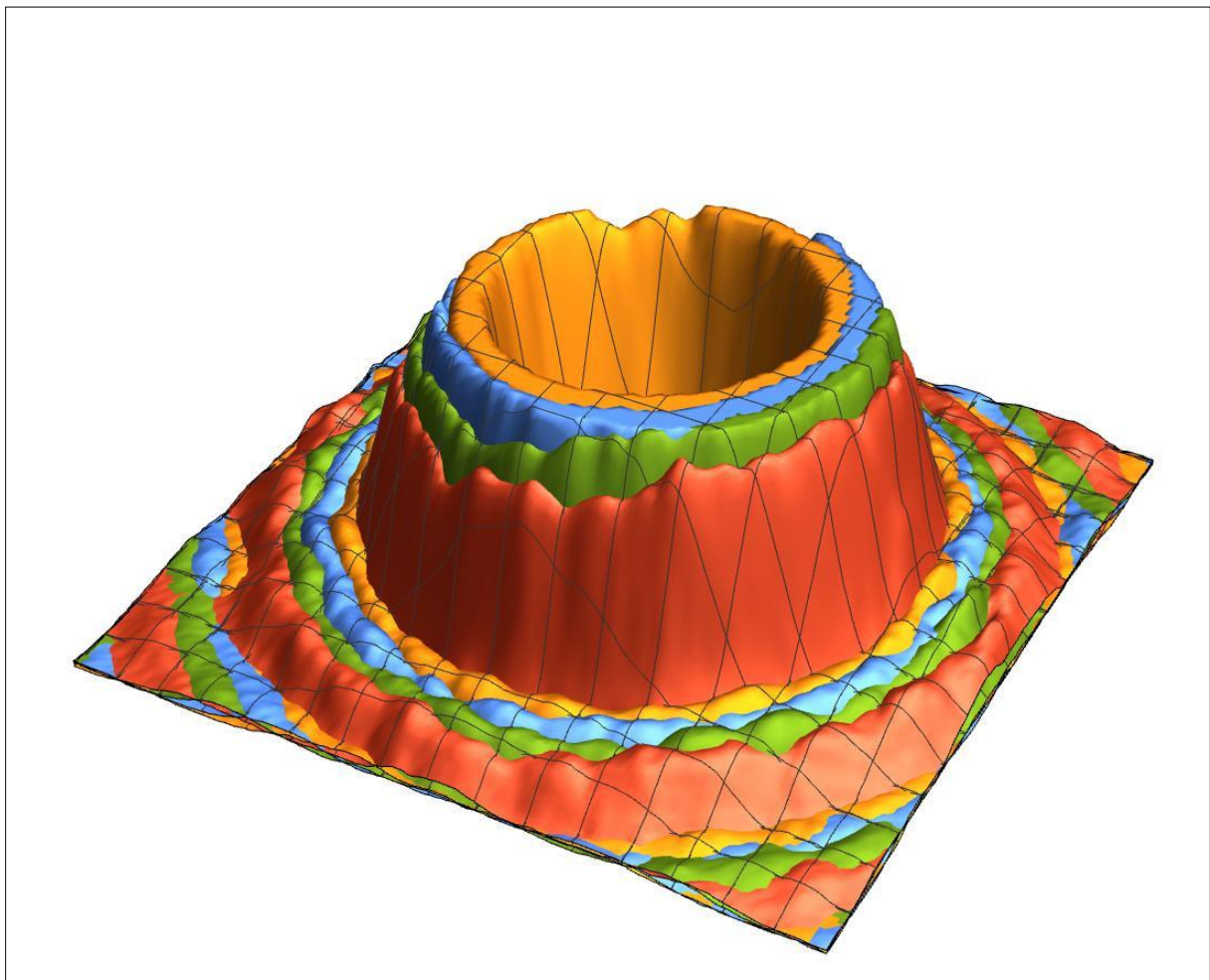
Not only to produce holographic masks, but also to perform image processing, Mathematica is very useful tool to process and analyze any image obtained by optics experiment. Some studies have given effort to analyze the profile of the beam in transverse plane and in propagation directions [18–20]. Here, we concentrate on the relationship between the intensity distribution in radial direction. And we claim that the information about the radial profile of the light can indicate the characteristics of OAM of light.

### 3. Results and Discussion

In this study, we performed to generate the holographic masks by taking the values of topological charge between  $-10 < \ell < 10$ . Because of the fork hologram technique, even in the case of  $\ell = 1$ , many optical vortex patterns with different  $\ell$  values can be observed in the screen. Fig. 3 shows holographic masks and corresponding first order optical vortex patterns. For every value of  $\ell$ , the radial profile of the spot in the middle is same with that of original laser spot produced by laser source. The doughnut or ring shape profile can be easily seen on both sides of original spot. The radius of ring is increasing with the value of topological charge. However, it is not possible to observe an obvious difference between left- and right-hand-side spots. One technique to understand the characteristics of the vortex beams can be an interference of two beams. But here our aim is to analyze the beams by using image processing techniques.



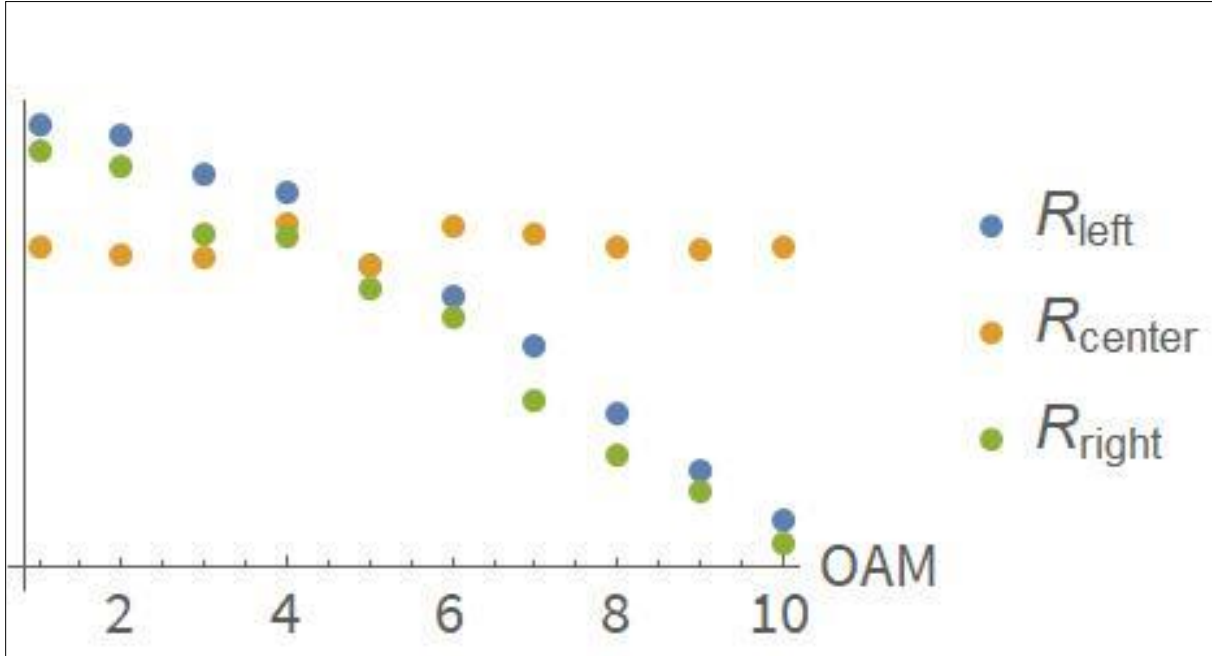
**Figure 3.** Optical vortex patterns for  $\ell = 1$  which is obtained by using fork holograms projected on SLM. It is possible to see all patterns with topological charge values from  $\ell = -10$  to  $\ell = 10$



**Figure 4.** 3D profiles of spots with topological charge values from  $\ell = 7$  to  $\ell = 10$



2D images of spots to the 3D radial profile of optical vortices by using the image processing technique. One can see the oscillation through radial direction. This oscillation shows that radial node  $p$  (see Eq. 1) is different from zero. The term,  $\left(\frac{\sqrt{2}\rho}{w^2(z)}\right)^{|\ell|}$  in Eq. 1 is indicating an expansion of the dark region of the doughnut shape with the increase in OAM value. The Fig. 4 shows this expansion and the whole properties of the Eq. 1.



**Figure 5.** Total intensity of the spots with topological charge values from  $\ell = 1$  to  $\ell = 10$

Furthermore, it is also possible to get the total intensity for understanding any change between the spots with different OAM values. In Fig. 5, the bright spots mid of the ring-shaped spots are always indicating  $\ell = 0$ . In Fig. 5, the yellow marks named as “ $R_{center}$ ” Show the total intensity values of these bright spots. As seen in the figure, the values of the total intensity of central spots are making an oscillation around a constant value. But the total intensity values of the spots on left ( $R_{left}$ ) and right ( $R_{right}$ ) hand-side of central spots are decreasing with increasing OAM. As we mentioned before, the interference patterns are not limited with these spots. It seems that for lower values of OAM, first two spots are brighter than central spot. For higher values of OAM, central spot is brighter than other ones.

The Fig. 5 which is a result of image processing can be analyzed in another way. By the mean of optical or electronic devices, it is very important to detect OAM or spin angular momentum value of light. In the case of any method using optical techniques. As an example of optical technique to define the OAM value of light, we got the image of the spot which is produced by using two counter-propagating light beams. In Fig. 6, the number of the lobes will give two times OAM value. From this figure, we can directly guess that the OAM is  $\ell = 5$ . However, this technique is not useful in the case of single beam applications.

The result in the Fig. 5 can be used as an example of obtaining the OAM value of light by the mean of electronic tool. Because we got this result by using a digital camera and converted the signals to the numerical values. As seen in the figure, the total intensity value is decreasing with the increasing of OAM. Which means that there is a way to determine the OAM of light with an electronic device.



**Figure 6.** The intensity patterns of two counter-propagating twisted light

#### **4. Conclusion**

We showed that the value of orbital angular momentum of twisted light obtained by using image processing technique. The total radial intensity of the light is decreasing with the increasing of OAM. Even in the case of lack of a perfect distinction between total intensity values of  $-\ell$  and  $+\ell$ , it is clearly seen that as a reference value, the total intensity of central spot ( $\ell = 0$ ) has a constant value for all values of OAM. The total intensity of right- and left-hand-side spots are varying with respect to the that of central spot. This result indicates that image processing is a useful tool to determine OAM of the light.

#### **Acknowledgment**

This work is supported by Bitlis Eren University Research Projects Office with Grant number BEBAP 2021.10.

#### **Author's Contributions**

Koray KÖKSAL has planned the experimental setup and written the results. Experiments have been performed by Makbule GÖK.

#### **Statement of Conflicts of Interest**

No potential conflict of interest was reported by the authors.

#### **Statement of Research and Publication Ethics**

The authors declare that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- [1] Padgett M., Bowman R. 2011. Tweezers with a twist. *Nature Photonics*, 5: 343-348.
- [2] Otte E., Denz C. 2020. Optical trapping gets structure: structured light for advanced optical manipulation. *Applied Physics Reviews*, 7 (4): 041308.
- [3] Sit A., Fickler R., Alsaiari F., Bouchard F., Larocque H., Gregg P., Yan L., Boyd R. W., Ramachandran S., Karimi E. 2018. Quantum cryptography with structured photons through a vortex fiber. *Optics Letters*, 43: 4108-4111.
- [4] Shao W., Huang S., Liu X., and Chen M. 2018. Free-space optical communication with perfect optical vortex beams multiplexing. *Optics Communications*, 427: 545-550.
- [5] Ashkin A. 2006. *Optical Trapping and Manipulation of Neutral Particles Using Lasers: A Reprint Volume with Commentaries*, World Scientific.
- [6] Ng J., Lin Z., Chan C. 2010. Theory of optical trapping by an optical vortex beam. *Physical Review Letters*, 104: 103601.
- [7] Ruffato G., Massari M., Romanato F., 2014. Generation of High-order Laguerre–Gaussian modes by means of spiral phase plates. *Optics Letters*, 39: 5094-5097.
- [8] Gonzalez N., Molina-Terriza G., and Torres J. P. 2006. How a dove prism transforms the orbital angular momentum of a light beam. *Optics Express*, 14: 9093-9102.
- [9] Ostrovsky A. S., Rickenstorff-Parrao C., and Arrizon V. 2013. Generation of the “perfect” optical vortex using a liquid-crystal spatial light modulator. *Optics Letters*, 38: 534-536.
- [10] Ma Y., Rui G., Gu B., Cui Y. 2017. Trapping and manipulation of nanoparticles using multifocal optical vortex metalens. *Scientific Reports*, 7: 1-9.
- [11] Köksal K., Lembessis V. E., Yuan J., Babiker M. 2019. Interference of axially-shifted Laguerre–Gaussian beams and their interaction with atoms. *Journal of Optics*, 21, 104002.
- [12] Köksal K., Lembessis V. E., Yuan J., Babiker M. 2020. Atoms in axially shifted tightly focused counter-propagating beams: the role of the gouy and curvature phases. *JOSA B*, 37: 2570-2577.
- [13] Bekshaev A., Orlinska O., Vasnetsov M. 2010. Optical vortex generation with a “fork” hologram under conditions of high-angle diffraction. *Optics Communications*, 283: 2006-2016.
- [14] Huang D., Timmers H., Roberts A., Shivaram N., Sandhu A. S. 2012. A low-cost spatial light modulator for use in undergraduate and graduate optics labs. *American Journal of Physics*, 80: 211-215.
- [15] Mirhosseini M., Magana-Loaiza O. S., Chen C., Rodenburg B., Malik M., Boyd R. W. 2013. Rapid generation of light beams carrying orbital angular momentum. *Optics Express*, 21: 30196-30203.
- [16] Panarin S., Müller J., Prabhakar S., Fickler R. 2020. Spatial structuring of light for undergraduate laboratory. *ArXiv: 2003.12713*.
- [17] Carpentier A. V., Michinel H., Salgueiro J. R., Olivieri D. 2008. Making optical vortices with computer-generated holograms. *American Journal of Physics*, 76: 916-921.
- [18] Alsultanny Y. A. 2006. Laser beam analysis using image processing. *Journal of Computer Science*, 2 (1): 109-113.
- [19] Bajić J. S., Stupar D. Z., Tomić J., Slankamenac M. P., Joža A., Živanov M. B. 2012. Implementation of The Optical Beam Profiler System Using LabVIEW Software Package and Low-cost Web Camera. In 2012 Proceedings of the 35th International Convention MIPRO, 167-172, IEEE.
- [20] Hulea M., Ghassemlooy Z., Rajbhandari S. 2013. Evaluation of The Beam Wondering in Free Space Optics by Image Analysis. In Proceedings of the International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence-ECAI-2013, 1-4, IEEE.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **CatSumm: Extractive Text Summarization based on Spectral Graph Partitioning and Node Centrality**

Taner UÇKAN<sup>1\*</sup>, Cengiz HARK<sup>2</sup>, Ali KARCI<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Van  
<sup>2</sup>Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Yazılım mühendisliği Bölümü, Malatya  
<sup>3</sup>İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya  
(ORCID: [0000-0001-5385-6775](https://orcid.org/0000-0001-5385-6775)) (ORCID: [0000-0002-5190-3504](https://orcid.org/0000-0002-5190-3504)) (ORCID: [0000-0002-8489-8617](https://orcid.org/0000-0002-8489-8617))

---

### **Abstract**

In this paper, we introduce CatSumm (Cengiz, Ali, Taner Summarization), a novel method for multi-document document summarisation. The suggested method forms a summarization according to three main steps: Representation of input texts, the main stages of the CatSumm model, and sentence scoring. A Text Processing software, is introduced and used to protect the semantic loyalty between word groups at stage of representation of input texts. Spectral Sentence Clustering (SSC), one of the main stages of the CatSumm model, is the summarization process obtained from the proportional values of the sub graphs obtained after spectral graph segmentation. Obtaining super edges is another of the main stages of the method, with the assumption that sentences with weak values below a threshold value calculated by the standard deviation (SD) cannot be included in the summary. Using the different node centrality methods of the CatSumm approach, it forms the sentence rating phase of the recommended summarising approach, determining the significant nodes and hence significant nodes. Finally, the result of the CatSumm method for the purpose of text summarisation within the in the research was measured ROUGE metrics on the Document Understanding Conference (DUC-2004, DUC-2002) datasets. The presented model produced 44.073%, 53.657%, and 56.513% summary success scores for abstracts of 100, 200 and 400 words, respectively.

**Keywords:** Document summarization, Summarization, Extractive summarization, Spectral partitioning, Graph-based summarization, Edge Reduction

---

## **CatSumm: Spektral Çizge Bölmeleme ve Düğüm Merkeziliklerine Dayalı Çıkarıcı Metin Özetleme**

### **Öz**

Bu çalışmada, çok belgeli metin özetleme için yeni bir yöntemi CatSumm (Cengiz, Ali, Taner Özetleme) tanıtılmaktadır. Önerilen yöntem, üç ana adıma göre bir özet oluşturmaktadır: Giriş metinlerinin temsili, CatSumm modelinin ana aşamaları ve cümle puanlama. Girilen metinlerin gösterimi aşamasında kelime grupları arasındaki anlamsal bağlılığı korumak için bir Metin İşleme yazılımı tanıtılmış ve kullanılmıştır. CatSumm modelinin ana aşamalarından biri olan Spektral Cümle Kümeleme (SCK), spektral çizge bölmeleme sonrasında elde edilen alt çizgelerin oransal değerlerinden elde edilen özetleme işlemidir. Standart sapma ile hesaplanan bir eşik değerinin altında kalan cümlelerin özete dahil edilemeyeceği varsayımıyla, yöntemin ana aşamalarından bir diğeri de süper kenarların elde edilmesidir. Son olarak, araştırma kapsamında metin özetleme amacıyla CatSumm yönteminin sonucu, Belge Anlama Konferansı (DUC-2004, DUC-2002) veri setleri üzerinde ROUGE metrikleri ile ölçülmüştür. Sunulan model 100, 200 ve 400 kelimelik özetler için sırasıyla %44.073, %53.657, %56.513 özet başarı puanı üretmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Belge özetleme, Özetleme, Çıkarıcı özetleme, Spektral bölmeleme, Çizge tabanlı özetleme, Kenar azaltma

---

\*Sorumlu yazar: [taneruckan@yyu.edu.tr](mailto:taneruckan@yyu.edu.tr)

Received: 07.06.2021, Accepted: 02.07.2021

## 1. Introduction

Raw data are information communities that are not yet fully revealed in relation to each other, while they can also be defined as movable strings which can be expressed in digital formats. This data needs to be analyzed with the aim of converted into meaningful and useful data resources. It is hence necessary to develop novelty methods with the aim of reduce the time required for access this data to an acceptable level, as well as to analyze the data [1- 6].

Automated text summarization is one such method of analysis. In many fields such as business, academia, and healthcare, the ability to summarize is essential, and therefore text summarization is still an important area of study for academic researchers. In 2002, Radev [7] referred to a summary as texts which were often shorter than the original text or texts, but not significantly more than half the inventive document or texts. In 2004, Erkan [8] defined text summation as the method of producing a form of specific document that can still ensure beneficial data to the consumer. In 2007, Das [9] defined automatic text summarization as a significant and short form of a text with the help of machines without need for human intervention. In 2019, Joshi [7] identified document summarisation as an important element aimed at representing texts in a compact form. The knowledge content that a summary should be able to carry can be specified by the user. Subject-oriented summaries can focus on the user's orientation, and this way documents can be summarized. General summaries preserve the general content of the main document and aim for maximum information coverage. [8, 10].

In general, there are two different type in document summarisation systems. Extractive summarisation systems select considerable blocks from the main text. Extractive summarisation systems weight sentences with a set of predefined properties. The rated sentences or clauses are sorted and summarization of the text units with the highest score and the required size is formed. The aforementioned system consists of leaner steps than the abstractive summarizing system. Abstractive summarizing systems redefine the sentences by way of interpretation. This approach is to interpret the main text and restate it with fewer words. When using the linguistic methods for understanding and interpreting texts, the method embraces new concepts and expressions to extract important information from the main document; and may consist of either form of text summarization. For all these reasons, extractive summation systems are more flexible and applicable [2, 11– 14]. In addition, document summarization approaches can be classified as single or multi text [7, 12- 13].

Recently, powerful graph-based approaches to document summarisation have been suggested in NLP. Mihalcea [18], his approach called TextRank, summarized texts with the help of graph-based sentence scoring. Likewise, with the LexRank approach, Erkan [8] calculated points scored in performing extractive summaries. Moreover, Parveen [19] introduced the Egraph. In 2020, Hark and Karci [20] presented a new model based on graph and entropy. In addition, Uçkan and Karci [21] presented another innovative study using independent sets in graphs. In the current study, we aim to take unsupervised graph-based approach in extractive document summarisation one step further.

The next parts of the work are organized as follows: Section 2 considers similar studies to be found in the literature that are related to the subject. In Section 3, detailed information of the proposed CatSumm summation method's stages are given. Section 4 provides information about the data set used and the evaluation criteria used, as well as the empricial results of the suggested text summarisation approach. Lastly, discusses and interprets the experimental results of the current study.

## 2. Material and Methods

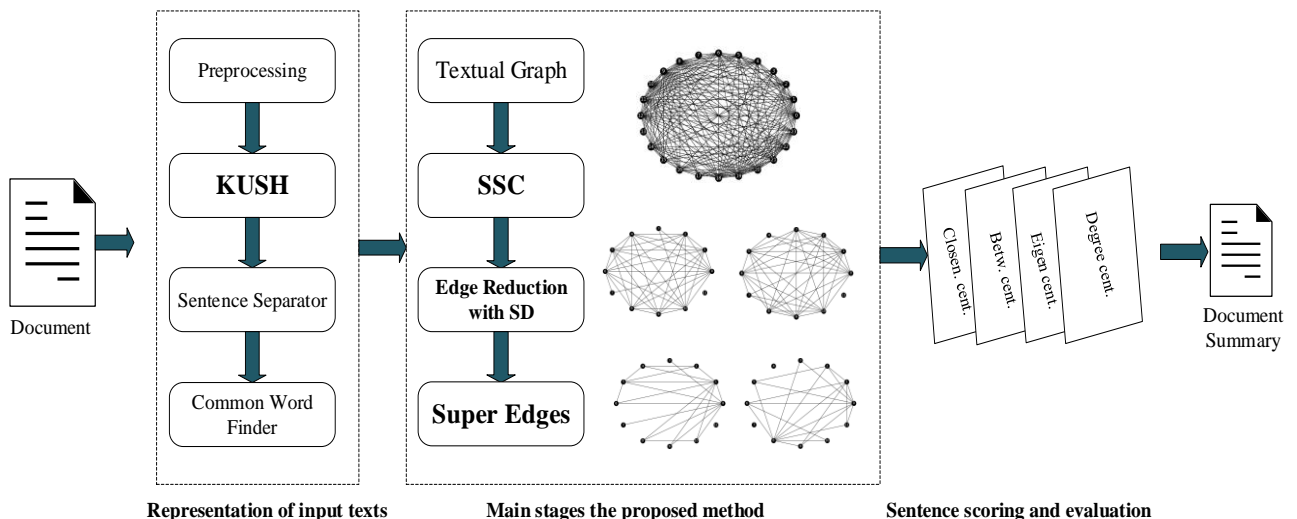
Document summarization studies date back to the last century. One of the most important and influencing studies in document summarisation was performed by Luhn in 1958. In his study, he recommended weighting the words of the text as a function by ignoring words with the highest frequency [22]. In later studies, summarization models combined new properties like considering the frequency of words the positions of the sentences and hint words in the texts [23]. Document summarisation is divided into two as abstracting and extractive [13]. In extractive summarization, the words or sentences in the text's abstract are retained without being changed, whereas abstractive summarization explains the basic information expressed in the text by creating different words and sentences [24- 25]. Summarizations made by human hand are mostly not considered to be extractive.

However, most of the published studies have shown that extractive summarization provides better results over abstractive methods. Therefore, research on the subject of summarization has generally concentrated on extractive summarization [8]. In current studies, a preprocessing tool is used. [26]. After pretreatment, various techniques have been employed in summarization studies, with the main purpose of these studies being to find the most valuable sentences that should be included in the abstract of a given text.

Various scoring methods are applied when selecting sentences in texts. In graph-based scoring methods, the scores assigned to sentences are based on their interrelationships. When one sentence refers to another, it is considered that a strong relationship exists between them. Graph-based scoring algorithms such as HITS [30] or PageRank [31] are used in many different fields. Another method developed for graph-based scoring is the TextRank method [18], in which the importance of words in the text are determined as graph-based. Similarly, by using graph-based methods, sentences in texts and their common word weights are considered in determining the importance levels of sentences [27]. Diagrams created with the LexRank method are expressed as matrices, with the Eigenvector Centrality values of these matrices used to determine the importance of sentences [8]. In similar studies, spectral graph partitioning techniques are used in order to use the graphs obtained from the texts more effectively and to choose the correct sentences [28, 29].

## 2.1. Proposed Method (CatSumm)

Graphical illustration of CatSumm approach is shown in Fig.1. The presented The CatSumm document summary approach has three layers. Firstly, some preprocesses are applied by using a text preprocessing tool that was developed named KUSH. Next layer, the relations among the sentences are symbolized in a formal and the nodes that are formed by the Spectral Sentence Clustering (SSC) method are divided into groups. Edge reduction is then applied with standard deviation so that lines with super edges are obtained where strong relationships are more pronounced. In the third and final stage, different nodes centrality approaches of the super-edge graphs are applied, with important nodes and thus important sentences identified.



**Figure 1.** Schematic outline of proposed CatSumm model for text summarization

## 2.2. Kush Text Processing Tool

The KUSH text processing tool forms one of the representative stages for texts to be summarized, and is therefore considered the text processing and preparation layer of the presented document summarisation method. Prior to this stage, it is difficult to determine the connection and interrelations between sentences where words that differ with regard to spelling are derived from a joint vocable origin. Intuitively, this was predicted to significantly affect performance achieved after classification, and the document preprocessing software was developed for application before the Sentence Separator step within the scope of the presented CatSumm. The KUSH was developed on .NET platform using C#. The pseudocode of the approach is presented in Algorithm 1.

Table 1 contains the transformations that the KUSH software tool performed on the DUC-2002-d070f text document. Documents to be summarized are simplified based on the common words they contain. There is no simplification applied for words that have no intersection in the text. With this dynamic working principle, the KUSH software tool redefines text parts to be simplified each time depending on the texts to be classified. In this way, as the texts change, it simplifies different words. In Table 1, the words that are modified or deleted are shown in bold font.

**Algorithm1.** KUSH algorithm

<b>Step 1</b>	<b>(Input)</b> Inputs obtained from the DUC datasets are presented as input data to the algorithm.
<b>Step 2</b>	<b>(Preparation)</b> The matrix and variables to be used are defined and initial values assigned.
<b>Step 3</b>	<b>(Sentence vectored)</b> The text is separated.
<b>Step 4</b>	<b>(Word vectored)</b> Word vectors are created from sentence vectors.
<b>Step 5</b>	<b>(All alternatives)</b> The most suitable word is selected from the alternative list (based on n-gram)
<b>Step 6</b>	<b>(Best alternatives)</b> The most suitable alternative is selected from the alternative words.
<b>Step 7</b>	<b>(Change word vector)</b> Replace the most appropriate alternative found in the word vectors.
<b>Step 8</b>	<b>(Loop)</b> Repeat until the word vector size.
<b>Step 9</b>	<b>(Create output text)</b> Combine words in the word vector according to the order in the sentence vector after all operations have ended.

**Table 1.** Two text conversions from the d070f

		Text before KUSH preprocessing	Text after KUSH preprocessing
Word-based	1	<i>Lawyer, powerful, husband's</i>	<i>Law, power, husband</i>
	2	<i>Russian- Chilean- newspaper</i>	<i>Russia- Chile- news</i>
<b>Sample text from DUC-2002</b>			
Sentence-based	1	<i>Erich Honecker, <b>the</b> former GDR head <b>of</b> state, died <b>at his</b> house <b>in</b> Santiago, Chile <b>on</b> Sunday morning [29 May], according <b>to his</b> lawyer.</i>	<i>erich honecker former gdr head died house santiago chile sunday morning [29 may] according <b>law</b>.</i>
	2	<i><b>Lawyer</b> Nicolas Becker, <b>who had</b> represented 81-year-old Honecker <b>before the</b> Berlin court in 1992 <b>and early</b> 1993, told DPA <b>on</b> Sunday afternoon <b>that</b> Honecker <b>had</b> rejected <b>an</b> operation.</i>	<i><b>Law</b> nicolas becker represented <u>81 year old</u> honecker berlin court 1992 1993 told dpa sunday afternoon honecker rejected operation.</i>
	3	<i><b>However, everything that was sensible had</b> been done with regard <b>to his</b> cancer.</i>	<i>sensible regard cancer.</i>

As explained in this study, texts with the characteristics of raw and everyday spoken language are primarily eliminated as unnecessary and undesired data with the text preprocessing and preparation process. Then, the developed KUSH tool prevents expressions with similar or very similar meanings which are perceived as having different meanings when creating the graphs. Considering the SSC model is semantically distinguishable between the sentences and provides healthier measurable relationships, this shows that tests conducted with the KUSH tool is effective in catching these relationships.

### 2.3. Textual Graph

Modeling of the problems can be realized through graphs by the formal representation of the features and the relations between these features. The graphs are conceptually composed of the nodes and the edges representing the relations between the nodes. Nodes and edges are two finite sets. Nodes are the main individuals that form the group represented by the graph. The edges are the relevant relationships between the main individuals. Generally, the graph is shown as  $G=(V, E)$ . The set of nodes is  $V=\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ , and the set of edges is  $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  ( $E \subseteq V \times V$ ). The terminal nodes for the edge  $e_i = \{v_j, v_{j+1}\}$  are  $v_j$  and  $v_{j+1}$  node. For the neighbor nodes  $v_j$  and  $v_{j+1}$ , if  $e_i = (v_j, v_{j+1}) \in E$  and  $(v_{j+1}, v_j) \in E$ , these are non-oriented edges. The graphs for these kinds of edges are non-oriented graphs. If  $v_j$  and  $v_{j+1}$  neighbor nodes are  $e_i = (v_j, v_{j+1}) \in E$  and  $(v_{j+1}, v_j) \notin E$ , these kind of edges are oriented edges. A graph that is formed by oriented edges is called an oriented graph [2,30]. If the edges  $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  that represent the relationship between the nodes  $V$  on a  $G=(V, E)$  graph  $E=\{e_1, e_2, \dots, e_n\}$  carry nonnegative weights, this kind of graph is called a weighted graph [31]. In the current study, the graphs created to represent the texts are weighted.

There are different approaches in the literature in order to represent textual graphs. While a full sentence or a clause different relationship forms, such as the intersection between the nodes and the co-occurrences, can be represented by the edges.  $D$  can be also represented as a set containing the  $m$  sentences from the documents in the collection, i.e.,  $D = \{s_1, s_1, \dots, s_m\}$ . In this case, Equation 1 and Equation 2 are taken into account in order to find the similarity between the sentences.

$$Sim(s_i, s_j) = \sum s_i \cap s_j \tag{1}$$

$$E = \begin{cases} Count(w) & \text{if } s_i \cap s_j \neq \emptyset \\ 0 & \text{if } s_i \cap s_j = \emptyset \end{cases} \tag{2}$$

These different forms of expression have both advantages and disadvantages. As Karci stated [30], the ability to dynamically express the graphs provides the advantage of memory usage and the ability to interfere with the number of nodes and edges during the study. However, it also brings some difficulties in terms of its use in response to these advantages. The memory is reserved for each node and edge.

In the current study, the preference was to represent the graphs with matrices. After the representation of the texts to be summarized, the proposed CatSumm model creates graphs representing the texts in order to apply spectral graph partitioning methods on data with a textual format. The operations performed in this section correspond to the Textual Graph stage from the steps schematized in Figure 1. Figure 2 contains a simple text sample and a weighted and non-directional Sentence-Word Graph created for this text. A node is added for each sentence in the text. Weights are added to the edges between nodes (see Equation 1). Where there were no intersecting words between the sentences, no edges were added between the relevant nodes (see Equation 2).

### 2.4. Spectral Sentence Clustering (SSC)

Suggested in the study SSC method separates the nodes of the generated line into groups. This approach associates each sentence that makes up the mainline with other sentences. Using this relationship, sentences are clustered. With the KUSH software tool, these clusters are aimed to reach a more accurate and distinct structure. Although used in different fields, we use spectral graph theory techniques to analyze the general structural features of the graph on the basis of graphs. This technique aims to divide the graph nodes (at least or at most) as possible to the equivalent groups which do not intersect at least the cutting cost by considering the distance or weights between the nodes. In the proposed method, we use the techniques of spectral graph theory for clustering the sentences of the texts according to their subjects. In this study, the Laplacian matrix is used when applying spectral graph partitioning method. The Laplacian matrix of a graph carries a lot of information about the graph, just like the neighborhood

matrix, but has many different uses and different specifics. In this study, Simple Laplacian matrix was used. For a given  $G$  graph, the matrix  $D$  represents the matrix of degrees, the matrix  $A$  represents the adjacency matrix. In this case, the Simple Laplacian matrix is calculated as in Equation 3

$$L = D - A \quad , \quad d_i = \sum_{\{j|(i,j) \in E\}} w_{ij} \tag{3}$$

The values of the  $L$  matrix are given as in Equation 4.

$$LaplaceG(i,j) = \begin{cases} \sum_{(i,k) \in E} A(i,k) & , \quad \text{if } i = j \\ -A(i,j) & , \quad \text{if } i \neq j \\ 0 & , \quad \text{other} \end{cases} \tag{4}$$

The edges bind the nodes together and if there is a connection between these two nodes, it is considered  $(u, v) \in E$ . The neighborhood matrix of the  $G$  graph is  $A(G)$ .  $A(G)$  matrix is defined as in Equation 4. By using the edges between the nodes, the Adjacency matrix ( $A(G)$ ) of the corresponding graph is obtained (see Equation 5). The degree matrix ( $D(G)$ ) of the graph  $G$  (see Equation 6) is obtained from the number of all the edge numbers found in a node.

$$A_{i,j} = \begin{cases} w_{i,j} & , \quad (i,j) \in E \\ 0 & , \quad (i,j) \notin E \end{cases} \tag{5}$$

$$D_{i,j} = \begin{cases} d_{i,j} & , \quad i = j \\ 0 & , \quad i \neq j \end{cases} \tag{6}$$

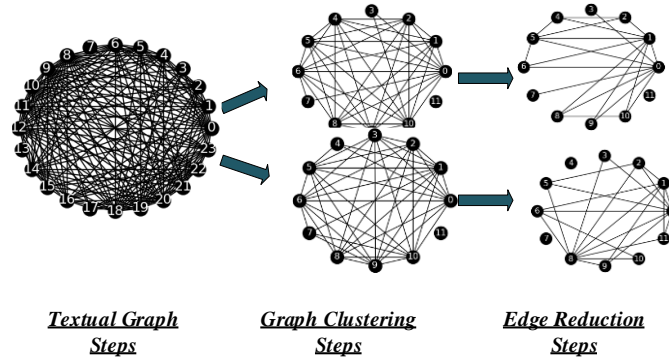
The coarse code of our clustering method is as shown in Algorithm 2. The basic idea in the algorithm is to group the nodes of the text documents that correspond to the sentences on the basis of their interrelationships. Thus, it is based on the foresight that the sentences in the same category may be similar, and that sentences in different categories may be less similar or are not similar at all. The way that the SSC approach works is schematized on an example graph. Figure 3 shows the nodes of representative clusters obtained. The sentences in the same category as the SSC model are more closely related to each other in terms of the sentences in different categories.

**Algorithm 2.** SSC: spectral sentence clustering algorithm

---

<b>Step 1</b>	<b>(Input)</b> Texts obtained from the KUSH software tool are presented as input data to the algorithm.
<b>Step 2</b>	<b>(Preparation)</b> The matrix and variables to be used are defined and initial values assigned.
<b>Step 3</b>	<b>(Sentence vectored)</b> Text is separated..
<b>Step 4</b>	<b>(Word vectored)</b> Word vectors are created from sentence vectors.
<b>Step 5</b>	<b>(intersection (sentence(i) ∩ sentence(j)))</b> The Adjacency matrix and the degree matrix are obtained by calculating the number of common words between sentences.
<b>Step 6</b>	<b>(Laplacian transformation)</b> The Laplacian matrix is calculated using the Simple Laplacian method (see Equation 3)
<b>Step 7</b>	<b>(Eigen decomposition)</b> The resulting Laplacian matrix is used and Eigen decomposition is used to obtain eigenvalues and eigenvectors.
<b>Step 8</b>	<b>(Fiedler's Theory)</b> Eigenvalues are ordered from large to small, then the vector of the second smallest eigenvalue is obtained [32].
<b>Step 9</b>	<b>(Clustering)</b> The obtained eigenvector value is checked and the values with the same sign (+ or -) are collected in a cluster.

---



**Figure 3.** Example document in DUC-2002 dataset shows edge connections before and after standard deviation of sub-graph belonging to a sample sentence

### 2.5. Graphical Simplification with Standard Deviation

This step describes the elimination of weak connections from the two sub-graphs obtained by Spectral Sentence Clustering from the main graph by standard deviation. The nodes in the sub-graphs each represent one sentence. The higher the relationship between two sentences, the higher weight of the edge. In this study, it was found that sentences associated with the valuable sentences were also valuable, and therefore included in the abstract. For this reason, the standard deviation values of all relations between the sentences were calculated and those relations that fell below this value were reduced and eliminated.

Standard deviation is a statistical method that describes how close various data are to the mean in a data set [33]. With standard deviation, we find out how much of the data is close to the average. As  $V$  represents the nodes and  $E$  the sides, on a graph which is  $G = (V, E)$  the weight of sides is  $W = \{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$  and the arithmetic average is shown as  $\bar{w}$ .

$$\bar{w} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i}{N} \tag{7}$$

$$P(e_1) = \frac{w_1}{\sum_{i=1}^n w_i} \tag{8}$$

$$Var(W) = \sum_{i=1}^n (w_i - \bar{w})^2 * P(e_i) \tag{9}$$

$$\sigma = \sqrt{Var(W)} \tag{10}$$

Standard deviation value  $\sigma$  is calculated by using Equations 7-10. With the calculated standard deviation value, the edge weights which can be neglected are determined. The edge weights are reduced by the edge values with a distance above the standard deviation of the arithmetic mean. Therefore, the most valuable links we call the Super Edge are obtained and the sentences to be found in the abstract are made up of stronger sentences. As shown in Figure 3, it is observed that the strong relations are more distinct when edge reduction is applied to the graphs obtained by standard deviation. After applying the edge reduction to the graphs, the sentences which are found in the abstract are selected according to the obtained measurement values by applying node centrality measurements to the graph. The Node Centrality methods are described in detail in the next step.



## 2.6. Node Centrality Measures

The concept of centralization has been proposed by [34] to determine the position of an individual and its impact on group-wide processes. Since then, many centrality measurements have been proposed in the literature. Each of these measures advocates different ideas about what it means to be “centralized” within a network. Centrality measurements were used to identify central points or central nodes in many different areas [8, 11, 35]. In the graphs obtained from texts in the current study, the centralized measurements of Betweenness Centrality (see Equation 11), Closeness Centrality (see Equation 12), Degree Centrality (see Equation 13), and Eigenvector Centrality (see Equation 14) have been used to determine those most valuable among the nodes representing the sentences. Characteristic information about the node centrality measures is presented in Table 2.

**Table 2.** Description of node centrality measure

Node Centrality Measure	Formulation
Betweenness Centrality [2]	$C_b(v) = \sum_{x,y \in N} \frac{G_{x,y}(v)}{G_{x,y}} \quad (11)$
Closeness Centrality [2, 36, 37]	$C_c(v_i) = \frac{1}{\sum_{v_j \in v} \text{distance}(v_i, v_j)} \quad (12)$
Degree Centrality [38–40]	$C_D(v) = \frac{\text{deg}(v_i)}{N - 1} \quad (13)$
Eigenvector Centrality [36]-[37], [44]	$C_e(V_i) = \frac{1}{\lambda} \sum_{v_j \in N(V_i)} V_{ji} \times C_e(V_j) \quad (14)$

## 3. Results and Discussion

In this part of the study, the dataset used during the experimental processes to test the summarized method is described. Popular types of evaluation criteria are also used to evaluate the accuracy of summarization systems. Finally, a series of test results are introduced in evaluating the efficiency of the suggested summarisation approach.

### 3.1 Dataset

In the approach presented, the DUC-2002 and DUC-2004 datasets were tested. The datasets contain documents for summarisation. In this study, summarisation were used as the presented model utilizes an extractive summarization method [41]. Characteristic information about these datasets is given in Table 3.

**Table 3.** Characteristics of the datasets

Description	DUC-2002	DUC-2004
Number of clusters	59	50
Number of documents in each cluster	~10	10
Number of documents	567	500
Summary length	200 and 400 words	665 bytes



### 3.2 Evaluation Metric

The evaluation criterion used is ROUGE performance [42, 43]. In this study, we use ROUGE(N-L-W1.2-SU) measures to evaluate the performance of the proposed CatSumm approach. ROUGE-N evaluates the number of n-grams shared between the created and golden summary.

$$ROUGE - N = \frac{\sum_{C \in \{Ref\}} \sum_{gram_n \in S} Count_{match}(gram_n)}{\sum_{C \in \{Ref\}} \sum_{gram_n \in S} Count(gram_n)} \quad (15)$$

where  $N$  in the formula is equal to the length of  $gram_n$  n-gram, and  $Count_{match}(gram_n)$  are the maximum number of n-grams intersecting in the abstract and reference summary. Equation 15 clearly shows that ROUGE-N is a related measurement with Recall as the denominator of equality is the sum of the number of n-grams generated in the golden summary [42]. For instance (N-1) measures the number of uni-grams shared between two summaries. In the same way (N-2) calculates the number of bigrams that intersect between the suggested and the golden summary. Similarly, the ROUGE-L value focuses on the longest common sequence. As X and Y are given by the two series of words, calculations for ROUGE-L values were made in Equations 16-18 for the series.

$$R_{lcs} = \frac{LCS(X, Y)}{m} \quad (16)$$

$$P_{lcs} = \frac{LCS(X, Y)}{n} \quad (17)$$

$$F_{lcs} = \frac{(1 + \beta^2)R_{lcs}P_{lcs}}{R_{lcs} + \beta^2P_{lcs}} \quad (18)$$

ROUGE-W-1.2 computes the matches that occur consecutively between the suggested and the golden summary. ROUGE-SU calculates the bigrams.

### 3.3. Experimental Studies

The primary purpose of the current research is to present an uncontrolled and graph-based process in order to summarize the extractive text by moving text summary studies one step forwards.

To evaluate the achievement of the CatSumm summarisation system, empirical studies were performed by presenting summaries of texts from the DUC datasets. In this study, to improve the achievement of the CatSumm method, a preprocessing tool was developed and the texts were subjected to certain preliminary procedures with specific linguistic processes. The success of the summaries were then measured by calculating the most commonly used performance metrics found in the literature. The efficiency of the introduced was then compared to other summarisation approaches.

In the experimental study, the steps mentioned in Figure 1 were followed. Primarily, stop words, that is unwanted and non-representative expressions and characters, were excluded from the dataset. As shown in Figure 1, a document preprocessing was introduced and used immediately after the preprocessing step and before the Sentence Separator stage. The KUSH text processing software contributes to the success and robustness of the CatSumm text summarization method, as in the experimental studies without using the KUSH software, high success values could not be obtained.

Although different Laplacian calculation methods are available in the literature, the Simple Laplacian calculation was preferred in this study. The eigenvalue and eigenvalue vector pairs obtained using the generated Laplacian matrices are listed. With this listing, the Laplacian spectrum, which belongs to the textual graph and carries information about the connectivity of the graph, has been formed. The eigenvalue vectors corresponding to the second smallest eigenvalue represent the algebraic commitment of the graph. In the experimental study, this vector was used to divide the graph. In this context, in order to increase the summarizing performances of the texts represented by the graphs,

summaries were obtained by using the SSC by dividing the graphs representing the abstract and by the ratios obtained after spectral portioning. Quite successful results are reported with this new approach.

In addition to these steps, a threshold value was calculated with a certain standard deviation calculation in order to obtain the most important nodes in the segmented graphs. By separating the edges below the calculated threshold value from the graph, the sentences that represent the relevant edges and nodes were excluded from the summary. Different Node centrality calculations of the nodes connected with the super edges obtained at the last stage were then calculated (Degree, Closeness, Betweenness, Eigenvector) and summaries of 100, 200, and 400 words for each approach were obtained.

To evaluate the summarizing efficiency of the study, we conducted a sample summary (100, 200, and 400 words) of the texts in the DUC (2002- 2004) datasets, and system summaries obtained by the CatSumm method were thereby compared. For this purpose, ROUGE summarizing performance metrics were employed to measure the success of the summarisation results. In the empirical study, Recall values of ROUGE-1, 2, L, W-1.2, SU metrics were calculated for evaluating the summarization success of the introduced system summary.

The CatSumm model was first run separately for selected node centrality values and different summaries were obtained. Recall values of the obtained 200-, 400-, and 100-word abstracts are shown in Tables 4, 5 and 6. It can be seen from the tables, the eigenvector centrality value yielded the best results for the 200- and 100-word abstracts, and the second-best results for the 400-word abstract. Considering these results, it is understood that the most appropriate centrality value for the proposed model is the eigenvector centrality value. In Table 7-9, the CatSumm + Eigenvector Centrality values that outperformed other approaches have been highlighted in bold font. As can be observation from the tables, the proposed method outperformed all other methods in summaries of 100 and 200 words, and very competitive results were observed for the 400-word summary.

**Table 4.** Recall values of 200-word summarization on DUC-2002 dataset using node centrality values in proposed CatSumm summarization method

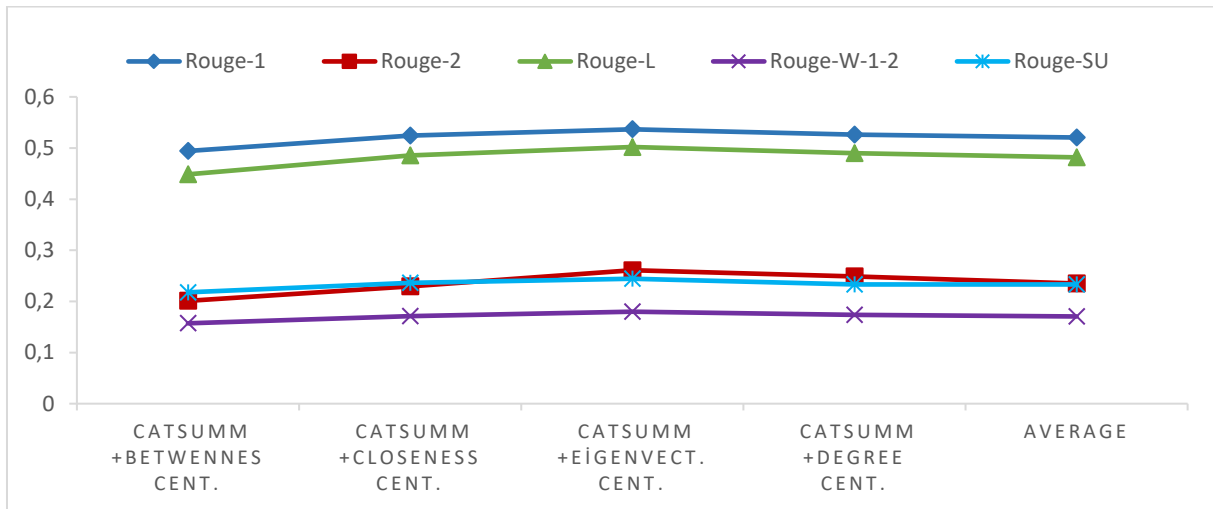
ROUGE evaluation methods	CatSumm+ Betweenness Centrality	CatSumm+ Closeness Centrality	CatSumm+ Eigenvector Centrality	CatSumm+ Degree Centrality	Average
ROUGE-1	0.49421	0.52407	<b>0.53657(1)</b>	0.52628	0.52028
ROUGE-2	0.20106	0.22930	<b>0.26097(2)</b>	0.24883	0.23504
ROUGE-L	0.44847	0.48566	<b>0.50195(1)</b>	0.48968	0.48144
ROUGE-W-1.2	0.15715	0.17091	<b>0.17990(1)</b>	0.17388	0.17046
ROUGE-SU	0.21778	0.23640	<b>0.24432(1)</b>	0.23347	0.23299

**Table 5.** Recall values of 400-word summarization on DUC-2002 dataset using node centrality values in proposed CatSumm summarization method

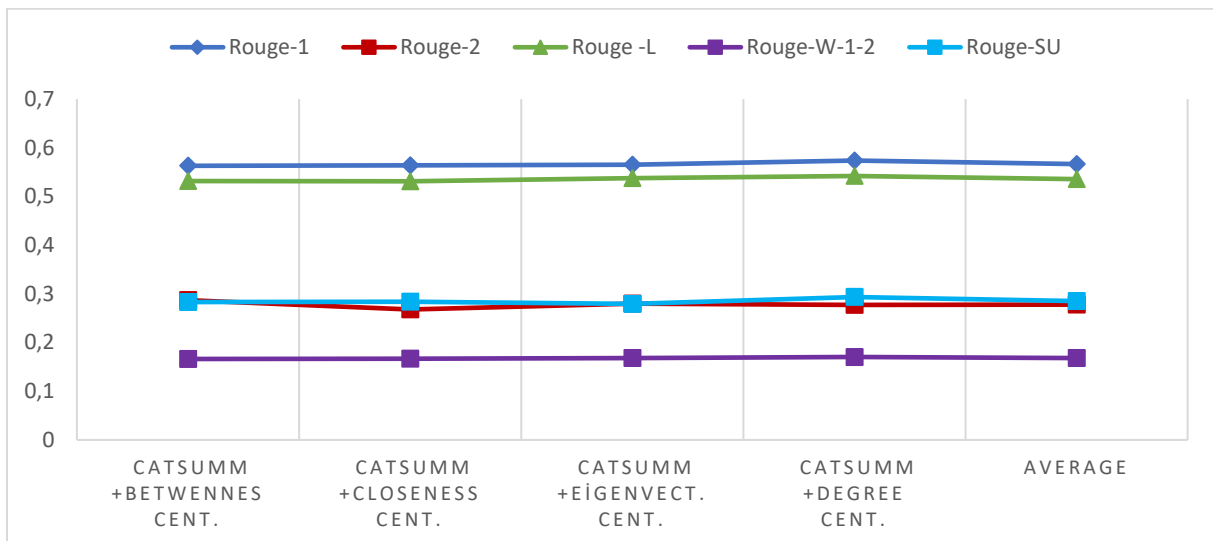
ROUGE evaluation methods	CatSumm+ Betweenness Centrality	CatSumm+ Closeness Centrality	CatSumm+ Eigenvector Centrality	CatSumm+ Degree Centrality	Average
ROUGE-1	0.56301	0.56414	0.56513 (2)	<b>0.57381(1)</b>	0.56652
ROUGE-2	<b>0.28698</b>	0.26789	<b>0.28009(1)</b>	0.27707(2)	0.27800
ROUGE-L	0.53151	0.53119	0.53749(2)	<b>0.54205(1)</b>	0.53556
ROUGE-W-1.2	0.16624	0.16702	0.16805(2)	<b>0.17033(1)</b>	0.16791
ROUGE-SU	0.28337	0.28396	0.27937(2)	<b>0.29344(1)</b>	0.28503

**Table 6.** Recall values of 100-word summarization on DUC-2004 dataset using node centrality values in proposed CatSumm summarization method

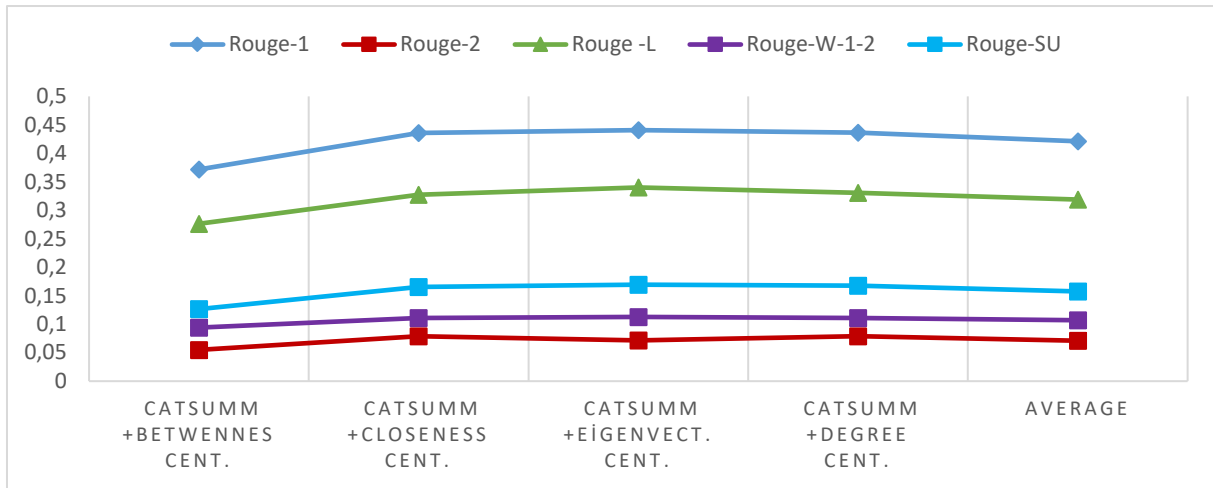
ROUGE evaluation methods	CatSumm+ Betweenness Centrality	CatSumm+ Closeness Centrality	CatSumm+ Eigenvector Centrality	CatSumm+ Degree Centrality	Average
ROUGE-1	0.37167	0.43553	<b>0.44073 (1)</b>	0.43657	0.42112
ROUGE-2	0.05495	0.07876	0.07177 (2)	0.07894	0.07110
ROUGE-L	0.27632	0.32735	<b>0.34006 (1)</b>	0.33090	0.31865
ROUGE-W-1.2	0.09405	0.11086	<b>0.11279 (1)</b>	0.11110	0.1072
ROUGE-SU	0.12652	0.16541	<b>0.16939 (1)</b>	0.16783	0.15728



**Figure 4.** Recall values of 200-word summarization on DUC-2002 dataset using node centrality values in proposed CatSumm summarization method



**Figure 5.** Recall values of 400-word summarization on DUC-2002 dataset using node centrality values in proposed CatSumm summarization method



**Figure 6.** Recall values of 100-word summarization on DUC-2004 dataset using node centrality values in proposed CatSumm summarization method

The Recall values of the ROUGE-(1, 2, L, W-1.2, SU) measurements of the node centrality values used with the CatSumm model for 200-word summaries are demonstrate in Fig 4. As can be observation clearly in Figure 4, when the Eigenvector Centrality measurements are taken into consideration, it is observed that it gives better results than other centrality measurements. Similarly, it is shown in Figure 5 that the Degree Centrality value gives better results with a slight difference and also gives very competitive results in the Eigenvalue value when summarized with 400 words. When the 100-word abstracts made using the DUC-2004 dataset are taken into consideration, it can be seen in Figure 6 that the Eigenvector Centrality values produced the better results. When the results obtained in these studies are taken into consideration in Table 4-6, it is reported that the CatSumm approach produced high values with selected node centrality methods, but the best result was obtained with the Eigenvector Centrality measurement value.

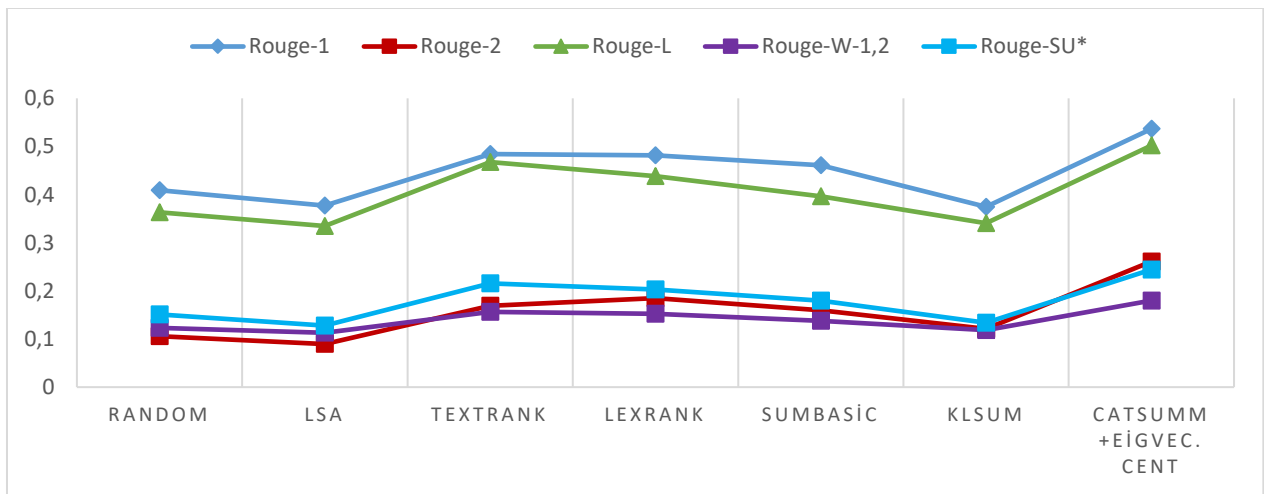
Table 7 and 8 represent the results from the 200 and 400 words summaries of the proposed CatSumm + Eigenvector Centrality summarization model using the DUC-2002 dataset. As can be clearly seen from the tables, our model produced better results than all the other 200-word summaries. For the 400-word abstracts, the CatSumm + Eigenvector Centrality model was observed to produce the second-best result, and shows how competitive the proposed model is to outperforming all the other models. In fact, when looking at the CatSumm + Degree Centrality model in Table 5, it is clear that in most ROUGE measurement values, all the other methods produced lesser results for the 400-word summaries. These results are shown graphically in Figure 7-8. Figure 7 demonstrates the Recall values of the ROUGE(1-2-L-W1.2-SU), for the 200-word summaries obtained using the DUC-2002 dataset. Also, Figure 8 shows the Recall values of the ROUGE(1-2-L-W1.2-SU) for the 400-word summaries obtained using the DUC-2002 dataset.

**Table 7.** Recall values of 200-word summary of proposed CatSumm + Eigenvector centrality and other summarization methods using DUC-2002 dataset

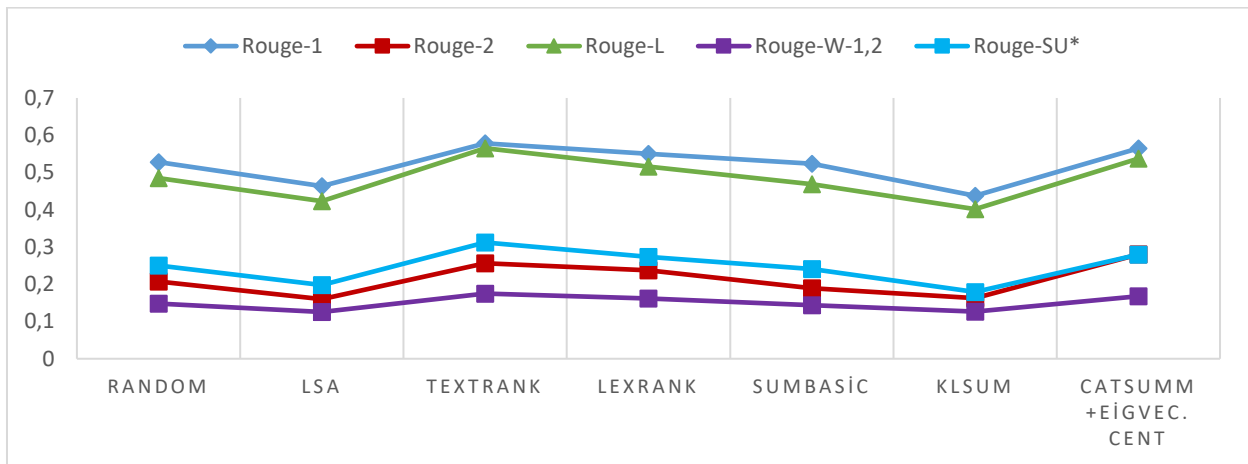
ROUGE evaluation methods	Random [44]	LSA [45]	TextRank [48], [18]	LexRank [8]	SumBasic [48]	KLSum [49]	CatSumm + Eigenvec Centrality
ROUGE-1	0.40932	0.37723	0.48417	0.48124	0.46128	0.37464	<b>0.53657(1)</b>
ROUGE-2	0.10562	0.08950	0.16921	0.18507	0.15947	0.12113	<b>0.26097(1)</b>
ROUGE-L	0.36328	0.33477	0.46748	0.43813	0.39661	0.34066	<b>0.50195(1)</b>
ROUGE-W-1.2	0.12324	0.11295	0.15655	0.15201	0.13782	0.11839	<b>0.17990(1)</b>
ROUGE-SU*	0.15112	0.12783	0.21541	0.20321	0.17981	0.13361	<b>0.24432(1)</b>

**Table 8.** Recall values of 400-word summary of proposed CatSumm + Eigenvector centrality and other summarization methods using DUC-2002 dataset

ROUGE evaluation methods	Random [44]	LSA [45]	TextRank [48], [18]	LexRank [8]	SumBasic [48]	KLSum [49]	CatSumm + Eigvec Centrality
ROUGE-1	0.52799	0.46361	0.57812	0.55018	0.52373	0.43746	0.56513(2)
ROUGE-2	0.20698	0.16001	0.25654	0.23706	0.18916	0.16256	<b>0.28009(1)</b>
ROUGE-L	0.48516	0.42283	0.56505	0.51566	0.46814	0.40158	0.53749(2)
ROUGE-W-1.2	0.14844	0.12558	0.17498	0.16162	0.14401	0.12675	0.16805(2)
ROUGE-SU*	0.25020	0.19823	0.31213	0.27351	0.24097	0.17922	0.27937(2)



**Figure 7.** Recall values of 200-word summary of proposed CatSumm + Eigenvector centrality and other summarization methods using DUC-2002 dataset



**Figure 8.** Recall values of 400-word summary of proposed CatSumm + Eigenvector centrality and other summarization methods using DUC-2002 dataset

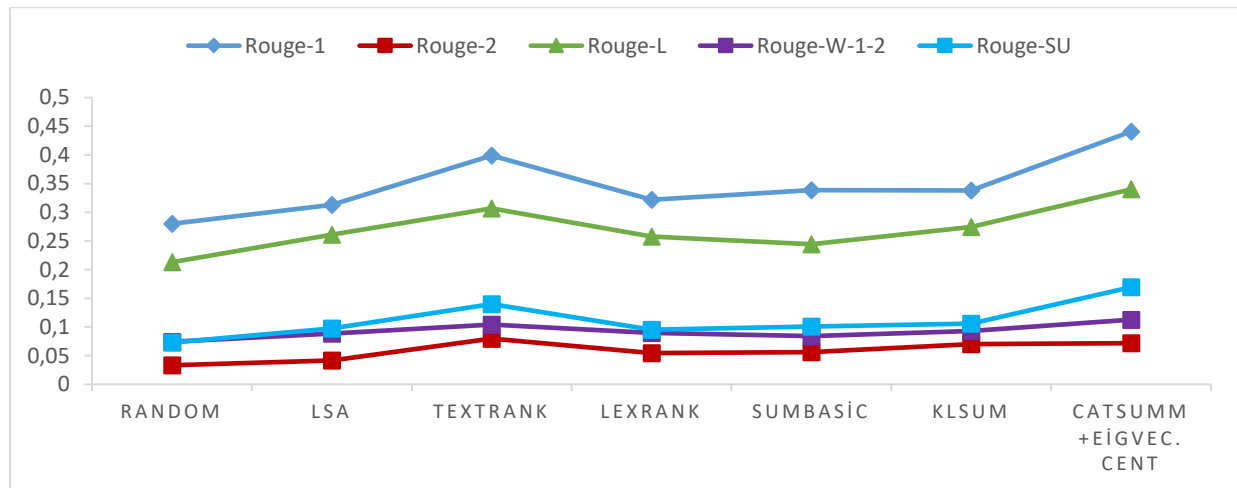
Table 9 clearly shows the Recall values of the ROUGE(1-2-L-W1.2-SU) for the 100-word summaries obtained using the DUC-2004 dataset. When the reported values are examined, it can be observed the Recall values obtained as a result of the combination of the introduced CatSumm method and the Eigenvector Centrality value produced better results than other summarization methods, except for LexRank’s ROUGE-2 value. When the ROUGE-1 Recall values of the proposed model are taken into consideration, it can be seen that it produced results approximately 37% better than Random

value, 57% better than LSA, 10% better than LexRank, and 29% better than SumBasic and KLSum methods.

Figure 9 visually illustrates the Recall values of the (ROUGE-1,2,L,W-1.2,SU) measurement metrics obtained from the different text summarization techniques and the proposed CatSumm summarization method. As can be observed in Figure 9, the CatSumm + Eigenvector Centrality method offers higher Recall-based ROUGE values compared to other summarization methods.

**Table 9.** Recall values of 100-word summary of proposed CatSumm + Eigenvector centralization and other summarization methods using DUC-2004 dataset

ROUGE evaluation methods	Random [44]	LSA [45]	TextRank [48], [18]	LexRank [8]	SumBasic [48]	KLSum [49]	CatSumm + Eigenvec Centrality
ROUGE-1	0.32206	0.27995	0.31301	0.39893	0.33859	0.33778	<b>0.44073 (1)</b>
ROUGE-2	0.05439	0.03324	0.04145	<b>0.07977</b>	0.05623	0.07030	0.07177 (2)
ROUGE-L	0.25785	0.21295	0.26099	0.30685	0.24408	0.27448	<b>0.34006 (1)</b>
ROUGE-W-1.2	0.08957	0.07427	0.08836	0.10436	0.08427	0.09315	<b>0.11279 (1)</b>
ROUGE-SU*	0.09532	0.07285	0.09741	0.13998	0.10063	0.10609	<b>0.16939 (1)</b>



**Figure 9.** Recall values of 100-word summary of proposed CatSumm + Eigenvector Centrality and other summarization methods using DUC-2004

#### 4. Summary and Conclusions

In this research, we present CatSumm, a new unsupervised approach for summarizing multi-document text. The presented method consists of a series of steps aimed at establishing an order of importance among sentences. In the presented method, irregularities in everyday language are eliminated with an application called KUSH, which prepares texts for summarizing with an innovative approach. With this tool, successful results were obtained at the point of obtaining relations between sentences. In this study, graphs representing the summary were created by using techniques in algebraic graph theory known as spectral graph partitioning which contributed to the summarizing performance. Based on the results of the experimental studies, we believe that the developed KUSH software tool can be used prior to other classification and clustering methods frequently used by researchers in this field.

Finally, the proposed CatSumm approach was conducted on the basis of many nodes centrality methods and obtained a very high ROUGE value across all these methods. Comparisons were made with six summarization methods using the combination of the proposed CatSumm method and Eigenvector Centrality. Evaluations show that the best Recall values are obtained for abstracts of 100 and 200 words. In addition, the 400-word abstracts also showed very competitive results, with second-

best values clearly shown in the results tables and figures. These combined results demonstrate the robustness and stability of the proposed CatSumm text summarization method.

### **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] Durmaz O., 2011. Metin sınıflandırmada boyut azaltmanın etkisi ve özellik seçimi. 2011 IEEE 19th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU 2011) doi:10.1360/zd-2013-43-6-1064.
- [2] Hark C., Uçkan T., Seyyarer E., Karci A. 2018. Metin Özetleme İçin Çizge Tabanlı Bir Öneri. IDAP 2018 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, 1–6.
- [3] Canberk G. , Sağiroğlu Ş. 2006. Bilgi ve Bilgisayar Güvenliği : Casus Yazılımlar ve Korunma Yöntemleri (Grafiker Yayıncılık, Ankara).
- [4] Uçkan T., Hark C., Seyyarer E., Karci A. 2019. Ağırlıklandırılmış çizgelerde Tf-Idf ve eigen ayrışımı kullanarak metin sınıflandırma. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim Derg. doi:10.17798/bitlisfen.531221.
- [5] Hark C., Uçkan T., Seyyarer E., Karci A. 2019. Extractive Text Summarization via Graph Entropy Çizge Entropi ile Çıkarıcı Metin Özetleme. 2019 International Conference on Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, IDAP 2019 doi:10.1109/IDAP.2019.8875936.
- [6] Hark C., Seyyarer A., Uçkan T., Karci A. 2017. Doğal Dil İşleme Yaklaşımları ile Yapısal Olmayan Dökümanların Benzerliği. IDAP 2017 - International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium, 1–6.
- [7] Radev DR., Hovy E., McKeown K. 2002. Introduction to the special issue on summarization. *Comput Linguist*, 28 (4): 399–408.
- [8] Erkan G., Radev DR. 2004. Lexrank: Graph-based lexical centrality as salience in text summarization. *J Artif Intell Res*, 22: 457–479.
- [9] Das D., Martins AFT. 2007. A survey on automatic text summarization. *Lit Surv Lang Stat II course C*, 4 (192–195): 57.
- [10] Kaynar O., Görmez Y., Işık YE., Demirkoparan F. 2017. Comparison of Graph Based Document Summarization Method. 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), 598–603.
- [11] Kutlu M., Cigir C., Cicekli I. 2010. Generic text summarization for Turkish. *Comput J*, 53 (8): 1315–1323.
- [12] Alguliev RM., Aliguliyev RM., Hajirahimova MS. 2012. GenDocSum+ MCLR: Generic document summarization based on maximum coverage and less redundancy. *Expert Syst Appl* 39 (16): 12460–12473.
- [13] Dalal V., Malik L. 2013. A Survey of Extractive and Abstractive Text Summarization Techniques. 2013 6th International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (IEEE), 109–110.
- [14] Hark C., Uçkan T., Seyyarer E., Karci A. 2019. Metin özetlemesi için düğüm merkezliklerine dayalı denetimsiz bir yaklaşım. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilim Derg.*, doi:10.17798/bitlisfen.568883.
- [15] Mihalea R., Tarau P. 2005. A Language Independent Algorithm for Single and Multiple

- Document Summarization. Proceedings of IJCNLP 2005, 2nd International Joint Conference on Natural Language Processing, 19–24.
- [16] Sarkar K., Saraf K., Ghosh A. 2015. Improving Graph Based Multidocument Text Summarization Using an Enhanced Sentence Similarity Measure. 2015 IEEE 2nd International Conference on Recent Trends in Information Systems, ReTIS 2015 - Proceedings, 359–365.
- [17] Joshi A., Fidalgo E., Alegre E., Fernández-Robles L. 2019. SummCoder: An unsupervised framework for extractive text summarization based on deep auto-encoders. *Expert Syst Appl* 129: 200–215.
- [18] Mihalcea R., Tarau P. 2004. TextRank: Bringing Order into Texts. Proceedings of the ACL 2004 on Interactive Poster and Demonstration Sessions - (Association for Computational Linguistics, Morristown, NJ, USA), 20.
- [19] Parveen D., Ramsl H-M., Strube M. 2015. Topical Coherence for Graph-Based Extractive Summarization. Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 1949–1954.
- [20] Hark C., Karci A. 2020. Karci summarization: A simple and effective approach for automatic text summarization using Karci entropy. *Inf Process Manag*, 57 (3): 102187.
- [21] Uçkan T., Karci A. 2019. Extractive multi-document text summarization based on graph independent sets. (xxxx). doi:10.1016/j.eij.2019.12.002.
- [22] Luhn HP. 1958. The Automatic Creation of Literature Abstracts. *IBM J Res Dev*, 2 (2): 159–165.
- [23] Edmundson HP. 1969. New methods in automatic extracting. *J ACM*, 16 (2): 264–285.
- [24] Mallick C., Das AK., Dutta M., Das AK., Sarkar A. 2019. Graph-Based Text Summarization Using Modified TextRank. *Soft Computing in Data Analytics (Springer)*, 137–146.
- [25] Pouriyeh S., et al. Graph-based Ontology Summarization: A Survey.
- [26] Allahyari M., et al. 2017. Text summarization techniques: A brief survey. doi:10.1145/nnnnnnn.nnnnnnn.
- [27] Nasr Azadani M., Ghadiri N., Davoodijam E. 2018. Graph-based biomedical text summarization: An itemset mining and sentence clustering approach. *J Biomed Inform*, 84: 42–58.
- [28] D’hondt J., Verhaegen P-A., Vertommen J., Cattrysse D., Duflou JR. 2011. Topic identification based on document coherence and spectral analysis. doi:10.1016/j.ins.2011.04.044.
- [29] Uçkan T., Hark C., Karci A. 2020. SSC: Clustering of Turkish texts by spectral graph partitioning. *J Polytech*, doi:10.2339/politeknik.684558.
- [30] Karci A. 1998. Çizge Algoritmaları ve Çizge Bölmeleme. Dissertation (Fırat Üniversitesi).
- [31] Von Luxburg U. 2007. A Tutorial on Spectral Clustering.
- [32] Slininger B. Fiedler’s Theory of Spectral Graph Partitioning.
- [33] Robert N.. Statistics: Definition of Standard Deviation.
- [34] Bavelas A. 1948. A mathematical model for group structures. *Hum Organ*, 7 (3): 16–30.
- [35] Fattah MA., Ren F. 2009. GA, MR, FFNN, PNN and GMM based models for automatic text summarization. *Comput Speech Lang*, 23 (1): 126–144.
- [36] Boudin F., et al. 2013. A Comparison of Centrality Measures for Graph-Based Keyphrase Extraction To cite this version : HAL Id : hal-00850187 A Comparison of Centrality Measures for Graph-Based Keyphrase Extraction.
- [37] Kosorukoff A. 2011. *Social Network Analysis Theory and Applications* (Passmore, D. L, 2011).
- [38] Garey MR., Johnson DS. 1979. *Computers and Intractability : A Guide to the Theory of NP-Completeness* (W.H. Freeman).
- [39] McPherson M., Smith-Lovin L., Cook JM. 2001. Birds of a feather: homophily in social networks. *Annu Rev Sociol*, 27(1): 415–444.
- [40] Analysis BN. 2016. Centrality and Hubs. (1979). doi:10.1016/B978-0-12-407908-3.00005-4.
- [41] NIST. Document Understanding Conferences. NIST.
- [42] Lin CY. 2004. Rouge: A Package for Automatic Evaluation of Summaries. *Proc Work text Summ branches out, (WAS 2004)*: 25–26.
- [43] Lin C-Y., Hovy E. Automatic Evaluation of Summaries Using N-gram Co-Occurrence Statistics.



- [44] Xiong S., Ji D. 2016. Query-focused multi-document summarization using hypergraph-based ranking. *Inf Process Manag*, 52 (4): 670–681.
- [45] Republic C. 2009. Evaluation Measures for Text Summarization Josef Steinberger, Karel Jezek. 28: 1001–1025.
- [46] Mihalcea R. 2005. Language Independent Extractive Summarization. *Proc ACL 2005 Interact poster Demonstr Sess, - ACL '05 (June)*: 49–52.
- [47] Mihalcea R., Tarau P. 1800. TextRank: Bringing Order into Texts.
- [48] Vanderwende L., Suzuki H., Brockett C., Nenkova A. 2007. Beyond SumBasic: task-focused summarization with sentence simplification and lexical expansion. *Inf Process Manag*, 43 (6): 1606–1618.
- [49] Haghighi A., Vanderwende L. 2009. Exploring Content Models for Multi-Document Summarization, (June): 362.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## CoMoCrSi ile Kaplanmış Ferritik Paslanmaz Çeliğin Korozyon Davranışı

Hülya DEMİRÖREN<sup>1\*</sup>, Serkan ÖZEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü,  
Çanakkale

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis  
(ORCID: [0000-0001-5213-6151](https://orcid.org/0000-0001-5213-6151)) (ORCID: [0000-0003-0700-1295](https://orcid.org/0000-0003-0700-1295))

---

### Öz

Ferritik paslanmaz çelikler birçok ortamda korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Bilindiği gibi bu dayanımı artırmanın birkaç farklı yolu vardır. Bunlardan bazıları ısıtma işlemi, alaşımlandırma, tasarım, inhibitör kullanımı yüzey kaplamalarıdır. Bu çalışmada, ferritik paslanmaz çelik alaşım yüzeyine plazma püskürtme kaplama yöntemi kullanılarak, CoMoCrSi tozu 600 A akım şiddetinde kaplanmıştır. Kaplamasız ve kaplama uygulanan numuneler üçlü elektrot sisteminde korozyon deneylerine tabi tutulmuştur. Tafel eğrilerinden korozyon hızı hesaplanmıştır. Sonuç olarak yapılan kaplamanın ferritik paslanmaz çeliğin korozyon direncini çok iyi artırdığı tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ferritik paslanmaz çelik, CoMoCrSi kaplama, korozyon, Tafel eğrileri.

---

## Corrosion Behavior of Ferritic Stainless Steel Coated with CoMoCrSi

---

### Abstract

Ferritic stainless steels are highly resistant to corrosion in many environments. As is known, there are several different ways to increase this strength. Some of these are heat treatment, alloying, design, use of inhibitors, surface coatings. In this study, CoMoCrSi powder was coated on the ferritic stainless steel alloy surface using the plasma spray coating method at a current intensity of 600 A. The uncoated and coated samples were subjected to corrosion tests in the triple electrode system. The corrosion rate was calculated from the Tafel curves. As a result, it was determined that the coating increased the corrosion resistance of ferritic stainless steel satisfactorily.

**Keywords:** Ferritic stainless steel, CoMoCrSi coating, Corrosion, Tafel curves.

---

### 1. Giriş

Paslanmaz çelikler, dayanım, korozyon direnci ve şekillendirilebilirlik gibi özelliklerinden dolayı çeşitli şekillerde kullanılmaktadır. Paslanmaz çeliklerin ticari olarak üretilmeye ve birçok uygulama türündeki malzemeler için kullanılmaya başlanmasından bu yana yaklaşık 80 yıl kadar kısa bir süre geçti. Paslanmaz çelikler, oksijenle tepkimeye girerek yüzeylerinde oluşturdukları ince ve koruyucu pasif tabaka sayesinde mükemmel korozyon direncine sahiptir. Bu tabaka ana malzemenin agresif ortamla ilişkisini keserek koruma sağlar. Pasif tabakanın koruyuculuğu sonsuz değildir. Koruyucu tabakanın bozulması, aşındırıcı ortamdaki kimyasal veya mekanik saldırılarla meydana gelebilir, bu da çukurlaşma, çatlak korozyonu ve stres korozyon çatlama gibi yerel korozyona neden olur. Paslanmaz çelik türlerinden biri olan ferritik paslanmaz çelikler (FPÇ'ler), %10,5 ile %30 arasında Cr içeren demir esaslı alaşımlardır [1]. FPÇ'nin maliyeti, östenitik paslanmaz çelikten daha düşüktür ve sonuç olarak daha fazla tercih edilir. Co esaslı malzemeler, mekanik mukavemetin yanı sıra korozyona, oksidasyona ve aşınmaya karşı mükemmel bir direnç gösterir. CoMoCrSi alaşımlarında gözlenen dikkate değer iyi kaplama özellikleri, daha yumuşak bir kobalt bazlı alaşım matrisinde dağılımı sert çökeltilerin (kobalt-molibden-silikon bazlı intermetalik Laves fazları) oluşumundan kaynaklanmaktadır [2]. Paslanmaz

---

\*Sorumlu yazar: [hulyademiroren@gmail.com](mailto:hulyademiroren@gmail.com)

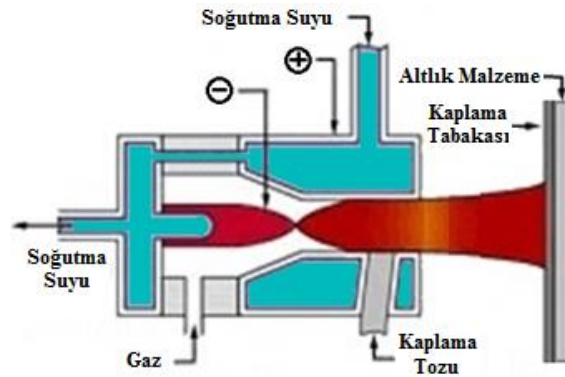
Geliş Tarihi: 11.06.2021, Kabul Tarihi: 12.08.2021

çeliklerin korozyon dirençlerinin geliştirilmesi için pek çok kaplama çalışması yapılmıştır. Wang ve arkadaşları, difüzyon bağ yöntemi ile AISI 441 FSS Co kaplama yapmıştır. Sonuçta korozyon direncini artırmada basit difüzyonla bağlama yönteminin, diğer koruyucu alaşım kaplamalarını imal etmek için kullanılabileceğini bulmuşlardır [3]. Kim ve arkadaşları yüzey modifikasyon yöntemleri olarak oksit dispersiyonu ile güçlendirilmiş ferritik-martensitik (ODS-FM) çelik üzerine alüminid difüzyon kaplamaları uygulamış, sonuçta Al açısından zengin bir yüzey tabakasının, Ni bir difüzyon bariyeri görevi gördüğü için S-CO<sub>2</sub> korozyonundan iyi koruduğu tespit etmiştir [4]. Başka bir çalışmada tek katmanlı TiN, CrN ve çok katmanlı TiCrN filmleri, CAD tekniği ile SUS 430 ferritik paslanmaz çelik yüzeylerde depolanmıştır. Çok katmanlı TiCrN filminin en iyi mekanik özellikleri ve korozyon direncini sergilediği görülmüştür [5]. You ve arkadaşları kompakt bir CrNx tabakası, çok arklı iyon yöntemi kullanılarak 430SS üzerine kaplamışlar, ardından CrNx/430SS üzerinde bir Ni-Fe alaşımli kaplamamın elektrodpozisyonunu yapmışlardır. Ni-Fe/CrNx kaplı alt tabaka oksidasyon davranışı ve CrNx bariyer tabakasının etki mekanizmasını tartışmışlardır [6]. Bijalwan ve ark. [7] düşük karbonlu hafif çelik numuneleri demir esaslı amorf kompozit toz ile kaplamışlar, kaplama kalınlığı önemli olmaksızın çok daha iyi korozyon direnci elde etmişlerdir. Qin ve ark çalışmalarında hafif çelikleri plazma püskürtme yöntemini kullanarak TiCN ile kaplamışlardır. Daha yüksek korozyon direnci elde etmişlerdir [8]. Singh ve ark hafif çelikleri monel-400 ile plazma püskürtme yöntemini kullanarak kaplamışlar, daha iyi mekanik davranış ve korozyon direnci elde etmişlerdir [9]. Kumar ve ark [10] hafif çelikleri Fe<sub>63</sub>Cr<sub>9</sub>B<sub>16</sub>C<sub>7</sub>P<sub>5</sub> (%) amorf kristal toz ile kaplamışlar ve plazma parametrelerine göre 4-7 kat daha iyi korozyon direnci elde etmişlerdir.

Bu çalışma, plazma püskürtme kaplama yöntemi ile CoMoCrSi tozu kaplanmış ferritik paslanmaz çeliğin, kaplanmamış ferritik paslanmaz çeliğe kıyasla korozyon davranışını incelemek ve kaplama tabakasının korozyon davranışını iyileştirmedeki etkisini araştırmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Ferritik Paslanmaz çelik 80x35x4 mm ölçülerinde hazırlanarak altlık malzemesi olarak kullanılmıştır. Kaplama öncesi; numune yüzeyi kumlanarak pürüzlendirilmiştir. CoMoCrSi karışımli tozlar, plazma püskürtme yöntemiyle ferritik paslanmaz çelik altlık üzerine kaplanmıştır. Kaplama esnasında 3MB tabanca, 600 A akım şiddeti, 65 V gerilim, 100 mm püskürtme mesafesi kullanılmıştır. CoMoCrSi tozları, Sulzer Metco tarafından 68F-NS kodu ile temin edilmiştir. Tablo 1'de CoMoCrSi tozunun ağırlıkça % kimyasal kompozisyonu verilmiştir.

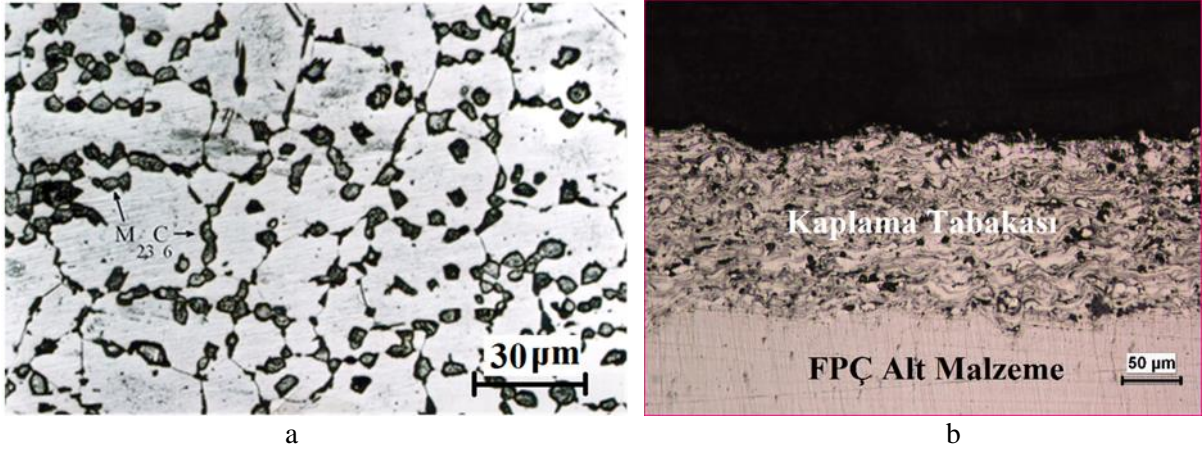


Şekil 1. Plazma Püskürtme sisteminin şematik görünüşü [11]

**Tablo 1.** CoMoCrSi tozunun % ağırlıkça kimyasal kompozisyonu

Toz/Element	CoMoCrSi
Kobalt	Kalan
Molibden	28,5
Krom	17,5
Silisyum	3,4
Sulzer Kodu	Metco 68F-NS
Toz Ebatı (µm)	45 ile 10 arası

Şekil 2' de ferritik paslanmaz çelik ve kaplanmış numunenin optik fotoğrafları görülmektedir. Şekil 2a' da görüldüğü gibi çok yaygın bir şekilde  $M_{23}C_6$  karbürleri görülmektedir. Bu karbürlerin hem çoklu mikroyapıya sebep olmaları hem de yüksek enerjiye sahip olmaları sebebiyle korozyonu hızlandırıcı yapılar olduğu bilinmektedir [12]. Şekil 2b' de kaplama yapılmış olan S2 numunesine ait mikroyapı fotoğrafı görülmektedir. Kaplama tabakasının, termal sprej kaplamaların genelinde görülen gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Yaklaşık olarak 150 µm bir kaplama tabakası elde edilmiştir. Altlık malzeme olan ferritik paslanmaz çelik ile CoMoCrSi kaplama tabakası arasında herhangi bir boşluğun oluşmadığı görülmektedir. Lamelli yapılar, termal püskürtme kaplamaların klasik görülen yapılarından [13,14]. 600 A akım şiddetinde kaplanan S2 numunesinde de lamelli bir mikroyapı görülmüştür.



Şekil 2. a) S1 numunesinin (FPC), b) S2 numunesinin (Kaplanmış FPC) mikroyapı resimleri.

Korozyon deneyleri AC impedans tekniği ile yapılmıştır. Korozyon olayları elektrokimyasal olaylardır. Bu yüzden korozyon hızlarının elektrokimyasal yöntemler kullanılarak ölçülmesi çok yaygındır. Ancak bu yöntemlerde dışarıdan uygulanan gerilim, malzemenin yüzeyini bozduğu için doğruluğu konusunda şüpheler oluşturmaktadır. Bu yöntemlerin doğruya en yakın şekilde değerlendirilmesi için çok zor olan korozyon kinetiğinin çok iyi bilinmesi gerekir [15].

Uygulanan gerilimin en düşük olduğu, dolayısıyla yüzey yapısının en az bozulduğu polarizasyon direnci uygulanabilir bir yöntemdir. Polarizasyon direnci yönteminde korozyon hızı  $i_{corr}$  aşağıdaki denklemle verilir [15]:

$$i_{corr} = \frac{1}{R_p} \frac{b_a b_c}{2.303 (b_a + b_c)} \quad (1)$$

Denklemdeki  $b_a$  ve  $b_c$  Tafel sabitleridir. Polarizasyon direnci  $R_p$  ise;

$$R_p = \frac{\Delta E}{\Delta i} \quad (2)$$

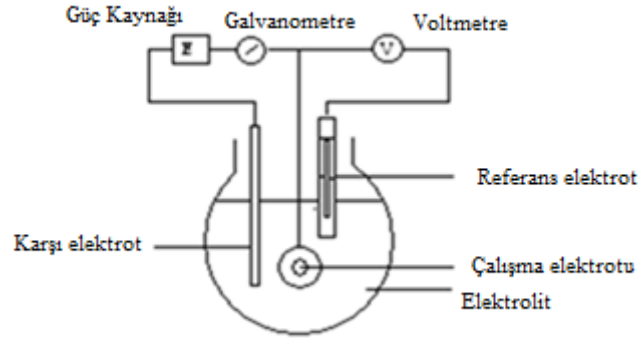
ile tanımlanmaktadır. Burada  $\Delta E$ , potansiyeldeki değişim;  $\Delta i$  ise akımdaki değişimdir.

Korozyon testleri oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Standart üç elektrotlu sisteme sahip hücre düzeneği kullanılmıştır. Korozyon deneyinin şematik görüntüsü Şekil 3'te verilmektedir.

Kaplanmış numuneler, çalışma elektrotudur. Karşı elektrot olarak grafit elektrot ve referans elektrot Ag/AgCl elektrot kullanılmıştır. Kompozit kaplamanın korozyon direncini karşılaştırmak için temel malzeme olarak ferritik paslanmaz çelik kullanılmıştır. Tüm polarizasyon ölçümleri GAMRY 600 potansiyostat ile gerçekleştirilmiştir. 0.1 mV/s'lik bir tarama ölçeği ile -1 V ila +1 V arasında potansiyodinamik polarizasyon değerleri elde edilmiştir. Korozyon hızları Tafel eğrilerinden ( $E/\log i$ ) hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda Stean-Geary denklemleri kullanılmıştır (Denklem 3).

$$i_{corr} = B \frac{\Delta i}{\Delta E} \quad (3)$$

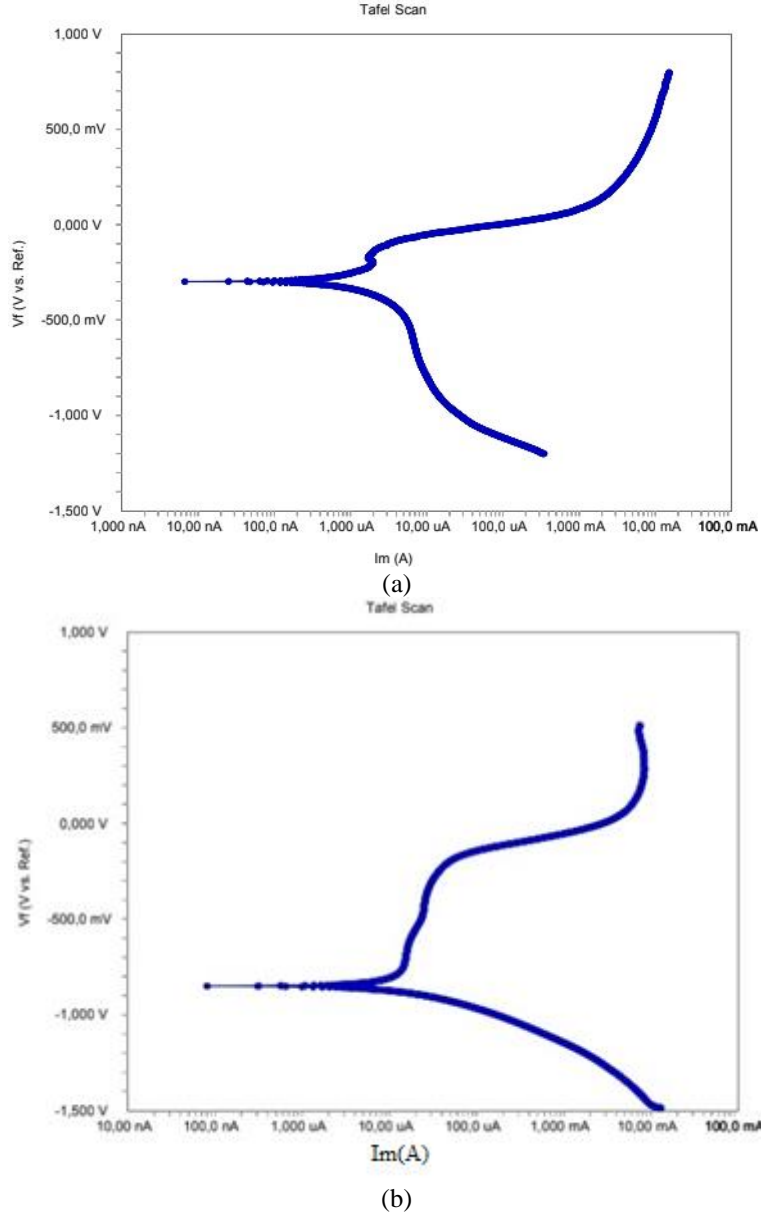
Burada B Tafel sabitlerinden hesaplanan ve bazı sistemler için her malzemeye özgü bir sabittir.



Şekil 3. Korozyon deneyinin prensip şeması

### 3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 4'te elde edilen Tafel grafikleri görülmektedir. S1 numunesinin açık devre potansiyeli (OCP) -0.202 V iken S2 numunesinin açık devre potansiyeli -0.488 V tur. Yani polarize olması için daha büyük potansiyellere maruz kalması gerekir. Bu da daha iyi korozyon direnci anlamına gelir. Her iki numune de tipik bir anot pasifleştirme karakterizasyonu sergileyen benzer polarizasyon davranışına sahiptir. Ancak Tafel eğrilerinden de görüleceği gibi kaplanmış malzemenin pasifleşme bölgesi daha geniştir. Pasifleşme bölgesinin geniş olması malzemenin korozyona karşı daha dirençli olduğunu gösterir. Korozyon akım ve korozyon potansiyelleri Tablo 2' de verilmiştir. S1 numunesine ait malzemenin korozyon hızı  $1,96 \times 10^{-2}$  iken kaplama yapılmış malzemeye ait korozyon hızı  $6,04 \times 10^{-5}$  mA dir. Bu da kaplamanın daha iyi korozyon direncine sahip olduğu anlamına gelir. Daha önce Kumar ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [10] elde edilen korozyon hızlarının  $10^{-3}$  mA mertebesinde olduğu görülmüştür.  $10^2$  mA mertebesinde daha iyi bir sonuç elde edilmiştir.

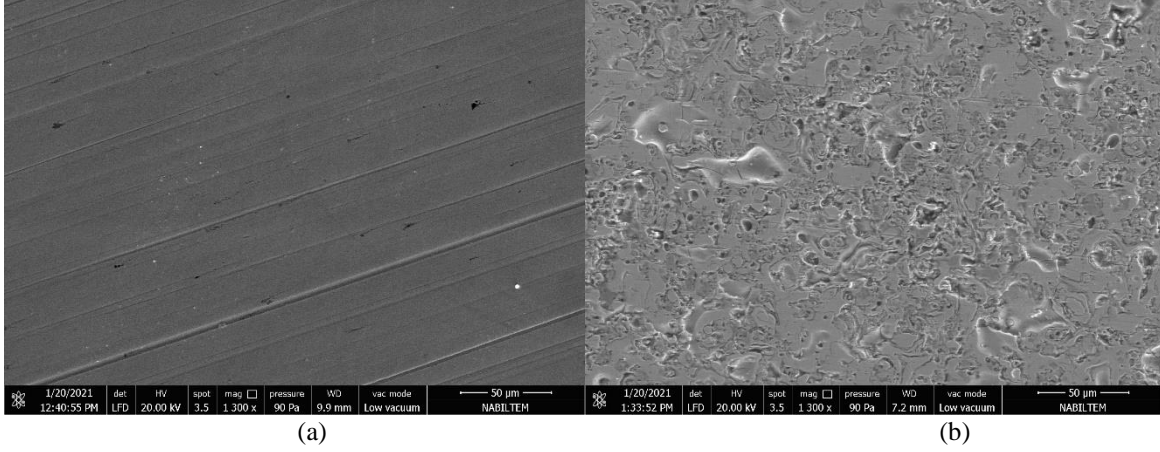


Şekil 4. Tafel (E-logi) eğrileri (a) S1, (b) S2

Tablo 2. Numunelerin polarizasyon parametreleri

Numune no	$E_{corr}$ (mV)	$I_{corr}$ (mA/cm <sup>2</sup> )
S1	-850.2	$1,96 \times 10^{-2}$
S2	-299.0	$6,04 \times 10^{-5}$

CoMoCrSi alaşımlı Laves fazlarının oluştuğu yüzey işlemleri ile korozyona karşı dirençli kaplama tabakaları meydana gelmektedir [16]. Bu tabakaların, altlık malzeme ile kaplama arasında boşluk olmamasını sağlayabileceği değerlendirilmektedir. Ayrıca CoMoCrSi ile kaplanmış ferritik paslanmaz çelik üzerinde oluşan oksit tabakanın, kaplanmamış çelik malzeme üzerindeki oksit tabakadan daha koruyucu olduğu söylenebilir. Bunun nedeni adezyon kuvveti daha iyi Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> filmin, korozyona karşı dayanıklı CoMoCrSi kaplamaların koroziyon ortam ile arasındaki doğrudan teması geciktirerek ve bozunma mekanizmalarının başlamasını erteleyerek aşınma performansını iyileştirmesidir [17]. Fe-Cr oksit tabakaların Fe oksit tabakalardan daha yüksek adezyon enerjisine sahip olduğu bilinmektedir [18]. Bu enerji sayesinde tabakanın yüzeydeki varlığı süreklidir.



Şekil 5. Korozyon deneyleri sonrası a) S1 ve b) S2 numunelerinin SEM görüntüleri

Şekil 5’te numunelerin korozyon sonrası yüzey görüntüleri yer almaktadır. Üretim yönteminden dolayı meydana gelen pürüzlü görünümü korozyon sonucu oluşan görünümünden ayırmak önemlidir. Bu konuda polarizasyon deneylerinden elde edilen veriler yol göstericidir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Ferritik paslanmaz çelik yüzeyine plazma püskürtme yöntemi kullanılarak CoMoCrSi tozu kaplanabilmektedir. Kaplama sonrasında aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

1. Kaplama tabakasının mikroyapısında lamelli bir yapının oluştuğu ve altlık malzeme ile kaplama tabakası arasında herhangi bir boşluğun oluşmadığı tespit edilmiştir.

AC impedans tekniği ile elde edilen E-log i eğrilerinden Ferritik paslanmaz çelik üzerine yapılan CoMoCrSi kaplamaların korozif açıdan faydalı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Çalışmanın aşınma parametreleri elde edilerek geliştirilmesi mümkündür. Ayrıca endüstriyel hayatta kullanımının getireceği ekonomik katkılar da belirlenerek tavsiye edilen bir malzeme olduğu fikri sağlanabilir.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları belirtilmelidir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Demiroren H. 2009. Corrosion behavior of ferritic stainless steel alloyed with different amounts of niobium in hydrochloric acid solution. *Journal of Applied Electrochemistry*, 39: 761-767.
- [2] Wang Y., Liu J., Kang N., Darut G., Poirier T., Stella J., Liao H., Planche M-P. 2016. Cavitation erosion of plasma-sprayed CoMoCrSi coatings. *Tribology International*, 102: 429-435
- [3] Wang Z., Li C., Si X., Liu Y., Qi J., Huang Y., Feng J., Cao J. 2020. Oxidation behavior of ferritic stainless steel inter connect coated by a simple diffusion bonded cobalt protective layer for solid oxide fuel cells. *Corrosion Science*, 172: 108739.



- [4] Kim C., Cha J-H., KimS. H., Jang C., Kim T.K. 2020. Development of aluminide diffusion coatings on ODS ferritic-martensitic steel for corrosion resistance in high temperature supercritical-carbon dioxide environment. *Applied Surface Science*, 509: 145387.
- [5] Hsu C.H., Lin C.K., Huang K.H., Ou K.L. 2013.Improvement on hardness and corrosion resistance of ferritic stainless steel via PVD-(Ti,Cr)N coatings. *Surface&Coatings Technology*, 231: 380–384.
- [6] You P.F., ZhangX., Yang X.G., Zhang H.L., Yang L.X., Zeng C.L. 2019. Preparation and performances of Ni-Fe/CrNx dual layer coatings for ferritic stainless steel inter connects. *Results in Physics*, 12: 1598–1605.
- [7] Bijalwan P., Singh C., Kumar A., Sarkar K., Rani N., Laha T., Banerjee A., Mondal K. 2021. Corrosion behaviour of plasma sprayed Fe based metallic glass Fe73Cr2Si11B11C3 (at%) coatings in 3.5% NaCl solution. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 567: 120913.
- [8] Qina Y., Zhaob H., Lib C., Lua J., He J. 2020. Effect of heat treatment on the microstructure and corrosion behaviors of reactive plasma sprayed TiCN coatings. *Surface & Coatings Technology*, 398: 126086.
- [9] Singha A. A. M. M., Franco P. A., Binoj J. S. 2019. Enhancement of corrosion resistance on plasma spray coated mild steel substrate exposed to marine environment. *Materials Today: Proceedings*, 15: 84–89.
- [10] Kumar A., Kumar Nayak S., Sarkar K., Banerjee A., Mondal K., Lah T. 2020. Investigation of nano- and micro-scale structural evolution and resulting corrosion resistance in plasma sprayed Fe-based (Fe-Cr-B-C-P) amorphous coatings. *Surface & Coatings Technology*, 397: 126058.
- [11] Özel S. 2019. The effect of coating parameter on properties of plasma sprayed Co based coatings. *Tehnicki Vjesnik*, 26 (2): 318-322.
- [12] Demirören H., Aksoy M., Erbil M. 2008. The effect of Nb and heat treatment on the corrosion behavior of ferritic stainless steel in acid environments. *Materials Science*, 44: 566–572.
- [13] Gupta M., Musalek R., Tesar T. 2020. Microstructure and failure analysis of suspension plasma sprayed thermal barrier coatings. *Surface and Coatings Technology*, 382: 125218.
- [14] Wei Z.Y., Cai H.N. 2020. Comprehensive effects of TGO growth on the stress characteristic and delamination mechanism in lamellar structured thermal barrier coatings. *Ceramics International*, 46 (2): 2220-2237.
- [15] Erbil M., 1987. Alternatif akım (A.C.) impedans yöntemi ile korozyon hızı belirlenmesi, *Doğa*, 3: 100-111.
- [16] Yao M.X., Wu J.B.C., Yick S., Xie Y., Liu R. 2006. High temperature wear and corrosion resistance of a Laves phase strengthened Co–Mo–Cr–Si alloy. *Materials Science and Engineering, A* 435–436: 78–83. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.07.054>
- [17] Nascimentoa E.M., Amaral L.M., Sofia A., D'Oliveira C.M. 2017. Characterization and wear of oxides formed on CoMoCrSi alloy coatings. *Surface & Coatings Technology*, 332: 408–413.
- [18] Sun L. 2021. Adhesion and electric structure at Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/FeCr<sub>2</sub>O<sub>4</sub> interface: A first principles study. *Journal of Alloys and Compounds*, 875: 160065.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## **Düşük Dayanımlı Betonla Üretilen Kolonlarda Kesit Hasar Sınırlarının TBDY 2018'e göre Deneysel Olarak İncelenmesi**

Hasan ELÇİ\*

*\*Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balıkesir  
(ORCID: [0000-0002-7439-3404](https://orcid.org/0000-0002-7439-3404))*

### **Öz**

Türkiye'de riskli yapı olarak değerlendirilebilecek eski betonarme binaların beton dayanımları çok düşüktür. Çalışmada, bu tür binalarda bulunan betonarme kolonlar için TBDY 2018'de (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018) öngörülen hasar sınırları deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla, düşük dayanımlı beton kullanılarak dört adet betonarme konsol kolon hazırlanmıştır. Kolonlar yüksek sabit eksenel yük ve artan tekrarlı tersinir yatay yükler altında %5 yer değiştirmeye kadar test edilmiştir. Deneysel sonuçlarından, kolonların yatay yük-yer değiştirme ve moment-eğrilik diyagramları elde edilmiştir. TBDY 2018'de belirtilen; plastik dönme kapasitesine, beton ve çelik şekil değiştirmesine bağlı olarak hasar sınırları tespit edilmiştir. Bu hasar sınırlarına karşılık gelen kolon hasarları gözlenmiş ve değerlendirilmiştir. Sınırlı Hasar (SH) sınırına ulaşıldığında, hasarlar genellikle kılcal eğilme çatlakları şeklinde oluşmuş ve sınırlı miktarda elastik ötesi davranış gözlenmiştir. Kontrollü Hasar (KH) sınırında kolon kabuk betonlarında ezilme başlamış ancak, bir kolon hariç, dayanım kaybı olmamıştır. Göçme Öncesi Hasar (GÖ) sınırında, kalıcı hasarlar meydana gelmiş ve kabuk betonunu dökülen iki kolonda %10'a kadar dayanım kaybı gözlenmiştir. GÖ hasar sınırından sonra büyük hasarlar ve taşıma kapasitesindeki önemli azalmalar meydana gelmiştir. Hasarlar TBDY 2018'de plastik mafsallık olarak tanımlanan  $L_p=0.5h$  uzunluğunda bir bölgede yoğunlaşmıştır. Bu karşılaştırmalara göre, TBDY 2018'deki değerlendirme yönteminin yüksek eksenel yük etkisindeki düşük beton dayanımına sahip kolon elemanların hasar sınırlarını belirlemede güvenilir sonuçlar verdiği söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme kolon, Hasar sınırları, Doğrusal olmayan analiz, Moment-eğrilik, Plastik dönme.

## **Experimental Investigation of Section Damage Limits for Reinforced Columns with Low Strength Concrete According to TBSC 2018**

### **Abstract**

The concrete compression strength of old-type reinforced concrete (RC) buildings, which can be evaluated as vulnerable structures in Turkey, is considerably low. In the study, the damage limits according to TBSC 2018 (Turkish Building Seismic Code 2018) for RC columns in such buildings were investigated experimentally. For this purpose, four RC cantilever column specimens were casted with low strength concrete. Test columns were tested up to 5% drift ratio under relatively high constant axial load and cyclic lateral loads. The experimental lateral load-displacement and moment-curvature curves of the columns were obtained. According to TBSC 2018; damage limits were determined depending on a calculated plastic rotation capacity and material strains of concrete and reinforcing steel. Observed damages on columns corresponding to calculated damage limits were evaluated. When the Limited Damage (LD) state was reached, the damages generally formed as hairline flexural cracks and a limited inelastic behavior was observed. At the Controlled Damage (CD) state, the cover concrete crushing onset, but lateral strength was not decreased except for one of the test column. Residual damage has occurred at the Collapse Prevention (CP) limit and approximately 10% strength loss has been observed in two of test columns due to the spalling of cover concrete. Beyond the CP damage limit, major damage and significant strength loss occurred. The damage accumulated in the length of  $L_p=0.5h$  defined as the plastic hinge length in TBSC 2018. According to experimental and analytical comparisons, it can be said that the damage limits of TBSC 2018 provides reliable predictions for RC columns with low concrete strength under the effect of high axial load.

**Keywords:** Reinforced concrete column, Damage limits, Nonlinear analysis, Moment-curvature, Plastic rotation.

\*Sorumlu yazar: [helci@balikesir.edu.tr](mailto:helci@balikesir.edu.tr)

Geliş Tarihi: 14.06.2021, Kabul Tarihi: 12.08.2021

## 1. Giriş

Özellikle aktif deprem kuşakları üzerinde bulunan ülkelerde depremsel etkiler çok sık yaşanmaktadır. Bu etkiler nedeniyle oluşabilecek can ve mal kayıplarının en aza indirilebilmesi için, yapıların yönetmeliklerde belirtilen kurallara göre tasarlanması ve imalatlarının bu tasarıma göre yapılması gerekmektedir.

DBYBHY 2007'nin (Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007) yürürlüğe girmesiyle, mevcut betonarme binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde performans dayalı değerlendirme yöntemi kullanılmaya başlanmıştır. TBDY 2018 ile bu değerlendirme yönteminin yeni yapılacak binaların tasarımında da uygulanması zorunlu hale gelmiştir [1, 2]. TBDY 2018'de; yeni yapılacak veya mevcut binalar için performans hedefleri ve uygulanacak değerlendirme/tasarım yaklaşımları verilmiştir. Buna göre, bina türü yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesi için dayanım esaslı veya şekil değiştirme esaslı yöntemler kullanılabilir [2].

Malzemenin elastik ötesi davranışını hesaba katmaya olanak sağladığından, şekil değiştirme esaslı tasarım ve değerlendirme yöntemi, dayanım esaslı tasarım yöntemine göre daha avantajlıdır. Şekil değiştirme esaslı tasarım ve değerlendirme yönteminde, sünek davranışa ilişkin şekil değiştirme talepleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet talepleri hesaplanır. Böylece, deprem etkisiyle oluşabilecek yapısal hasarlar gerçeğe yakın ve ayrıntılı olarak öngörülebilir [3-8].

Deprem kuvvetlerinin taşınması ve temele aktarılmasında hayati öneme sahip olan kolonların davranışı yapı davranışını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, deprem etkileri altındaki kolonlarının davranışının bilinmesi ve bunun için de kolon hasar sınırlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Performansın belirlenmesinde kullanılan hasar sınırları, kesitlerdeki plastik dönme miktarına göre hesaplanmaktadır. Plastik dönme miktarları ise yapıyı oluşturan malzemelerin şekil değiştirme sınırlarına göre belirlenmektedir. Bu konu ile ilgili olarak çok sayıda çalışma yapılmıştır. Deneysel ve analitik olarak yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar yönetmeliklerde verilen değerlerle karşılaştırılmıştır. [9-15].

Bazı araştırmacılar; malzeme modeli, eksenel yük oranı, boyuna donatı oranı, enine donatı oranı ve aralığı gibi değişkenlerin betonarme kolonların davranışına etkisini incelemiş; bu değişkenlere bağlı olarak elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır [16-21].

Aksoylu vd, farklı sayıda katlara sahip betonarme çerçeve tipi yapıların 3 farklı deprem yönetmeliğine göre, ETABS yazılımı ile analizini yapmıştır. Çalışmada, doğrusal olmayan performans analizi yapılarak yönetmeliklerin talep spektrumlarına göre performans puanları belirlenmiştir. Buna göre, ASCE 7-16'nın talep yer değiştirme değerleri her durumda Türk yönetmeliklerinden daha düşüktür. TBDY 2018, yüksek binalarda DBYBHY 2007'den daha az yer değiştirme talebini ortaya koymaktadır [22].

Dok vd, betonarme dikdörtgen ve dairesel kolonların moment-eğrilik ilişkisini sayısal olarak araştırmıştır. Moment-eğrilik ilişkisini etkileyen karşılaştırma parametreleri olarak betonun basınç dayanımı, uygulanan eksenel yük, boyuna ve enine donatı oranı seçilmiştir. Bu parametrelere göre, betonarme dikdörtgen ve dairesel kesitlerin eğrilik sünekliliği ve etkin eğilme rijitliği belirlenmiştir [23].

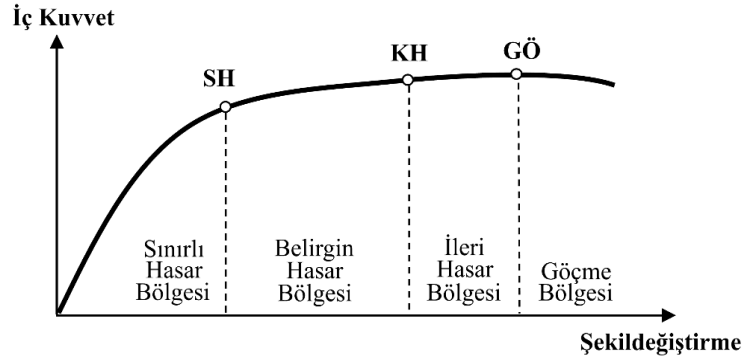
Foroughi vd, yapısal elemanların deprem performansının belirlenmesi için TBDY 2018'de betonarme elemanlar için öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarını analitik olarak incelemiştir. Farklı kesit ve donatı parametreleri kullanarak ve gerçek malzeme davranışları esas alınarak elde edilen moment-eğrilik ilişkilerinden kolon kesitlerinin elastik ötesi davranışları incelenmiştir. Betonarme kolonlarda, TBDY 2018'de verilen üç farklı hasar sınırına karşı gelen birim şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır [24, 25].

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki mevcut betonarme yapı stokunun önemli bir kısmını oluşturan düşük dayanımlı betonlarla yapılmış olan binalardaki kolonların hasar sınırlarının deneysel olarak değerlendirilmesidir. Bunun için, TBDY 2018'de betonarme elemanlar için öngörülen şekil değiştirme esaslı hasar sınırları deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla; düşük dayanımlı betonla üretilen, enine ve boyuna donatıları farklı dört adet konsol kolon hazırlanmıştır. Beton ve çeliğin şekil değiştirmeleri ve kesit dönmelerine bağlı olarak teorik çözümden elde edilen hasar seviyeleri kesit düzeyinde gözlenen hasarlarla karşılaştırılmıştır. Böylece TBDY 2018'de verilen hesap ve değerlendirme yönteminin yüksek eksenel yük etkisindeki düşük beton dayanımına sahip kolon elemanların hasar sınırlarını belirlemede güvenilirliği deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Hasar Bölgelerinin Belirlenmesi

TBDY 2018’de, gevrek hasar gören elemanlar hariç, elastik ötesi davranış için üç hasar sınırı verilmiştir. Bu hasar sınırları beton ve donatı şekildeğiştirmelerine ve kesit dönmelerine bağlı olarak belirlenmektedir. Sınırlı Hasar (SH), kesitteki elastik ötesi davranışın sınırlı miktarda kaldığı durumdur. Kontrollü Hasar (KH), elastik ötesi davranışın kesit tarafından güvenle karşılanabildiği durumdur. Kesitte ileri düzeyde elastik ötesi davranışı belirleyen sınır ise Göçme Öncesi Hasar (GÖ) sınırı olarak tanımlanmaktadır. Bu hasar sınırları arasında kalan bölgelere hasar bölgesi denir. Hasar bölgeleri, Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi ve İleri Hasar Bölgesi olarak adlandırılır. Hasar sınırı GÖ’yü aşan kesitler göçmüş sayılır (Şekil 1) [2].



Şekil 1. Kesit hasar bölgeleri [2]

TBDY 2018’de elastik ötesi davranışın modellenmesi için iki farklı yöntem önerilmektedir. Bunlar, yayılı plastik davranış modeli ve yığılı plastik davranış modelidir. Bu çalışmada, pratik olması nedeniyle çoğunlukla tercih edilen Yığılı Plastik Davranış Modellemesi kullanılmıştır.

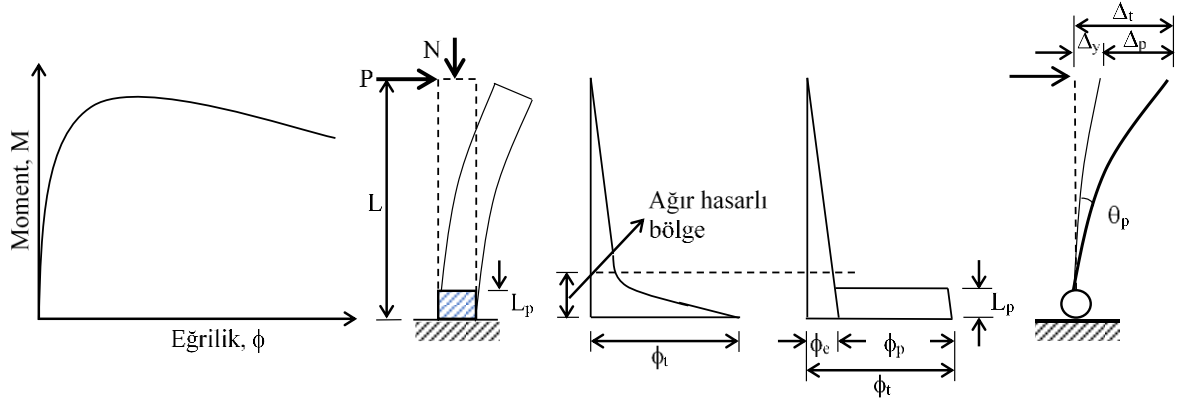
Yığılı plastik davranış (Plastik Mafsallı) modelinde iç kuvvetlerin plastik kapasitelerine eriştiği sonlu uzunluktaki bölgeler boyunca, plastik şekildeğiştirmelerin düzgün yayılı biçimde oluştuğu varsayılmaktadır. Plastik mafsal boyu olarak adlandırılan plastik şekildeğiştirme bölgesinin uzunluğu ( $L_p$ ), çalışan doğrultudaki kesit boyutu  $h$ ’nin yarısına eşit ( $L_p = 0.5h$ ) alınmaktadır. Dikdörtgen kesitli betonarme sünek kesitlerde, hasar sınırları için izin verilen şekildeğiştirme ve kesit dönmeleri Tablo 1’de verilmiştir [2].

Tablo 1. Farklı performans düzeylerine göre plastik dönme ve şekildeğiştirmeler [2]

	Göçmenim Önlenmesi (GÖ)	Kontrollü Hasar (KH)	Sınırlı Hasar (SH)
Plastik Dönme	$\theta_p^{(GÖ)} = \frac{2}{3} \left[ (\phi_u - \phi_y) L_p \left( 1 - 0.5 \frac{L_p}{L_s} \right) + 4.5 \phi_u d_b \right]$	$\theta_p^{(KH)} = 0.75 \theta_p^{(GÖ)}$	$\theta_p^{(SH)} = 0$
İzin verilen sargılı beton birim kısalması	$\varepsilon_c^{(GÖ)} = 0.0035 + 0.04 \sqrt{\omega_{we}} \leq 0.18$	$\varepsilon_c^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_c^{(GÖ)}$	$\varepsilon_c^{(SH)} = 0.0025$
İzin verilen donatı birim şekildeğiştirmesi	$\varepsilon_s^{(GÖ)} = 0.4 \varepsilon_{su}$	$\varepsilon_s^{(KH)} = 0.75 \varepsilon_s^{(GÖ)}$	$\varepsilon_s^{(SH)} = 0.0075$

Tablo 1’de;  $\phi_u$ , göçme öncesi toplam eğriliktir. TBDY 2018’de verilen malzeme modelleri kullanılarak ve kesitteki aksenal yük dikkate alınarak yapılan analizden elde edilir.  $\phi_y$  akma eğriliği olup plastik deformasyonların başladığı sınırı göstermektedir.  $L_p$  plastik şekildeğiştirmelerin meydana geldiği bölgenin uzunluğu,  $L_s$  kesme açıklığı,  $d_b$  çekmede ortalama boyuna donatı çapı,  $\omega_{we}$  etkin sargı donatısının mekanik donatı oranıdır. Etkin kesit rijitlikleri kullanılarak yapılan hesapta SH performans düzeyi için taşıyıcı sistemde plastik mafsal oluşumuna izin verilmez [2].

Yığılı plastik davranış modelinde, plastik mafsalsal bölgesi dışında doğrusal elastik davranışın geçerli olduğu kabul edilir. Bu nedenle, plastik mafsalsal bölgesinde eğriliğin aniden arttığı kabul edilir (Şekil 2).



Şekil 2. Eğrilik diyagramı ve yer değiştirmeler

Şekil 2’de gösterilen idealleştirme yapıldığında plastik mafsaldaki dönme; eğrilik ile plastik mafsalsal uzunluğunun çarpımına eşit olarak Denklem 1 ile hesaplanır.  $\phi$  eğriliği için toplam yatay yer değiştirme ise Denklem 2 ile hesaplanır [26]. Denklem 2, TBDY 2018’de verilen yöntem (yığılı plastisite, kesit moment-eğrilik analizi, plastik mafsalsal uzunluğu kabulü vb.) ve yapı mekaniğinin temel ilkeleri kullanılarak elde edilmiştir.

$$\theta_p = \phi_p L_p \quad (1)$$

$$\Delta_t = \Delta_y + \Delta_p = \frac{\phi_y L^2}{3} + (\phi - \phi_y) L_p (L - 0.5 L_p) \quad (2)$$

Denklem 2’de  $\Delta_y$ ,  $\Delta_p$  ve  $\Delta_t$  sırasıyla elastik, plastik ve toplam yer değiştirmeyi göstermektedir. Denklem 2’ye göre; plastik mafsalsal oluştuktan sonra kolonun doğrusal davrandığı kabul edilmektedir. Uzama ve kayma deformasyonlarının uç yer değiştirmesi üzerindeki etkileri ihmal edilmektedir.

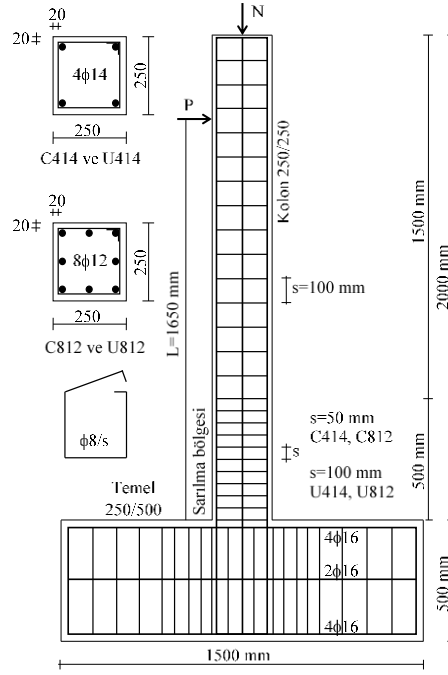
## 2.2. Deney Elemanlarının Özellikleri

Çalışmada kullanılan, düşük dayanımlı betonlarla üretilen dört kolonun kesit özellikleri Tablo 2’de, donatı detayları ve kolon boyutları Şekil 3’te verilmiştir. Kolon-temel birleşim bölgesinde soğuk derz oluşumunu engellemek için, deney elemanlarının kalıpları yatay konumda hazırlanmış ve donatılar yerleştirildikten sonra beton dökülmüştür. Kolon sarılma bölgesinde oluşacak çatlakların temele doğru ilerlemesini engellemek için temel üzerindeki ilk etriye kolonu başladığı noktaya yerleştirilmiştir.

Tablo 2’de numune adları, kolonların enine ve boyuna donatılarını tanımlayacak şekilde belirlenmiştir. Buna göre, C; 50 mm enine donatı aralığını, U; 100 mm enine donatı aralığını ifade etmektedir. C veya U harfinden sonraki ilk rakam boyuna donatı sayısını, son iki rakam ise boyuna donatı çapını göstermektedir.

Tablo 2. Numunelerin kesit özellikleri

Numune Adı	Boyutlar (mm)	Boyuna Donatı (Adet $\phi$ Çap)	Boyuna Donatı Oranı	Enine Donatı ( $\phi$ Çap/Aralık)	Beton Basınç Dayanımı (MPa)
C414	250×250	4 $\phi$ 14	%0.99	$\phi$ 8/50	9.2
U414	250×250	4 $\phi$ 14	%0.99	$\phi$ 8/100	9.2
C812	250×250	8 $\phi$ 12	%1.45	$\phi$ 8/50	9.2
U812	250×250	8 $\phi$ 12	%1.45	$\phi$ 8/100	9.2



Şekil 3. Donatı detayları ve kolon boyutları [3]

Tablo 2’de görüldüğü gibi, iki farklı boyuna donatı düzenlemesi (4φ14 ve 8φ12) yapılmıştır. Seçilen kolon boyutları, 1998’den önceki deprem yönetmeliklerinde verilen minimum kolon boyutlarıdır. Kolonlarda en yaygın kullanılan boyuna donatı oranı ise %1-%2 aralığındadır. Çalışmada kullanılan kolonların etriye aralıkları 50 mm ve 100 mm olarak seçilmiştir. Bu şekilde sık veya normal aralıklı etriyenin kolon kesitlerinin hasar sınırları üzerine etkisinin görülmesi amaçlanmıştır. Kolon kesitlerinin Göçme Öncesi (GÖ) hasar sınırına ulaşmadan boyuna donatılarının burkulmaması için etriyeler çok seyrek aralıklarla yerleştirilmemiştir.

Türkiye’de mevcut betonarme binaların önemli bir kısmının beton kalitesi, yönetmelik ve standartlarda tanımlanan sınır değerlere dahi yaklaşmamaktadır. Türkiye’de riskli yapı olarak değerlendirilebilecek betonarme binaların beton dayanımları 5-15 MPa arasında değişmektedir [27, 28]. Bu nedenle kolonların hazırlanmasında da düşük dayanımlı beton kullanılmıştır. Kullanılan betonun basınç dayanımı, standart numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyleri ile elde edilmiş olup,  $f_c=9.2$  MPa’dır. Bu dayanım, deprem riski altındaki eski betonarme yapıların ortalama basınç dayanımını yaklaşık olarak temsil etmektedir. Kullanılan donatıların mekanik özellikleri çekme deneyleri ile belirlenmiştir. Deneylerden elde edilen ortalama değerler Tablo 3’te verilmiştir.

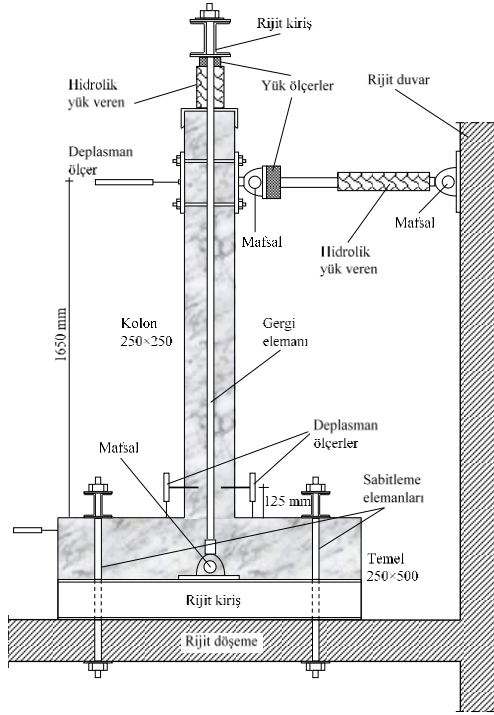
Tablo 3. Donatı çekme deneyi sonuçları

Donatı (mm)	E (GPa)	$f_{sy}$ (MPa)	$\epsilon_{sy}$	$\epsilon_{sh}$	$f_{su}$ (MPa)	$\epsilon_{su}$
φ8	205	404	0.00197	0.011	631	0.139
φ12	200	444	0.00222	0.025	563	0.135
φ14	227	470	0.00207	0.017	647	0.123

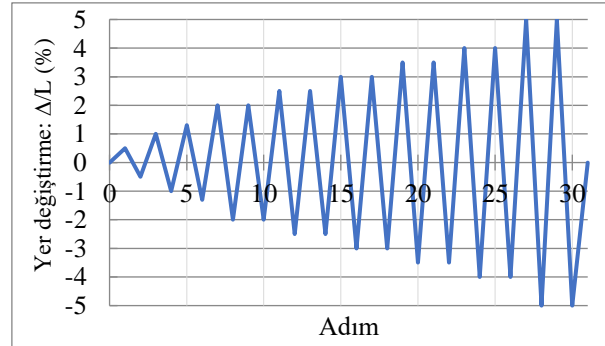
### 2.3. Deney Düzenegi ve Yükler

Kullanılan deney düzenegi Şekil 4’te verilmiştir. Yatay yük ve eksenel yük için 2 adet yük hücresi kullanılmıştır. Yük değerlerini ölçmek için hücrelerinin bulunduğu noktalara yük ölçerler yerleştirilmiştir. Deney düzeneginde toplam 4 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Bunlarda bir tanesi yatay yükün uygulandığı noktadaki kolon yer değiştirmesini ölçmek için, iki tanesi kolon plastik mafsallı bölgesindeki eğriliği belirlemek, bir tanesi de temelde meydana gelebilecek yer değiştirmeleri kontrol etmek içindir. Deneyler süresince toplanan veriler veri toplama cihazı yardımıyla kaydedilmiştir.

Tekrarlı tersinir yatay yükler altında yapılan deneylerde sabit eksenel yük,  $N_d=0.40A_c f_c=230$  kN olarak uygulanmıştır. Bu değer, TBDY 2018’de kolonlar için izin verilen maksimum düşey yüküdür [2]. Bütün deneylerde tekrarlı tersinir yatay yük olarak Şekil 5’te verilen yer değiştirme esaslı yükleme profili uygulanmıştır. Şekil 5’te,  $\Delta$  yatay yükün uygulandığı noktadaki yer değiştirmeyi, L ise kesme açıklığını göstermektedir. Deney sırasında ilk olarak kolonlara eksenel yük uygulanmış daha sonra yükleme profiline uygun olarak yer değiştirme döngülerine başlanmıştır [29].



Şekil 4. Deney düzeneği [3]



Şekil 5. Yer değiştirme esaslı yükleme profili [29]

#### 2.4. Kolonlarda Hasar Sınırlarının Belirlenmesi

Kolonlardaki hasar sınırlarını belirlemek için, XTRACT betonarme kesit analizi programı yardımıyla, moment-eğrilik diyagramları elde edilmiştir [30]. Analizlerde, deneylerden elde edilmiş olan gerçek malzeme dayanımları kullanılmıştır. XTRACT programında; sargılı ve sargısız beton için Mander vd. tarafından önerilen beton modeli [31,32], donatı için TBDY 2018’de verilen donatı modeli kullanılmıştır [2]. TBDY 2018’de verilen malzeme şekildeğiştirmesine ve plastik dönme kapasitesine bağlı olarak hasar sınırları belirlenmiştir. Hasar sınırlarının belirlenmesinde esas olan birim şekildeğiştirme değerleri Tablo 4’te koyu olarak gösterilmiştir [33].

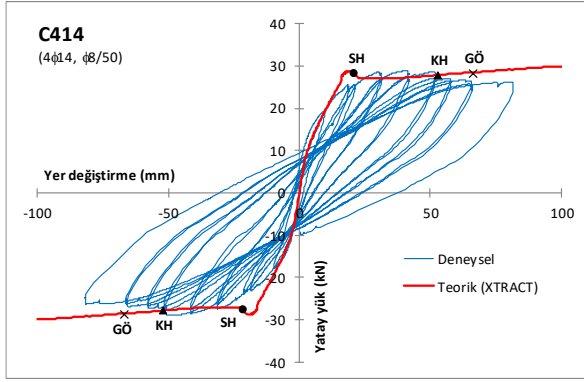
**Tablo 4.** Hasar sınırları, dönme, şekildeğiştirme ve yer değıştirmeler

Kolon Adı	Hasar Sınırı	$\varepsilon_s$ (%)	$\varepsilon_c$ (%)	$\phi_u(10^{-3})$ (rd/m)	$\phi_y(10^{-3})$ (rd/m)	$\theta_p(10^{-3})$ (rd)	$\Delta_y$ (mm)	$\Delta_p$ (mm)	$\Delta_t$ (mm)	$\Delta_t/L$ (%)
C414	GÖ	3.19	<b>-1.80</b>	262.7	20.05	30.49	18.2	48.4	66.6	4.03
	KH	<b>2.39</b>	-1.32	195.1		21.88		34.7	52.9	3.21
	SH	0.37	<b>-0.25</b>	32.5		1.56		2.5	20.7	1.25
U414	GÖ	1.60	<b>-1.32</b>	153.5	18.21	17.29	16.5	27.5	44.0	2.67
	KH	1.11	<b>-0.99</b>	110.2		11.50		18.3	34.8	2.11
	SH	0.29	<b>-0.25</b>	28.6		1.30		2.1	18.6	1.13
C812	GÖ	2.40	<b>-1.80</b>	219.2	21.78	23.72	19.8	37.6	57.4	3.48
	KH	1.66	<b>-1.32</b>	155.9		16.77		26.6	46.4	2.81
	SH	0.33	<b>-0.25</b>	30.5		1.09		1.7	21.5	1.30
U812	GÖ	1.57	<b>-1.55</b>	163.1	19.64	17.37	17.8	27.6	45.4	2.75
	KH	<b>1.17</b>	1.12	119.9		12.53		19.9	37.7	2.28
	SH	0.29	<b>-0.25</b>	28.1		1.06		1.7	19.5	1.18

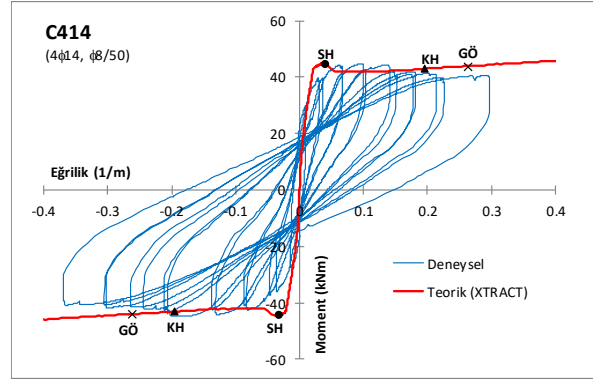
Tablo 4'te yer alan değerler, TBDY 2018 Bölüm 5.8.1'de verilen formüller ve Denklem 2 yardımıyla hesaplanmıştır. İlk olarak kesit ve malzeme bilgileri XTRACT kesit analizi programına girilerek 300 adımda moment-eğrilik ( $M - \phi$ ) diyagramı elde edilmiştir. Elde edilen ( $M - \phi$ ) diyagramı iki doğru olarak idealize edilmiş Eşdeğer akma eğriliği  $\phi_y = 20.05 \times 10^{-3} \text{ rd/m}$  olarak program tarafından hesaplanmıştır. Çözümün her adımında, kolon kesitinin her noktasındaki gerilme ve şekildeğiştirme değerleri hesaplanmıştır. Kolon kesitinde, yönetmelikte verilen kesit hasar düzeylerine karşılık gelen şekildeğiştirme sınır değerleri için eğrilikler programdan alınmıştır. Buna göre kolon kesiti;  $\phi_u = 0.2627 \text{ rd/m}$  eğriliği için GÖ hasar sınırına,  $\phi = 0.1951 \text{ rd/m}$  eğriliği için KH hasar sınırına,  $\phi = 3.25 \times 10^{-2} \text{ rd/m}$  eğriliği için SH hasar sınırına ulaşmıştır. Bu eğrilik değerleri ve Denklem 2 yardımıyla plastik mafsaldaki kesit dönmeleri ve kolon tepe noktasının yer değiştirmeleri hesaplanarak Tablo 4 oluşturulmuştur.

### 3. Bulgular ve Tartışma

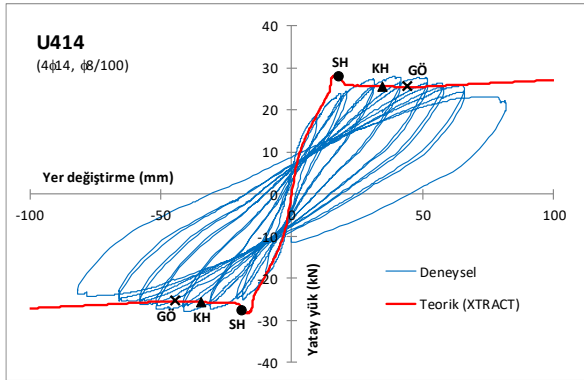
Çalışmada, aynı kesit ve beton dayanımına sahip ancak enine ve boyuna donatıları farklı 4 kolonun, Şekil 5'te verilen yükleme protokolü uygulanarak, sabit aksenal yük ve artan tersinir yatay yükler altındaki davranışı araştırılmıştır. Deneylerden ve XTRACT kesit analizi programından elde edilen yatay yük-yer değiştirme ve moment-eğrilik diyagramları karşılaştırmalı olarak Şekil 6'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, teorik çözümlerden elde edilen sonuçlar ile deneylerden elde edilen sonuçlar genel olarak uyumludur. Sadece deneylerden elde edilen akma öncesi rijitlikler, eğilme momentinin en büyük değerini aldığı kolon-temel birleşim bölgesindeki ayrılmalar nedeniyle, teorik rijitliklere göre daha düşük çıkmıştır. Plastik mafsallarda şekildeğiştirme ve dönmelerden faydalanarak XTRACT programı yardımıyla elde edilen, hasar sınırları da (GÖ, KH, SH) Şekil 6 üzerinde işaretlenmiştir. Kolon plastik mafsallarda yerleştirilen potansiyometrik cetvellerin kolona bağlandığı bölgelerde betonun hasar görmesi nedeniyle moment-eğrilik diyagramları, yatay yük-yer değiştirme diyagramları kadar düzgün elde edilememiştir.



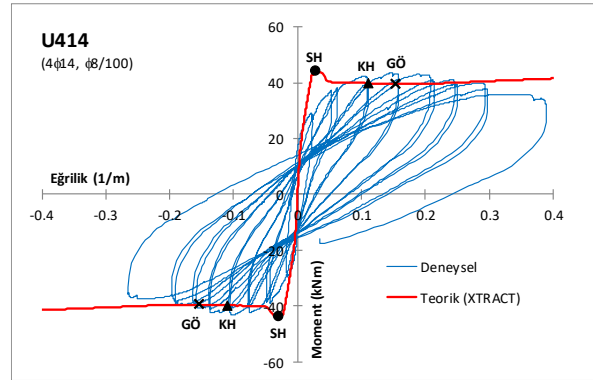
a.) C414 Kolonu P-Δ diyagramı



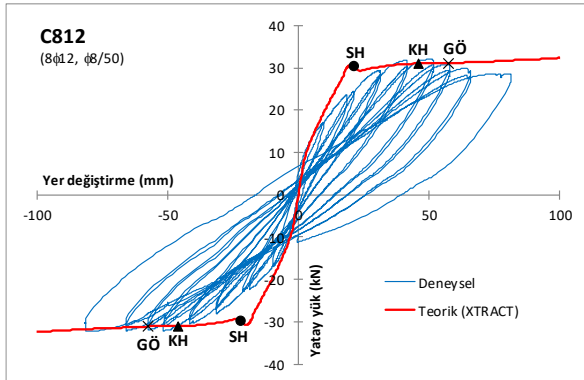
b.) C414 Kolonu M-φ diyagramı



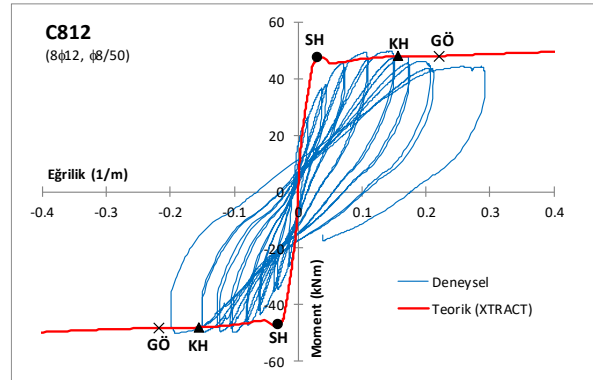
c.) U414 Kolonu P-Δ diyagramı



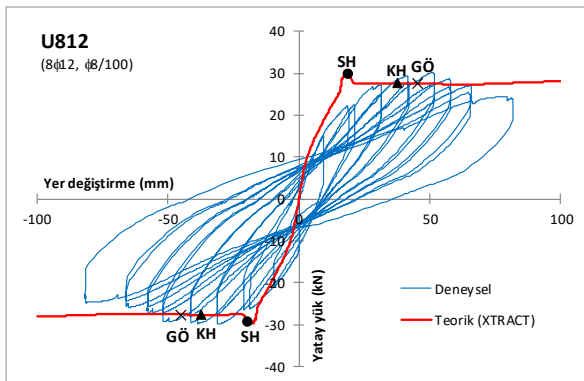
ç.) U414 Kolonu M-φ diyagramı



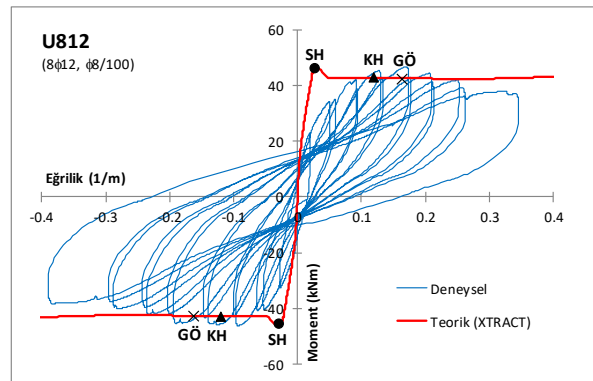
d.) C812 Kolonu P-Δ diyagramı



e.) C812 Kolonu M-φ diyagramı



f.) U812 Kolonu P-Δ diyagramı



g.) U812 Kolonu M-φ diyagramı

şekil 6. Kolonlara ait yatay yük-yer değiştirme ve moment-eğrilik diyagramları



Deneyler sırasında oluşan hasarların yerinin ve yayıldığı bölgenin daha iyi gözlemlenebilmesi için, kolon tabanından itibaren 125 mm ve 250 mm mesafede kolonlar üzerine yatay çizgiler çizilmiştir. TBDY 2018'de tanımlanan hasar sınırlarına ulaşıldığında elemanlarda oluşan hasarlar Şekil 7'de gösterilmiştir.

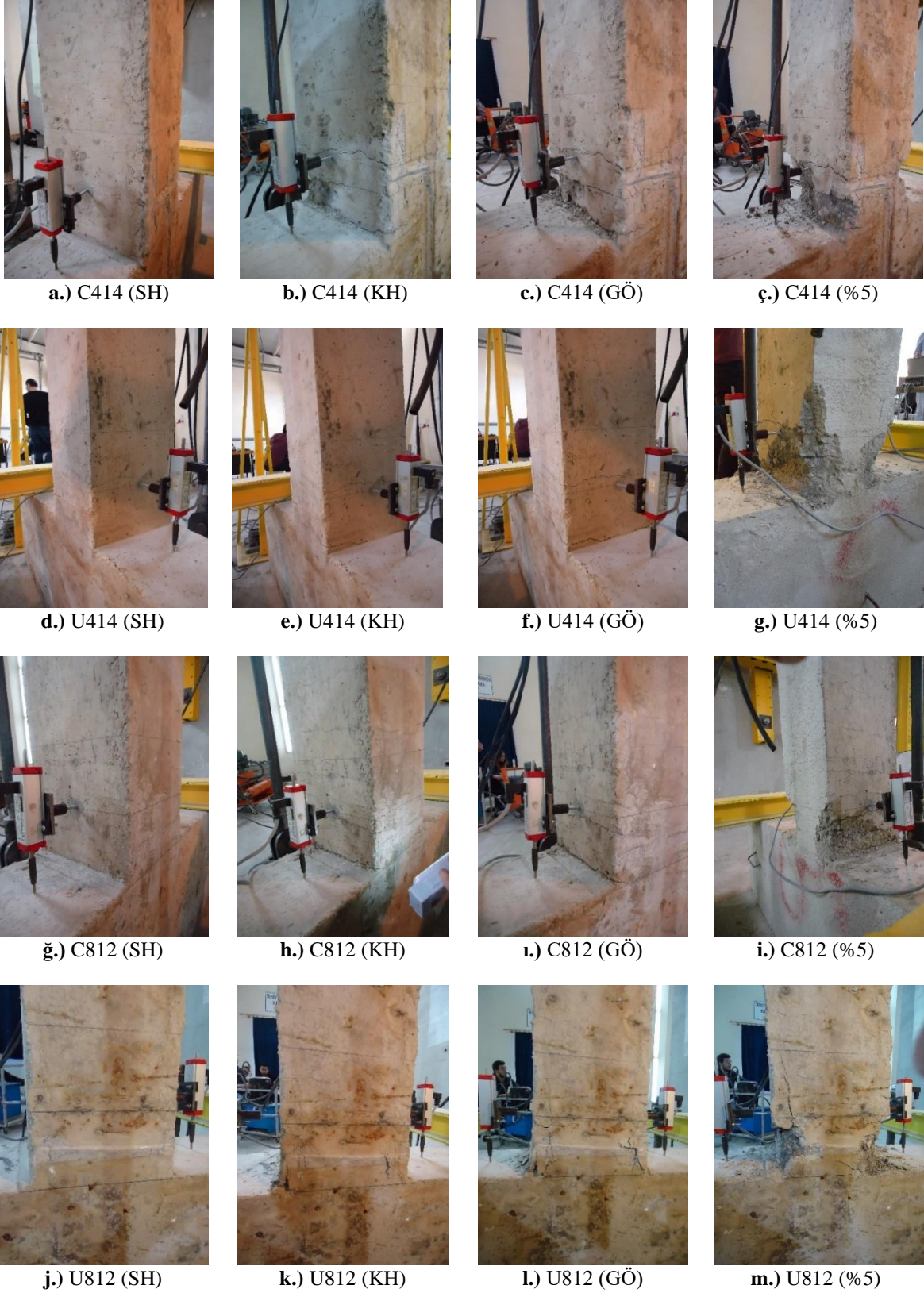
Sınırlı Hasar (SH) sınırına ulaşıldığında bütün kolonlar benzer şekilde ve düzeyde hasar görmüşlerdir. Hasarlar, genel olarak, kılcal çatlaklar şeklinde oluşmuş ve kolon tabanından itibaren 0-300 mm aralığında bir bölgede yoğunlaşmıştır. Oluşan çatlakların kolon tabanından itibaren yerleri yaklaşık olarak; C414 için 0, 130, 220, 300 mm (Şekil 7.a), U414 için 0, 130, 250 mm (Şekil 7.d), C812 için 0, 130 mm (Şekil 7.ğ), U812 için ise 0, 130 ve 200 mm (Şekil 7.j) olarak ölçülmüştür. En büyük çatlak, momentin maksimum olduğu kolon-temel birleşim bölgesinde oluşmuştur ve bu bölgedeki maksimum çatlak genişliği 0.5 mm'dir (Şekil 7). Bütün kolonlarda, bu hasar seviyesine kolonun yatay yük taşıma kapasitesinden daha düşük değerlerde ulaşılmıştır (Şekil 6). Bu hasar düzeyi için görel kolon yer değiştirmeleri %1.13-%1.30 aralığındadır (Tablo 4).

Kontrollü Hasar (KH) sınırına ulaşıldığında, kolonlardaki mevcut çatlakların genişlediği, bazı kolonlarda yeni çatlakların oluştuğu gözlenmiştir. C414 kolonunda mevcut çatlaklara ek olarak, plastik mafsal bölgesi içinde (kolon tabanından itibaren 60 mm mesafede) 1 mm genişliğinde yeni bir çatlak oluşmuştur. 0 ve 130 mm mesafedeki mevcut çatlakların genişliği 2 mm'ye çıkmıştır. Kolon kabuk betonunda dökülmeler başlamıştır (Şekil 7.b). U414 kolonunda mevcut çatlak genişlikleri artarak yaklaşık 1 mm'ye ulaşmıştır (Şekil 7.e). C812 kolonunda 100 ve 250 mm mesafede yeni çatlaklar oluşmuştur. Kolon-temel birleşim bölgesindeki çatlak genişliği 2 mm'ye ulaşmıştır. Kabuk betonunda ezilme başlangıcı gözlenmiştir (Şekil 7.h). U812 kolonunda mevcut çatlaklara ek olarak 100 mm mesafede 0.5 mm kalınlığında yeni bir çatlak oluşmuş, kolon-temel birleşim bölgesindeki çatlak genişliği ise 2 mm'ye ulaşmıştır. Kabuk betonunda ezilmelerin başladığı gözlenmiştir (Şekil 7.k). Kabuk betonunda dökülmelerin başladığı C414 kolonunun yatay yük taşıma kapasitesinde %2.6'lık bir azalma olmuştur (Şekil 6.a). Bu hasar düzeyi için görel kolon yer değiştirmeleri %2.11-%3.21 aralığındadır (Tablo 4).

Göçme Öncesi Hasar (GÖ) sınırına ulaşıldığında, plastik mafsal olarak tanımlanabilecek, kolon tabanından itibaren 130 mm'ye kadar olan bölgede bulunan çatlakların genişliklerinin sınırlı miktarda arttığı, diğer çatlakların genişliklerinin değişmediği gözlenmiştir. Bunun nedeni KH ve GÖ sınırlarına karşılık gelen kolon tepe yer değiştirmelerinin birbirlerine yakın olması ve artan plastik şekilde değiştirmelerdir. Bütün kolonlarda, betondaki ezilmeler daha görünür hale gelmiş, C414 ve U812 kolonlarının plastik mafsal bölgesinde betonları kısmen dökülmüştür (Şekil 7.c, 7.i). Bu hasar sınırı için C414 kolonunun yatay yük taşıma kapasitesindeki azalma (dayanım kaybı) %10.0'a çıkmış (Şekil 6.a), C812 kolonunda ise %3.2 oranında bir dayanım kaybı gözlenmiştir (Şekil 6.d). Bu hasar düzeyi için görel kolon yer değiştirmeleri, sık etriyeli C414 ve C812 kolonları için sırasıyla %4.03 ve %3.48, normal etriyeli U414 ve U812 kolonları için sırasıyla %2.67 ve %2.75'tir (Tablo 4).

Görel kolon yer değiştirmeleri %5 oluncaya kadar deneye devam edilmiştir. %5 yer değiştirme oranına ulaşıldığında bütün kolonlarda, plastik mafsal bölgesinde bulunan kabuk betonu dökülmüştür. Plastik mafsal bölgesi dışında, genel olarak, bir yapısal hasar oluşmamıştır. Hiçbir kolonda boyuna donatı burkulması gözlenmemiştir (Şekil 7). Bu hasar sınırı için sık etriyeli C414 ve C812 kolonları için dayanım kaybı sırasıyla %10.3 ve %13.1 (Şekil 6.a, 6.d), normal etriyeli U414 ve U812 kolonları için dayanım kaybı sırasıyla ise %21.0 ve %25.7 olarak gözlenmiştir (Şekil 6.c, 6.f). Görüldüğü gibi sık etriyeli kolonlar daha sünek davrandığı için bu kolonlardaki dayanım kaybı daha azdır.

C414, U414, C812 ve U812 kolonlarının maksimum yatay yük taşıma kapasiteleri sırasıyla 28.91, 27.86, 32.09 ve 30.28 kN olarak tespit edilmiştir. Artan boyuna donatı oranı yatay yük taşıma kapasitesine olumlu yönde katkı yapmıştır. Enine donatı aralığı ve boyuna donatı oranındaki değişimin kolonların yatay yük taşıma kapasitelerindeki değişime etkisinin sınırlı olmasının nedeni uygulanan eksenel yükün ( $N_d=0.4A_c f_c$ ) şiddetidir.



Şekil 7. TBDY 2018’de verilen hasar sınırlarına göre kolon hasar durumları

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Normal dayanımlı betonlar için DBYBHY 2007 ve TBDY 2018’de verilen şekildeğiştirme esaslı hasar sınırları birbirine yakındır ve TBDY 2018, özellikle yüksek katlı yapılarda daha güvenli tarafta kalan deformasyon limitleri vermektedir [3, 22]. Ancak Türkiye’de mevcut betonarme binaların önemli bir kısmının beton dayanımı çok düşüktür. Bu çalışmada, beton dayanımları çok düşük olan betonarme kolonların hasar sınırları TBDY 2018’de verilen şekildeğiştirme esaslı sınırlarına göre deneysel olarak araştırılmıştır. Bunun için beton kalitesi çok düşük ( $f_c=9.2$  MPa) olan, enine ve boyuna donatıları farklı 4 kolon üzerinde, sabit aksenal yük ve artan tekrarlı tersinir yatay yükler altında deneyler yapılmıştır. TBDY 2018’deki hasar sınırlarını tanımlayan birim şekildeğiştirme ve plastik dönme değerlerine karşılık gelen kolon tepe yer değiştirmeleri XTRACT programı yardımıyla teorik olarak belirlenmiş ve deneysel sonuçlardan bu yer değiştirme değerlerindeki hasar düzeyleri değerlendirilmiştir.

Deney sonuçlarına göre, SH sınırına ulaşıldığında, hasarlar genellikle kılcal çatlaklar şeklinde oluşmuş ve kolon tabanından itibaren 0-300 mm aralığında bir bölgede yoğunlaşmıştır. Kolonlarda sınırlı miktarda elastik ötesi davranış gözlenmiştir. Bütün kolonlarda, bu hasar seviyesine kolonun yatay yük taşıma kapasitesinden daha düşük değerlerde ulaşılmıştır. Boyuna ve enine donatı miktarının hasar düzeyinde bir etkisi gözlenmemiştir.

KH sınırına ulaşıldığında, özellikle plastik mafsallık bölgesindeki çatlakların genişliğinin arttığı ve kalıcı hasarların meydana geldiği görülmüştür. C812 ve U812 kolonlarında kabuk betonunda ezilme başlangıcı gözlenmiştir. Kabuk betonunda dökülme başlayan C414 kolonunda %2.6’lık bir dayanım kaybı görülmüştür. Diğer kolonlarda bir dayanım kaybı olmamıştır.

GÖ sınırına ulaşıldığında, plastik mafsallık olarak tanımlanabilecek, kolon tabanından itibaren 130 mm’ye kadar olan bölgede bulunan çatlakların genişliklerinin sınırlı miktarda arttığı gözlenmiştir. Bütün kolonlarda betondaki ezilmeler daha görünür hale gelmiş, C414 ve U812 kolonlarının plastik mafsallık bölgesinde betonları kısmen dökülmüştür. Bu hasar sınırı için, sık etriyeli kolonlar olan C414 kolonundaki dayanım kaybı %10.0’a çıkmış, C812 kolonunda ise %3.2’lik bir dayanım kaybı gözlenmiştir. Diğer kolonlarda ise bir dayanım kaybı gözlenmemiştir. İyi sargılanmış kolonlardaki dayanım kaybının nedeni; bu kolonların diğer kolonlara göre GÖ sınırına ulaşmak için yaklaşık 1.4 kat fazla yer değiştirme yapmış olmasıdır.

Sargılamanın etkinliğini ve aşırı yer değiştirmeler altındaki kolon davranışını görebilmek için görel kolon yer değiştirmeleri %5 oluncaya kadar deneye devam edilmiştir. Bu yer değiştirme oranı için bütün kolonlarda, plastik mafsallık bölgesinde bulunan kabuk betonu dökülmüştür. Plastik mafsallık bölgesi dışında, genel olarak, bir yapısal hasar oluşmamıştır. Hiçbir kolonda boyuna donatı burkulması gözlenmemiştir. Bu hasar sınırı için sık etriyeli kolonların dayanım kaybı ortalama %11.7, normal etriyeli kolonların dayanım kaybı ise ortalama %23.4 olmuştur. Görüldüğü gibi, sık etriyeli kolonlar aynı yer değiştirme oranı için daha az dayanım kaybına uğramış ve daha sünek davranış göstermiştir.

Boyuna donatı oranı %0.99 olan kolonların ortalama yatay yük taşıma kapasitesi 28.39 kN iken boyuna donatı oranı %1.45 olan kolonlardaki bu kapasite ortalama 31.19 kN olmuştur. Artan boyuna donatı oranı yatay yük taşıma kapasitesini artırmış, artan sargı donatısı ise kolonun daha sünek davranış göstermesini sağlamıştır.

Deney sonuçlarından görüldüğü gibi, geniş çatlaklar, kabuk betonu dökülmeleri gibi büyük hasarlar ve dayanım azalmaları GÖ sınırından sonra olmuştur. Bunun bir sonucu olarak, boyuna ve enine donatılarının etkileri de ancak bu sınırdan sonra daha net olarak görülebilmıştır. GÖ hasar sınırında ve özellikle %5 görel kolon yer değiştirmeleri için hasarlar TBDY 2018’de plastik mafsallık olarak tanımlanan  $L_p = 0.5h$  uzunluğunda bir bölgede yoğunlaşmıştır.

Yapılan deneysel çalışma sonunda TBDY 2018’de verilen şekildeğiştirme esaslı hasar sınırlarının ve bu sınırların belirlenmesinde kullanılan hesap yönteminin beton dayanımı çok düşük olan kolonlar için de güvenilir sonuçlar verdiği söylenebilir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada, Balıkesir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen 2016/135 numaralı projeden elde edilen verilerden yararlanılmıştır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. 2007. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı. Ankara, 1-159.
- [2] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. 2019. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, 1-395.
- [3] Elçi H., Göker K.A. 2018. Comparison of earthquake codes (TEC 2007 and TBEC 2018) in terms of seismic performance of RC columns. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 4 (6): 9-21.
- [4] Aydemir C., Kırçıl M.S., Hancıoğlu B., Zorbozan M. 2011. Betonarme kolonların hasar sınır eğriliklerinin belirlenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 22 (109): 5613-5641.
- [5] Aydemir C., Aydemir M.E. 2017. Betonarme kirişlerin hasar sınırlarının deneysel gözlemlerle irdelenmesi. *İMO Teknik Dergi*, 28 (4): 8023-8049.
- [6] Sucuoğlu H. 2006. 2007 Deprem yönetmeliği performans esaslı hesap yöntemlerinin karşılıklı değerlendirmesi. *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, 444-445: 24-36.
- [7] İlki A., Celep Z. 2011. Betonarme Yapıların Deprem Güvenliği. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim, ODTÜ, Ankara, 1-20.
- [8] Yüksel S.B., Foroughi S., Jamal R. 2020. Betonarme kirişlerin şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının araştırılması. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (2): 211-222
- [9] Işıltan Ö. 2010. Betonarme Kolonlar için TDY 2007, EUROCODE 8 ve FEMA 356 ile Yapılan Performans Değerlendirmelerinin Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1-159.
- [10] Acun B., Sucuoğlu H. 2011. Betonarme kolonların şekil değiştirme performans sınırlarının deneysel gözlemlerle değerlendirilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 22 (108): 5523-5541.
- [11] Yavaş A., Türker K. 2012. Experimental investigation of strain based damage limits in turkish earthquake code for RC columns. *SDU International Technological Sciences*, 4 (2): 102-114.
- [12] Hasgül U., Yavaş A. Türker K., Terzi M., Birol T. 2016. DBYBHY-2007’de tanımlanan hasar kriterlerinin betonarme kolon elemanlar için incelenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 21 (2), 499-514.
- [13] Ulutaş H. 2019. DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem yönetmeliklerinin kesit hasar sınırları açısından kıyaslanması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, No. 17: 351-359.
- [14] Kazaz İ., Gülkan P. 2012. Süneklik düzeyi yüksek betonarme perdelerdeki hasar sınırları. *İMO Teknik Dergi*, 23 (114): 6113-6140.
- [15] Türker K. 2014. Türkiye deprem yönetmeliğindeki performans esaslı statik yöntemlerin düşey rijitlik düzensizliği bulunan çerçeveler üzerinde karşılaştırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3): 70-77.
- [16] Kolgu S., Peker K. 2003. Betonarme Kesit Davranışında Eksenel Yük, Malzeme Modeli ve Sargı Donatısı Oranının Etkisi. Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs, İstanbul, 1-7.
- [17] Foroughi S., Yüksel S.B. 2020. Investigation of the moment–curvature relationship for reinforced concrete square columns. *Turkish Journal of Engineering (TUJE)*, 4 (1): 36-46.
- [18] Foroughi S., Yüksel S.B. 2018. Moment Curvature Relationship of Square Columns. *International Congress on Engineering and Architecture (ENAR)*, 14-16 Kasım, Alanya, 681-688.
- [19] Çolakoğlu H.E. 2020. Betonarme kolonların deprem performansında enine donatı aralığı etkisinin sayısal olarak incelenmesi, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (2020) 1-13.
- [20] Göker K.A. 2017. Betonarme Kolonların Deprem Performansını Etkileyen Parametrelerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 1-144.

- [21] Ulutaş H., Tekeli H., Demir D. 2015. Kesit Hasar Sınırlarının Belirlenmesinde Sargılama Durumunun Etkisi. Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, 7-9 Mayıs, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, 252-259.
- [22] Aksoylu C., Mobark A., Arslan H.A., Erkan İ.H. 2020. A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings. *Revista de la Construcción*, 19 (2): 282-305.
- [23] Dok G., Öztürk, H. Demir A. 2017. Determining Moment-Curvature Relationship of Reinforced Concrete Columns. *ICONTE2017: International Conference on Technology, Engineering and Science. The Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering & Mathematics (EPSTEM)*, 26-29 October, Antalya, 1, 52-58.
- [24] Foroughi S., Yüksel S.B. 2019. Betonarme kolonların şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının araştırılması. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11 (2): 584-601.
- [25] Foroughi S., Jamal R., Yüksel S.B. 2020. Şekil değiştirme esaslı hasar sınırlarının belirlenmesinde sargı donatısının ve eksenel yükün etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8 (4): 1042-1052.
- [26] Park R., Priestly M.J.N., Gill W.D. 1982. Ductility of square-confined concrete columns. *Journal of Structural Division*, 108 (4): 929-950.
- [27] Özcan O., Binici B., Özcebe G. 2008. Improving seismic performance of deficient reinforced concrete columns using carbon fiber-reinforced polymers. *Engineering Structures*, 30 (6): 1632-1646.
- [28] Özcan O., Binici B., Özcebe G. 2010. Seismic strengthening of rectangular reinforced concrete columns using fiber reinforced polymers. *Engineering Structures*, 32 (4): 964-973.
- [29] Özcan O., Binici B., Canbay E., Özcebe G. 2010. Repair and strengthening of reinforced concrete columns with CFRPs. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29 (22): 3411-3424.
- [30] XTRACT, v.3.0.9. Cross-sectional X Structural Analysis of Components. Imbsen Software Systems. 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827.
- [31] Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. 1988. Observed stress-strain behavior of confined concrete. *Journal of Structural Engineering*, 114 (8), 1827-1849.
- [32] Mander J.B., Priestley M.J.N., Park R. 1988. Theoretical stress-strain model for confined concrete. *Journal of Structural Division*, 114 (8), 1804-1826.
- [33] Halis B. 2019. İkinci Kez Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların Deneysel Olarak İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 1-132.

## **Bicomplex Numbers: Further Contributions to a Fibonacci and Fibonacci - Lucas Matrices Oriented Approach**

Faik BABADAĞ\*

*Kırıkkale University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Kırıkkale, Turkey  
(ORCID: [0000-0001-9098-838X](https://orcid.org/0000-0001-9098-838X))*

### **Abstract**

In this study, by using Fibonacci  $Q$ -matrix and Lucas  $Q'$ -matrix we define bicomplex Fibonacci  $Q$ -matrix and bicomplex Lucas  $Q'$ -matrix. After that using this matrix representation, we give some identities.

**Keywords:** Bicomplex number, Fibonacci  $Q$ -matrix, Fibonacci and Lucas numbers.

## **Bikompleks Sayılar: Fibonacci ve Fibonacci-Lucas Matrislerine Yönelik Yaklaşımına İlave Katkılar**

### **Öz**

Bu çalışmada, Fibonacci  $Q$ -matrisi ve Lucas  $Q'$ -matrisi kullanarak bikompleks Fibonacci  $Q$ -matris ve bikompleks Lucas  $Q'$ -matrisi tanımladık. Daha sonra bu matris sunumunu kullanarak bazı özdeşlikler verdik.

**Anahtar kelimeler:** Bikompleks sayı, Fibonacci  $Q$ -matris, Fibonacci ve Lucas sayılar.

### **1. Introduction**

A bicomplex number is described by

$$\mathcal{B} = a + ib + jc + ijd,$$

where the imaginary units  $i, j$  and  $ij$  are governed by the rules:  $i^2 = j^2 = -1, (ij)^2 = (ji)^2 = +1$ . For two bicomplex numbers  $\mathcal{B} = a + ib + jc + ijd$  and  $\mathcal{B}' = a' + ib' + jc' + ijd'$ , the addition, subtraction and multiplication of these numbers are given by

$$\mathcal{B} \mp \mathcal{B}' = (a \mp a') + i(b \mp b') + j(c \mp c') + ij(d \mp d')$$

and

$$\begin{aligned} \mathcal{B} \times \mathcal{B}' &= (a + ib + jc + ijd) \times (a' + ib' + jc' + ijd') \\ &= (aa' - bb' - cc' + dd') + i(ab' + ba' - cd' - dc') \\ &\quad + j(ac' + ca' - bd' - db') + ij(ad' + da' + cb' + bc'), \end{aligned}$$

respectively. The conjugates of the bicomplex number  $\mathcal{B}$  are denoted by  $\mathcal{B}^i, \mathcal{B}^j$  and  $\mathcal{B}^{ij}$ . In that case, there are different conjugations as follows, [1]:

\*Corresponding author: [faik.babadag@kku.edu.tr](mailto:faik.babadag@kku.edu.tr)  
Received: 18.06.2021, Accepted: 19.10.2021



$$\begin{aligned} \mathcal{B}^i &= a - ib + jc - ijd, \\ \mathcal{B}^j &= a + ib - jc - ijd, \\ \mathcal{B}^{ij} &= a - ib - jc + ijd. \end{aligned} \tag{1}$$

The Fibonacci and Lucas sequence are presented for all integers  $n$  by the second order recurrence relation  $f_{n+2} = f_{n+1} + f_n$  and initial conditions  $f_1 = f_2 = 1$  and  $l_{n+2} = l_{n+1} + l_n$  but initial conditions  $l_1 = 1, l_2 = 3$ . Different applications of Fibonacci and Lucas numbers have been in almost all fields of science, [2, 11].

The Fibonacci  $Q$ -matrix and Lucas  $Q'$ -matrix are presented as, [12, 15];

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad Q' = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}.$$

The  $n^{th}$  power of the  $Q$ -matrix and  $Q'$ -matrix are

$$Q^n = Q_n = \begin{bmatrix} f_{n+1} & f_n \\ f_n & f_{n-1} \end{bmatrix} \quad \text{and} \quad (Q')^n = Q'_n = \begin{bmatrix} \ell_{n+1} & \ell_n \\ \ell_n & \ell_{n-1} \end{bmatrix}. \tag{2}$$

Furthermore, it is clearly expressed as  $f_{n-1}f_{n+1} - f_n^2 = (-1)^n$  and

$$Q^{n+1}Q^n = Q^{2n+1} = Q_{n+1}Q_n = Q_{2n+1} \tag{3}$$

In this present paper, by combining bicomplex numbers and Fibonacci, Lucas numbers we define bicomplex Fibonacci  $Q$ -matrix and bicomplex Lucas  $Q'$ -matrix. We define some properties.

The bicomplex Fibonacci and bicomplex Lucas number are given respectively by

$$\mathcal{B}f_n = f_n + if_{n+1} + jf_{n+2} + ijf_{n+3} \quad \text{and} \quad \mathcal{B}\ell_n = \ell_n + i\ell_{n+1} + j\ell_{n+2} + ij\ell_{n+3}, \tag{4}$$

where  $f_n$  and  $\ell_n$  are the  $n^{th}$  Fibonacci numbers, Lucas numbers and  $i^2 = j^2 = -1, (ij)^2 = +1$ . If we start from  $n \geq 0$ , the bicomplex Fibonacci and bicomplex Lucas number are given as;

$$\mathcal{B}f_0 = i + j + 2ij; \mathcal{B}f_1 = 1 + i + 2j + 3ij; \mathcal{B}f_2 = 1 + 2i + 3j + 5ij$$

and

$$\mathcal{B}\ell_0 = 2 + i + 3j + 4ij; \mathcal{B}\ell_1 = 1 + 3i + 4j + 7ij; \mathcal{B}\ell_2 = 3 + 4i + 7j + 11ij.$$

## 2. Bicomplex Fibonacci $Q$ -Matrix and Bicomplex Lucas $Q'$ -Matrix

For  $n \geq 0$ , the  $n^{th}$  bicomplex Fibonacci  $Q_n$ -matrix  $\mathcal{B}_n$  and the  $n^{th}$  bicomplex Lucas  $Q'_n$ -matrix  $\mathcal{B}'_n$  are defined as

$$\mathcal{B}_n = Q_n + iQ_{n+1} + jQ_{n+2} + ijQ_{n+3} \quad \text{and} \quad \mathcal{B}'_n = Q'_n + iQ'_{n+1} + jQ'_{n+2} + ijQ'_{n+3}, \tag{5}$$

where  $i, j$  and  $ij$  are arbitrary units which satisfy the relations;  $i^2 = j^2 = -1, (ij)^2 = +1$ . Now we will give some identities on bicomplex Fibonacci  $Q$ -matrix.

**Identities 1.** For  $m, n \geq 0$ ,

$$\mathcal{B}_n - i\mathcal{B}_{n+1} - j\mathcal{B}_{n+2} + ij\mathcal{B}_{n+3} = -Q'_n \begin{bmatrix} 7 & 4 \\ 4 & 3 \end{bmatrix},$$

$$B_n \times B_n^{ij} + B_{n-1} \times B_{n-1}^{ij} = 5Q_{2n} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix},$$

$$B_n \times B_m = (1 - 2i)(Q'_{m+n+3} - 2jQ_{m+n+3}),$$

where  $B_n^{ij}$  is the conjugation with respect to the imaginary unit  $ij$ .

**Proof .** We will give the proof of identity  $B_n - iB_{n+1} - jB_{n+2} + ijB_{n+3} = 3Q'_n \begin{bmatrix} 7 & 4 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}$ . Using equality (5), we have

$$\begin{aligned} &= Q_n + iQ_{n+1} + jQ_{n+2} + ijQ_{n+3} - i(Q_{n+1} + iQ_{n+2} + jQ_{n+3} + ijQ_{n+4}) \\ &\quad - j(Q_{n+2} + iQ_{n+3} + jQ_{n+4} + ijQ_{n+5}) + ij(Q_{n+3} + iQ_{n+4} + jQ_{n+5} + ijQ_{n+6}) \\ &= Q_n + Q_{n+2} + Q_{n+4} + Q_{n+6}, \end{aligned}$$

from the equality (2) and the identities  $f_{n-1} + f_{n+1} = l_n$  and  $f_{n+4} + f_n = 3f_{n+2}$  in [3, 5], we can write as

$$\begin{aligned} &= \begin{bmatrix} f_{n+1} & f_n \\ f_n & f_{n-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{n+3} & f_{n+2} \\ f_{n+2} & f_{n+1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{n+5} & f_{n+4} \\ f_{n+4} & f_{n+3} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{n+7} & f_{n+6} \\ f_{n+6} & f_{n+5} \end{bmatrix} \\ &= 3 \begin{bmatrix} l_{n+4} & l_{n+3} \\ l_{n+3} & l_{n+2} \end{bmatrix} \\ &= 3 \begin{bmatrix} l_{n+1} & l_n \\ l_n & l_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l_4 & l_3 \\ l_3 & l_2 \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

from the equality (2), we obtain

$$= 3Q'_n Q'_3 = 3Q'_n \begin{bmatrix} 7 & 4 \\ 4 & 3 \end{bmatrix}.$$

Now we will prove the identity

$$B_n \times B_n^{ij} + B_{n-1} \times B_{n-1}^{ij} = 5Q_{2n} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

By using the equalities (1), (2) and (5), we get

$$= Q_{n-1}^2 + 2Q_n^2 - 2Q_{n+2}^2 - Q_{n+3}^2, \tag{6}$$

if we rewrite the equality (6) from equality (3),

$$\begin{aligned} &= Q_{2n-2} + 2Q_{2n} - 2Q_{2n+4} - Q_{2n+6} \\ &= \begin{bmatrix} f_{2n-1} & f_{2n-2} \\ f_{2n-2} & f_{2n-3} \end{bmatrix} + 2 \begin{bmatrix} f_{2n+1} & f_{2n} \\ f_{2n} & f_{2n-1} \end{bmatrix} - 2 \begin{bmatrix} f_{2n+5} & f_{2n+4} \\ f_{2n+4} & f_{2n+3} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} f_{2n+7} & f_{2n+6} \\ f_{2n+6} & f_{2n+5} \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

From equality (7), we obtain

$$= \begin{bmatrix} l_{2n} & l_{2n-1} \\ l_{2n-1} & l_{2n-2} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_{2n+3} & l_{2n+2} \\ l_{2n+2} & l_{2n+1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} l_{2n+6} & l_{2n+5} \\ l_{2n+5} & l_{2n+4} \end{bmatrix}$$



$$\begin{aligned}
 &= 5 \begin{bmatrix} f_{2n+3} & f_{2n+2} \\ f_{2n+2} & f_{2n+1} \end{bmatrix} \\
 &= 5 \begin{bmatrix} f_{2n+1} & f_{2n} \\ f_{2n} & f_{2n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_3 & f_2 \\ f_2 & f_1 \end{bmatrix} \\
 &= 5Q_{2n} \begin{bmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Lastly, considering equality (5), we have

$$\begin{aligned}
 \mathcal{B}_n \times \mathcal{B}_m &= (Q_n Q_m - Q_{n+1} Q_{m+1} - Q_{n+2} Q_{m+2} + Q_{n+3} Q_{m+3}) \\
 &\quad + i(Q_n Q_{m+1} + Q_{n+1} Q_m - Q_{n+2} Q_{m+3} - Q_{n+3} Q_{m+2}) \\
 &\quad + j(Q_n Q_{m+2} + Q_{n+2} Q_m - Q_{n+1} Q_{m+3} - Q_{n+3} Q_{m+1}) \\
 &\quad + ij(Q_n Q_{m+3} + Q_{n+3} Q_m + Q_{n+2} Q_{m+1} + Q_{n+1} Q_{m+2}) \\
 &= Q_{m+n} (Q_0 - Q_2 - Q_4 + Q_6) + 2i Q_{m+n} (Q_1 - Q_5) \\
 &\quad + 2j Q_{m+n} (Q_2 - Q_4) + 4ij Q_{m+n} Q_4 \\
 &= Q'_{m+n+3} - 2i Q'_{m+n+3} - j Q_{m+n+3} - ij Q_{m+n+3} \\
 &= (1 - 2i)(Q'_{m+n+3} - 2j Q_{m+n+3}).
 \end{aligned}$$

**Identities 2.**

$$\begin{aligned}
 \mathcal{B}_{n+1}^2 - \mathcal{B}_{n-1}^2 &= Q_{2n} \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} (-1 + 10i - 6j + 4ij), \\
 \mathcal{B}_n^2 + \mathcal{B}_{n+1}^2 &= -Q'_{2n} \begin{bmatrix} 7 & 4 \\ 4 & 3 \end{bmatrix} (1 + 10i - 2j + 4ij).
 \end{aligned}$$

**Proof .** From the equalities (2) and (5),

$$\begin{aligned}
 \mathcal{B}_{n+1}^2 &= Q_{2n+2} - Q_{2n+4} - Q_{2n+6} + Q_{2n+8} + 2i(Q_{n+1} Q_{n+2} - Q_{n+3} Q_{n+4}) \\
 &\quad + 2j(Q_{n+1} Q_{n+3} - Q_{n+2} Q_{n+4}) + 2ij(Q_{n+1} Q_{n+4} + Q_{n+2} Q_{n+3}), \\
 &= Q_{2n+2} - Q_{2n+4} - Q_{2n+6} + Q_{2n+8} + 2i(Q_{2n+3} - Q_{2n+7}) \\
 &\quad + 2j(Q_{2n+4} - Q_{2n+6}) + 4ij Q_{2n+5}, \\
 &= -(Q_{2n+3} + Q_{2n+7}) - 2i Q'_{2n+5} + 2j(Q_{2n+4} - Q_{2n+6}) + 4ij Q_{2n+5}, \\
 &= -Q_{2n+5} + 2i Q'_{2n+5} - 2j Q_{2n+5} + 4ij Q_{2n+5}.
 \end{aligned}$$

Similarly, we can compute

$$\mathcal{B}_n^2 = -Q_{2n+3} + 2i Q'_{2n+3} - 2j Q_{2n+3} + 4ij Q_{2n+3}$$

and

$$\mathcal{B}_{n-1}^2 = -Q_{2n+1} + 2i Q'_{2n+1} - 2j Q_{2n+1} + 4ij Q_{2n+1}.$$

Now, we have

$$\begin{aligned} \mathcal{B}_{n+1}^2 - \mathcal{B}_{n-1}^2 &= (-Q_{2n+5} + 2iQ'_{2n+5} - 2jQ_{2n+5} + 4ijQ_{2n+5}) \\ &\quad -(-Q_{2n+1} + 2iQ'_{2n+1} - 2jQ_{2n+1} + 4ijQ_{2n+1}) \\ &= Q_{2n} \begin{bmatrix} 3 & 2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} (-1 + 10i - 6j + 4ij) \end{aligned}$$

and

$$\begin{aligned} \mathcal{B}_n^2 + \mathcal{B}_{n+1}^2 &= -Q'_{2n+3}(1 + 10i - 2j + 4ij) \\ &= -Q'_{2n} \begin{bmatrix} 7 & 4 \\ 4 & 3 \end{bmatrix} (1 + 10i - 2j + 4ij). \end{aligned}$$

**Identity 3.** For  $n \geq 0$ , The  $n^{th}$  negabicomplex Fibonacci  $Q_n$ -matrix is

$$\mathcal{B}_{-n} = \frac{1}{(-1)^n} \begin{bmatrix} f_{n-1}\mathcal{B}f_1 - f_n\mathcal{B}f_0 & f_{n-1}\mathcal{B}f_0 - f_n\mathcal{B}f_{-1} \\ f_{n-1}\mathcal{B}f_0 - f_n\mathcal{B}f_{-1} & f_{n+1}\mathcal{B}f_{-1} - f_n\mathcal{B}f_0 \end{bmatrix}$$

**Proof .** Now, we will give proof of identity  $\mathcal{B}_{-n}$ . We have

$$\begin{aligned} \mathcal{B}_{-n} &= Q_{-n} + iQ_{-n+1} + jQ_{-n+2} + ijQ_{-n+3} \\ \mathcal{B}_{-n} &= Q_{-n}(Q_0 + iQ_1 + jQ_2 + ijQ_3) \\ &= (Q_n)^{-1}(Q_0 + iQ_1 + jQ_2 + ijQ_3) \\ &= \left( \begin{bmatrix} f_{n+1} & f_n \\ f_n & f_{n-1} \end{bmatrix} \right)^{-1} \begin{bmatrix} 1 + i + 2j + 3ij & i + j + 2ij \\ i + j + 2ij & 1 + j + ij \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{(-1)^n} \begin{bmatrix} f_{n-1} & -f_n \\ -f_n & f_{n+1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathcal{B}f_1 & \mathcal{B}f_0 \\ \mathcal{B}f_0 & \mathcal{B}f_{-1} \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{(-1)^n} \begin{bmatrix} f_{n-1}\mathcal{B}f_1 - f_n\mathcal{B}f_0 & f_{n-1}\mathcal{B}f_0 - f_n\mathcal{B}f_{-1} \\ f_{n-1}\mathcal{B}f_0 - f_n\mathcal{B}f_{-1} & f_{n+1}\mathcal{B}f_{-1} - f_n\mathcal{B}f_0 \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

where  $\mathcal{B}f_1$ ,  $\mathcal{B}f_0$  and  $\mathcal{B}f_{-1}$  are bicomplex Fibonacci numbers.

### 3. Some Applications On Bicomplex Fibonacci $Q$ -Matrix

Let  $\mathcal{B}_n$  be the  $n^{th}$  bicomplex Fibonacci  $Q_n$  -matrix, for  $n \geq 0$ , these number is  $2^{th}$  linear recurrence sequence. Then, we suppose the sets of  $\mathbb{C}_2$  and  $\mathbb{C}'_2$  are

$$\mathbb{C}_2 = \{ \mathcal{B}_n \mid \mathcal{B}_n = Q_n + iQ_{n+1} + jQ_{n+2} + ijQ_{n+3}, Q_n \text{ is } n^{th} Q\text{-matrix} \},$$

and

$$\mathbb{C}'_2 = \left\{ \mathcal{B}_n \mid \mathcal{B}_n = \begin{bmatrix} \alpha_n & \beta_n \\ \beta_n & \alpha_n \end{bmatrix}; \alpha_n, \beta_n \in \mathbb{C} \right\}.$$

Then, there is an isomorphism between  $\mathbb{C}_2$  and  $\mathbb{C}'_2$  , in that case, we can write

$$\mathcal{B}_n = (\mathcal{Q}_n, \mathcal{Q}_{n+1}, \mathcal{Q}_{n+2}, \mathcal{Q}_{n+3}) \rightarrow \mathcal{B}_n = \begin{bmatrix} \mathcal{Q}_n + i\mathcal{Q}_{n+1} & \mathcal{Q}_{n+2} + i\mathcal{Q}_{n+3} \\ \mathcal{Q}_{n+2} + i\mathcal{Q}_{n+3} & \mathcal{Q}_n + i\mathcal{Q}_{n+1} \end{bmatrix}$$

Thus, we can write

$$\mathbb{C}'_2 = \{\mathcal{B}_n \mid \mathcal{B}_n = \alpha_n \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \beta_n \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}; \alpha_n, \beta_n \text{ is } n^{th} \text{ complex Fibonacci } \mathcal{Q}\text{-matrix}\}$$

and

$$\mathcal{B}_n = \mathcal{Q}_n U_1 + \mathcal{Q}_{n+1} U_2 + \mathcal{Q}_{n+2} U_3 + \mathcal{Q}_{n+3} U_4,$$

where

$$\mathcal{B}_n = \mathcal{Q}_n \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + \mathcal{Q}_{n+1} \begin{bmatrix} i & 0 \\ 0 & i \end{bmatrix} + \mathcal{Q}_{n+2} \begin{bmatrix} 0 & j \\ j & 0 \end{bmatrix} + \mathcal{Q}_{n+3} \begin{bmatrix} 0 & ij \\ ij & 0 \end{bmatrix}.$$

Since  $\det \mathcal{B}_n \neq 0$ , there is the inverse of matrix  $\mathcal{B}_n$  and it is in  $\mathbb{C}'_2$ . Now, let's define the  $n^{th}$  bicomplex Fibonacci  $\mathcal{Q}$ -vector  $\vec{\mathcal{B}}_n$  and the  $n^{th}$  bicomplex Lucas  $\mathcal{Q}'$ -vector  $\vec{\mathcal{B}}'_n$  as

$$\vec{\mathcal{B}}_n = i\mathcal{Q}_{n+1} + j\mathcal{Q}_{n+2} + ij\mathcal{Q}_{n+3} \text{ and } \vec{\mathcal{B}}'_n = i\mathcal{Q}'_{n+1} + j\mathcal{Q}'_{n+2} + ij\mathcal{Q}'_{n+3}, \text{ respectively.}$$

**Theorem 1.** Let  $\vec{\mathcal{B}}_n$  and  $\vec{\mathcal{B}}_{n+1}$  be bicomplex Fibonacci  $\mathcal{Q}$ -vectors. The dot and cross product of these vectors are defined by

$$\langle \vec{\mathcal{B}}_n, \vec{\mathcal{B}}_{n+1} \rangle = \mathcal{Q}_{n+1}\mathcal{Q}_{n+2} + \mathcal{Q}_{n+2}\mathcal{Q}_{n+3} + \mathcal{Q}_{n+3}\mathcal{Q}_{n+4}$$

and

$$\vec{\mathcal{B}}_n \times \vec{\mathcal{B}}_{n+1} = \det \begin{bmatrix} -i & j & ij \\ \mathcal{Q}_{n+1} & \mathcal{Q}_{n+2} & \mathcal{Q}_{n+3} \\ \mathcal{Q}_{n+2} & \mathcal{Q}_{n+3} & \mathcal{Q}_{n+4} \end{bmatrix}$$

where in the permanent of  $\vec{\mathcal{B}}_n \times \vec{\mathcal{B}}_{n+1}$ , the signatures of the permutations are not taken into account, [16].

**Proof :** From the equality (2 ), we obtain,

$$\begin{aligned} \langle \vec{\mathcal{B}}_n, \vec{\mathcal{B}}_{n+1} \rangle &= \mathcal{Q}_{n+1}\mathcal{Q}_{n+2} + \mathcal{Q}_{n+2}\mathcal{Q}_{n+3} + \mathcal{Q}_{n+3}\mathcal{Q}_{n+4} \\ &= \mathcal{Q}_{2n+3} + \mathcal{Q}_{2n+5} + \mathcal{Q}_{2n+7} \\ &= \mathcal{Q}_{2n} (\mathcal{Q}_3 + \mathcal{Q}_5 + \mathcal{Q}_7) \\ &= \begin{bmatrix} f_{2n+1} & f_{2n} \\ f_{2n} & f_{2n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_4 + f_6 + f_8 & f_3 + f_5 + f_7 \\ f_3 + f_5 + f_7 & f_2 + f_4 + f_6 \end{bmatrix} \\ &= 4 \mathcal{Q}_{2n} \begin{bmatrix} 8 & 5 \\ 5 & 3 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

Now, we will calculate  $\vec{\mathcal{B}}_n \times \vec{\mathcal{B}}_{n+1}$ ,

$$= -i(\mathcal{Q}_{n+2}\mathcal{Q}_{n+4} + \mathcal{Q}_{n+3}\mathcal{Q}_{n+3}) - j(\mathcal{Q}_{n+1}\mathcal{Q}_{n+4} + \mathcal{Q}_{n+2}\mathcal{Q}_{n+3}) + ij(\mathcal{Q}_{n+1}\mathcal{Q}_{n+3} + \mathcal{Q}_{n+2}\mathcal{Q}_{n+2})$$

$$=2(-iQ_{2n+6} - jQ_{2n+5} + ijQ_{2n+4})$$

$$=2(iQ_{2n+2} + jQ_{2n+3} + ijQ_{2n+4}) - 2i(Q_{2n+6} + Q_{2n+2}) - 2j(Q_{2n+5} + Q_{2n+3}),$$

finally, we have

$$= 2(\vec{B}_{2n+1} - 3iQ_{2n+4} - jQ'_{2n+4} )$$

where  $\vec{B}_{2n+1}$  is bicomplex Fibonacci vector ,  $Q_{2n+4}$  and  $Q'_{2n+4}$  are Fibonacci  $Q$ -matrix and Lucas  $Q'$ -matrix, respectively.

**Example 1.** Let  $\vec{B}_1$  and  $\vec{B}_2$  be bicomplex Fibonacci  $Q$ -vectors such that  $\vec{B}_1 = iQ_2 + jQ_3 + ijQ_4$  and  $\vec{B}_2 = iQ_3 + jQ_4 + ijQ_5$ . The dot product of these vectors are

$$\langle \vec{B}_1, \vec{B}_2 \rangle = Q_2Q_3 + Q_3Q_4 + Q_4Q_5 = Q_5 + Q_7 + Q_9$$

from the equality (2) and the equalities of Fibonacci numbers in [3, 5], we obtain

$$= 3Q_7 + Q_7 = 4Q_7$$

$$= 4 \begin{bmatrix} 21 & 13 \\ 13 & 8 \end{bmatrix}.$$

#### 4. Acknowledgment

Thank you to the referee for the careful reading, suggestion and valuable comments in this article.

#### 5. Conclusion

In this present work we have given, firstly we described the bicomplex numbers with coefficients from the Fibonacci  $Q$ -matrix and Lucas  $Q'$ -matrix sequences. We have given many equations that hold an important place in the literature on these numbers. For further studies, we plan to describe some additional identities and properties for these new numbers.

#### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics

#### References

- [1] Price G. B. 1991. An Introduction to Multicomplex Spaces and Functions, Marcel Dekker.Inc.New York, I(1)-44(1).
- [2] Nurkan S. K., Güven I. A. 2018. A note on bicomplex Fibonacci and Lucas numbers. International Journal of Pure and Applied Mathematics, 120 (3): 365-377. doi 10.12732/ijpam.v120i3.7.
- [3] Dunlap R. A. 1997. The Golden Ratio and Fibonacci Numbers. World Scientific Press.
- [4] Vajda S. 1989. Fibonacci and Lucas numbers, and the Golden Section. Theory and Applications, Halsted Press.
- [5] Hoggatt V. E. 1969. Fibonacci and Lucas Numbers published by The Fibonacci Association.
- [6] Iyer M. R. 1969. Some results on Fibonacci quaternions. The Fibonacci Quarterly, 7 (2): 201-210.
- [7] Knuth D. 2013. Negafibonacci Numbers and Hyperbolic Plane, Annual Meeting of the Math. Association of America.
- [8] Horadam A. F. 191. A Generalized Fibonacci Sequence. American Math. Monthly, 68.

- [9] Iyer M. R. 1969. Identities involving generalized Fibonacci numbers. *The Fibonacci Quarterly*, 7 (1): 66-72.
- [10] Lucas E. 1961. *Théorie des Numbers*. Nf. Balanchard, Paris, 1 (520): 25.
- [11] Koshy T. 2001. *Fibonacci and Lucas Numbers with Applications*. Wiley-Interscience Publication, New York.
- [12] Basin S. L., Hoggatt V. E. 1963. A primer on the Fibonacci sequence, Part II. *Fib. Quart.*, 1: 61-68.
- [13] Brenner J. L. 1951. June Meeting of the Pacific Northwest Section. 1. Lucas Matrix. *Amer. Math. Monthly*, 58: 220-221.
- [14] Honsberger R. 1985. The Matrix  $Q$ . *Mathematical Gems III*. Washington, DC: Math. Assoc. Amer., 106-107.
- [15] King C. H. 1960. Some Further Properties of the Fibonacci Numbers. Master's thesis. San Jose, CA: San Jose State.
- [16] Glynn D. G. 2010. Permanenet of a square matrix. *European Journal of Combinatorics*, 31 (7): 1891-1897.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## 24. Güneş Döngüsü Boyunca Meydana Gelen Jeomanyetik Fırtınaların Dağılımı

Fuat BAŞÇİFTÇİ\*

*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Harita ve Kadastro Programı,  
Karaman*

(ORCID: [0000-0002-5791-0676](https://orcid.org/0000-0002-5791-0676))

---

### Öz

Jeomanyetik fırtına, genellikle gezegenler arası manyetik alandaki anormal koşullar ve çeşitli güneş aktivitelerinin neden olduğu güneş rüzgârı plazma emisyonları nedeniyle Dünya'nın manyetik alanında küresel bir bozulmadır. Jeomanyetik aktivitesi diğer döngülere göre en düşük seviyede olan 24. güneş döngüsüdür. Bu çalışmada 24. Güneş döngüsünde meydana gelen ve jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için beş seviyeli bir sistem olan G ölçeğine göre belirlenen jeomanyetik fırtınaların dağılımı incelenmiştir. Ayrıca jeomanyetik fırtına indisi olan Kp indisi, jeomanyetik fırtınanın şiddetini belirleyen Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeleri sayısı veri olarak kullanılmıştır. 24. güneş döngüsünün maksimum aşaması olan 2014 yılında ortalama 113 güneş lekeleri sayısı gözlemlenmiştir. 24. döngü dönemi boyunca G ölçeğine göre toplam 381 jeomanyetik fırtına oluşmuştur. Bu fırtınaların %67.45'i G1, %25.46'sı G2, %4.72'si G3 ve %2.36'sı G4 düzeyinde meydana gelmiştir. Dst indis değerlerine göre %16.54'ü sakin, %32.28'i zayıf, %43.83'ü orta, %6.82'si güçlü ve %0.52'si şiddetli fırtına olarak belirlenmiştir. Kp indisine göre en güçlü fırtına 83 nT ile 22 Haziran 2015 ve 08 Eylül 2017 tarihlerinde, Dst indis değerine göre -223 nT ile 25 Haziran 2015 tarihinde gerçekleşmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Jeomanyetik fırtına, 24.güneş döngüsü, Dst, Kp, Güneş lekeleri sayısı.

---

## Distribution of Geomagnetic Storms Occuring During the 24th Solar Cycle

---

### Abstract

A geomagnetic storm is a global disturbance in the Earth's magnetic field, usually due to abnormal conditions in the interplanetary magnetic field and solar wind plasma emissions caused by various solar activities. It is the 24th solar cycle with the lowest geomagnetic activity compared to other cycles. In this study, the distribution of geomagnetic storms occurring in the 24th solar cycle and determined according to the G scale, which is a five-level system to indicate the severity of geomagnetic activity, was investigated. In addition, the Kp index, which is the geomagnetic storm index, the Dst index, which determines the intensity of the geomagnetic storm, and the average sunspot number in the solar cycle are used as data. An average of 113 sunspot numbers was observed in 2014, the maximum phase of the 24th solar cycle. During the 24th cycle period, a total of 381 geomagnetic storms occurred on the G scale. Of these storms, 67.45% occurred at the G1, 25.46% at the G2 level, 4.72% at the G3 level, and 2.36% at the G4 level. According to Dst index values, 16.54 percent were calm, 32.28% were weak, 43.83% were moderate, 6.82% were strong and 0.52% were severe storms. According to the Kp index, the strongest storm occurred with 83 nT on 22 June 2015 and 08 September 2017, and according to the Dst index value, on 25 June 2015 with -223 nT.

**Keywords:** Geomagnetic storm, Solar cycle 24, Dst, Kp, Sunspot number.

---

---

\*Sorumlu yazar: [fuatbasciftci@kmu.edu.tr](mailto:fuatbasciftci@kmu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 20.06.2021, Kabul Tarihi: 27.09.2021

## 1. Giriş

Güneş döngüsü, Güneş'in manyetik alanının yaklaşık olarak her 11 yılda bir geçtiği döngüdür. Güneş, elektrik yüklü sıcak gazdan oluşan devasa bir toptur. Bu yüklü gaz hareket ederek güçlü bir manyetik alan oluşturur. Güneş'in manyetik alanı, güneş döngüsü adı verilen bir döngüden geçer. Güneş'in manyetik alanı yaklaşık her 11 yılda bir tamamen tersine döner. Bu durum Güneşe ait kutupların (kuzey ve güney kutupları) yer değiştirdiğini gösterir [1]. Güneş döngüleri 1755 yılından beri düzenli olarak kayıt altında tutulmaktadır. Minimum aktivitenin gerçekleştiği 24. Güneş döngüsü Aralık 2008 ile Aralık 2019 yılları arasında kapsamaktadır.

Güneş lekeleri, güneş ve jeomanyetik rahatsızlıklarda önemli bir rol oynar [2]. Güneş lekeleri, Güneş'in iç kısmından yukarı doğru itilen yoğun manyetik akının bir sonucu olarak Güneş'in fotosferinde belirginleşen karanlık alanlardır. Ortalama güneş lekesi sayısı yaklaşık olarak her 11 yılda bir devir yapar [3].

Eski çağlardan beri bilinen güneşin yeryüzündeki karmaşık etkisi, güneşten gelen verileri inceleyerek ve modelleyerek güneş-dünya ilişkisinin anlaşılmasına katkıda bulunur [4, 5]. Bu karmaşık etkinin altında, her değişkenin kendi ayarlamasına sahip olduğu dinamik bir ilişki vardır [6-9]. 1808' de Alexander Von Humboldt, dünya çapında gözlemlenen jeomanyetik karışıklığa "jeomanyetik fırtına" adını vermiştir. İki yüzyıl sonra jeomanyetik fırtınaların incelenmesi hala bir araştırma konusudur [6, 10]. Bir jeomanyetik fırtına genellikle, plazma yoğun dinamik yapıya sahip güneşten kopan proton ve elektron yüklü parçacıkların, güneş rüzgarı vasıtasıyla dünyanın manyetik alanının yönünde ve büyüklüğünde önemli değişiklikler yapması nedeniyle oluşur [5, 11-15]. Jeomanyetik fırtınalar gibi tekrarlanan doğa olaylarının iyi bir şekilde tanımlanması, dinamiklerinin bazı bilinmeyen özelliklerini ortaya çıkarmaya yardımcı olabilir. Jeomanyetik fırtına, 1-3 gün süren Dünya yüzeyinden manyetokuyruğa kadar tüm manyetosferleri kapsayan tipik bir olaydır [16-20]. Dünyanın manyetik alanında meydana gelen bu tür rahatsızlıkların incelenmesi güneş-karasal ortamın dinamiklerini anlamak açısından önemlidir. Ayrıca bu tür jeomanyetik fırtınalar yaşamı tehdit eden güç kesintilerine, uydu hasarına, iletişim arızalarına ve seyir sorunlarına neden olabilir [21].

Jeomanyetik bozulmalar, biri Disturbance storm time (Dst) indisi [12, 22] ve Kp (gezegenel indis) [46] olmak üzere çeşitli indisler kullanılarak ölçülür. Kp indisi gezegenin manyetik etkilerini belirleyen ve güneş ışımından kaynaklanan jeomanyetik alandaki düzensiz bozulmaların incelenmesinde kullanılan bir jeomanyetik fırtına indisidir. 1932 yılından bugüne kadar sürekli olarak üretilmektedir. Kp, 13 subauroral gözlemlerde K indislerinin ağırlıklı ortalaması olarak alınmıştır. Kp indisi, ap indisinden elde edilen bir kuasilogaritmik gezegen indisidir [15, 19, 23, 24]. Dünya çapında yer bazlı manyetometreler kullanılarak 3 saatlik aralıklarla türetilir [25]. Kp indeks değerleri "0" (çok sessiz) ile "9" (son derece rahatsız) arasında değişir. "0" ile "4" arasındaki Kp indisi çok düşükten durağan fırtınaya kadar olan kategorilere karşılık gelmektedir. Kp indisine ait diğer değerler "5" (zayıf fırtına) ve "9" (aşırı fırtına) arasında sınıflandırılır [26]. Hem gözlemlenen hem de tahmin edilen jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için G ölçeği adı verilen beş seviyeli bir sistem kullanır. Bu ölçek, bir jeomanyetik fırtınanın ciddiyetini hızlı bir şekilde göstermek için kullanılmaktadır. G ölçeği G1' den G5' e kadar değişim gösterir. G1 en düşük düzey, G5 ise en yüksek düzeyi temsil eder. Fırtına seviyesinin altındaki koşullar G0 olarak isimlendirilir ancak bu değer yaygın olarak kullanılmamaktadır. Her G düzeyinin kendisiyle ilişkili belirli bir Kp değeri vardır. Bu, Kp değeri 5 için G1' den Kp değeri 9 için G5' e kadar değişir [27]. Jeomanyetik fırtınanın derecelerine karşılık G ölçeği ve Kp indis değerleri Tablo 1' de verilmiştir.

**Tablo 1.** G ölçeği ile Kp indisi sınır değerleri ve fırtına etkisi

G Ölçeği	Kp indisi	Fırtına Etkisi
G0	4 ve altı	Fırtına Seviyesinin Altında
G1	5	Zayıf Fırtına
G2	6	Orta Şiddetli Fırtına
G3	7	Güçlü Fırtına
G4	8	Şiddetli Fırtına
G5	9	Aşırı Fırtına

Dst indisi, iyonosfer tabakasındaki değişimleri, manyetik fırtınayı ve seviyesini gösteren, 1 saatlik aralıklarla 4 gözlem istasyonundan alçak enlem manyetogramları kullanılarak elde edilen indistir [23, 25, 28, 29]. İndis manyetik alanın yatay düzlemdeki bileşeninin ekvatordeki azalmasını ifade etmektedir. Dst indisindeki azalma jeomanyetik fırtına şiddetinin arttığına işaret eder. Dst indisinin birimi nanoTesla (nT)' dir [30, 31]. Jeomanyetik fırtınalar, Dst indisinin yoğunluğuna göre sınıflandırılır [32]. Dst indis değerleri Tablo 2' de verilmiştir.

**Tablo 2.** Dst indisi sınır değerleri

Dst Aralığı (nT)	Fırtına Etkisi
$Dst_{min} \geq -30$	Sakin
$-30 \geq Dst_{min} \geq -50$	Zayıf Fırtına
$-50 \geq Dst_{min} \geq -100$	Orta Şiddette Fırtına
$-100 \geq Dst_{min} \geq -200$	Güçlü (yoğun) Fırtına
$-200 \geq Dst_{min} \geq -350$	Şiddetli (çok yoğun) Fırtına
$-350 \geq Dst_{min}$	Aşırı Fırtına

1957 sonra yapılan güneş döngülerindeki jeomanyetik fırtınaların istatistiksel dağılımları inceleyen çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir. Gupta ve Basu [33] 1965 yılında yaptıkları çalışmada, 1956-1963 yılları arasında meydana gelen olağanüstü güneş-karasal olayları araştırmış ve tüm olağanüstü güneş-karasal olay türlerinin en sık olarak ya yükselen ya da alçalan fazda veya bu fazların her ikisinde meydana geldiğine dikkat çekmişlerdir. Gonzalez ve ark. [34] 1990 yılında yaptıkları çalışmada, 1965-1985 yılları arasında meydana gelen yoğun jeomanyetik fırtınaların güneş döngüsü dağılımını incelemişlerdir. Bu fırtınaların değişkenliğinde baskın bir çift tepeli dağılımın var olduğuna dikkat çekmişler, bir tepe döngünün geç yükselen evresinde veya güneş maksimumunda ve diğeri döngünün erken alçalan evresinde meydana geldiği sonucuna varmışlardır. Li ve ark. [35] 2011 yılında yaptıkları çalışmada, 23. Güneş döngüsü sırasında meydana gelen büyük jeomanyetik fırtınaların özellikleri istatistiksel olarak araştırmışlardır. 23. Güneş döngüsü ile diğer güneş döngülerini karşılaştırdıklarında, fırtına sayısının maksimum yıllık güneş lekeli sayısına oranının  $Dst \leq -100$  nT veya  $Dst \leq -200$  nT' li fırtınalar için döngü 23'te en büyük olduğu bulunmuştur. Güneş lekeli sayısının azlığı göz önüne alındığında, 23. güneş döngüsünün manyetik aktivitesinin şiddetli olduğu sonucuna varmışlardır. Le ve ark. [36] 2012 yılında yaptıkları çalışmada, büyük jeomanyetik fırtınaların güneş döngüsü dağılımının analizini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında güçlü (yoğun) jeomanyetik fırtınaları, şiddetli (çok yoğun) jeomanyetik fırtınaları ve aşırı jeomanyetik fırtınaları incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar, güçlü (yoğun) jeomanyetik fırtınaların yaklaşık %73' ünün güneş döngüsünün alçalan evresinde meydana geldiğini ve güçlü (yoğun) jeomanyetik fırtınaların %83' ünün güneş döngüsü zirvesinden iki yıl önce ve ondan sonraki üç yıl içinde meydana geldiği sonucuna ulaşmışlardır. Selvakumaran ve ark. [37] 2016 yılında yaptıkları çalışmada, 23 ve 24. güneş döngülerinin ilk 77 ayında meydana gelen orta şiddette jeomanyetik fırtınaların güneş kaynağını ve gezegenler arası özelliklerini araştırmışlardır. 24. Güneş döngüsü, önceki döngü ile karşılaştırıldığında, şiddetli fırtınaların oluşumunda yaklaşık %80'lik bir azalma gösterirken, orta şiddetteki fırtınalarda bu oran sadece %40' tır. Orta şiddette fırtınaların meydana gelmesinde azalma olmasına rağmen, Dst dağılımının çok fazla farklılık göstermediğini tespit etmişlerdir. Bhoj ve ark. [38] 2017 yılında yaptıkları çalışmada, 23 ve 24. güneş döngüsünde güneş lekeli sayısı (SSN) ile orta dereceli jeomanyetik fırtınalar arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Çalışmalarında güneş lekeli sayılarının jeomanyetik fırtınaların incelenmesi için etkili bir parametre olmadığı sonucuna varmışlardır. Watari [39] 2017 yılında yaptığı çalışmada, 24. döngünün düşük jeomanyetik aktivitesinin özelliklerini araştırmak için güneş lekeli sayısı ve güneş rüzgârı verileriyle jeomanyetik faaliyetlerin uzun vadeli varyasyonlarının kapsamlı bir veri analizini gerçekleştirmiştir. Güneş ve güneş rüzgâr verilerini kullanarak 24. döngünün yükselen-maksimum evrelerindeki jeomanyetik fırtınaların güneş kaynaklarını belirlemiştir. İncelenen 24. Döngünün 1957' den bu yana son altı güneş döngüsü arasında en zayıf döngü olduğunu ve döngünün daha iyi anlaşılması için azalan-minimum evresindeki jeomanyetik aktivitenin sürekli olarak izlenmesi gerektiği sonucuna varmıştır. Hajra [40] 2021 yılında yaptığı çalışmada, uzay çağında (1957' den sonra) en zayıf döngü olarak kabul edilen 24. Güneş döngüsünün 20'den 23'e kadar olan Güneş Döngüleri ile karşılaştırmalı bir çalışmasını yapmıştır. 24. Güneş döngüsünün sadece solar aktivitede değil, aynı zamanda ortalama solar rüzgâr



parametrelerinde ve solar rüzgar-manyetosfer enerji eşleşmesinde de en zayıf olduğu sonucuna varmıştır.

Bu çalışmanın amacı, uzay araştırmaları çağında (1957' den sonra) gerçekleşen 24. Güneş döngüsünde (Aralık 2008 – Aralık 2019) meydana gelen jeomanyetik fırtınaların dağılımını incelemektir. İnceleme jeomanyetik fırtına indisi olan Kp indisi, jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için beş seviyeli bir sistem olan G ölçeği, jeomanyetik fırtınanın şiddetini belirleyen Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeleri sayıları temelinde yapılmıştır. Çalışma aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir: 2. Bölümde kullanılan veriler ve bu verilerin temin edildiği adresler, 3. bölümde elde edilen bulgular ve tartışma, 4. bölümde sonuç verilmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan veriler şunlardan oluşmaktadır: Kp indisi ile beş seviyeli bir sistem olan G ölçeği, Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeleri sayıları kullanılmıştır. 24. güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların G ölçeğine göre karşılıkları [41] adresinden güneş lekeleri, Dst indisi ve Kp indisinin değerleri NASA' nın Uzay Fiziği Veri Tesisine (Space Physics Data Facility-SPDF) bağlı Omniweb veri merkezinden [42] alınmıştır. 1957 yılından beri yayınlanmakta olan bir saatlik aralıklarla elde edilen Dst indisi bir manyetik fırtınanın yoğunluğunu karakterize etmek için kullanılmaktadır [35]. Çalışmada Kp indisinin gösteriminin daha iyi yapılabilmesi için her bir değer on ile çarpılarak ( $Kp*10$ ) gösterilmiştir.

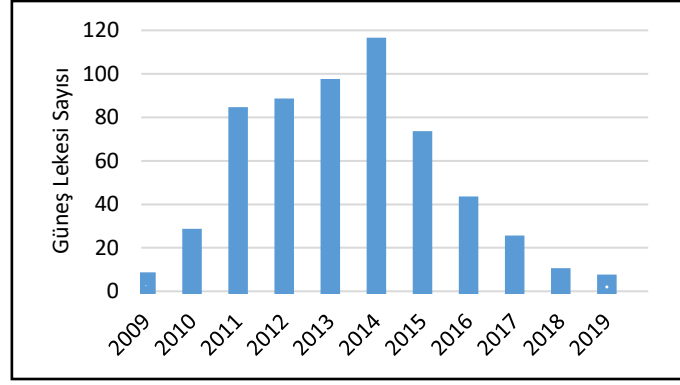
## 3. Bulgular ve Tartışma

Uzay havasının en önemli unsuru olan jeomanyetik fırtınalar hem güneş patlamaları hem de koronal kütle püskürmeleri ile ilişkilidir ve nihayetinde bunların hepsi güneş aktivitesine bağlıdır. Bu nedenle, bilim topluluğu, mevcut ve gelecekteki güneş aktivitesinin doğası hakkında daha fazla bilgi edinmek için Güneş'in etkinliğini sürekli olarak izlemektedir [43]. 11 yıllık güneş aktivitesi döngüsü çok uzun süredir çalışılmaktadır. Güneş lekeleri verilerinin muhtemelen eski Çinli gökbilimcilere kadar uzandığı bilinmektedir. Güneş döngüsü, güneş lekeleri sayısının maksimum olduğu bir maksimum tepe içerir ve bu tepenin periyodu güneş maksimum aktivite aşaması olarak adlandırılır [44].

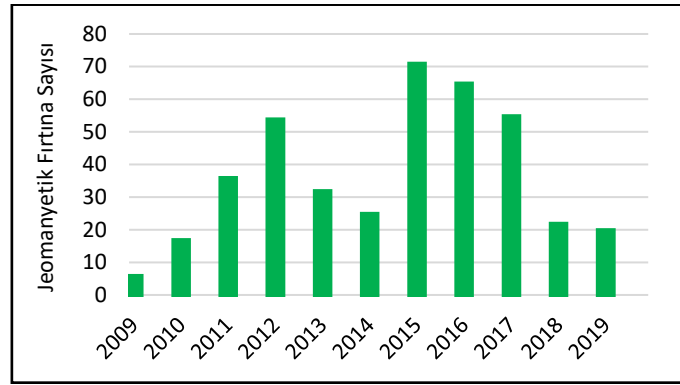
Bu çalışmada, Kp indisi, jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için beş seviyeli bir sistem olan G ölçeği, çeşitli jeomanyetik gözlemleri tarafından kaydedilen Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeleri sayıları ile 24. güneş döngüsü boyunca oluşan jeomanyetik fırtınaların analiz edilmesi için istatistiksel bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada elde edilen bulguların ve sonuçların uzay havası uygulamaları için pratik öneme sahip olacağına inanıyorum.

Yakın zamanda tamamlanan 24. Güneş Döngüsü, uzay araştırmaları döneminde, yani 1957' den sonra, büyüklük bakımından en zayıf olan döngüdür [39, 40]. En düşük fırtına sayısı 24. Güneş döngüsünde meydana gelmiştir. Önceki döngülere kıyasla orta şiddetteki fırtınalarda  $\approx$  %15–34, yoğun fırtınalarda  $\approx$  %49–75 azalma olmuştur [40]. Nisan 1954 ile Ekim 1964 yılları arasını kapsayan 19. Güneş Döngüsü en aktif döngüdür [45].

24. güneş döngüsünde güneş lekeleri sayılarının yıllık ortalama değerleri ve G ölçeğine göre jeomanyetik fırtınaların oluşumunun yıllık dağılımı şekil 1 ve 2' de gösterilmektedir. Güneş döngüsü, güneş lekeleri sayılarının maksimum olduğu bir maksimum tepe içerir ve bu tepenin periyodu güneş maksimum aktivite aşaması olarak adlandırılır. Böylece, 24. güneş döngüsünün maksimum fazı 2014 yılı boyunca ölçülmüştür.



Şekil 1. 24. güneş döngüsü boyunca yılda ortalama güneş lekesi sayısı



Şekil 2. 24. güneş döngüsü boyunca G ölçeğine göre yılda toplam fırtınalı gün sayısı

Şekil 2' den 2009 yılında G ölçeğine göre 4 jeomanyetik fırtına meydana geldiği görülmektedir. Dst indis değerlerine göre bu fırtınalardan 2' si sakin, 1' i zayıf şiddette ve 1' i de orta şiddette fırtınalardır. Ayrıca, 2015 yılında en fazla sayıda jeomanyetik fırtınanın (69 jeomanyetik fırtına) meydana geldiği tespit edilmiştir. Tablo 1' de gösterilen G ölçeği değerleri ile tablo 2' deki Dst indisi sınır değerlerine göre 24. Güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların oluşumunun yıllara göre sınıflandırılması tablo 3' te gösterilmiştir.

**Tablo 3.** G ölçeği ve Dst indisine göre jeomanyetik fırtınaların oluşumunun yıllara göre sınıflandırılması

Yıl	G Ölçeği					Dst indisi					
	G1	G2	G3	G4	G5	Sakin	Zayıf	Orta	Güçlü	Şiddetli	Aşırı
2009	2	2	0	0	0	2	1	1	0	0	0
2010	10	3	1	1	0	1	4	10	0	0	0
2011	21	10	2	1	0	3	9	18	4	0	0
2012	31	15	5	1	0	5	11	28	8	0	0
2013	21	6	2	1	0	2	8	17	3	0	0
2014	19	4	0	0	0	2	12	8	1	0	0
2015	43	18	5	3	0	8	17	37	5	2	0
2016	45	18	0	0	0	14	20	27	2	0	0
2017	37	12	2	2	0	16	24	11	2	0	0
2018	12	7	1	0	0	5	8	6	1	0	0
2019	16	2	0	0	0	5	9	4	0	0	0

Tablo 3 incelendiğinde 24. Güneş döngüsünde G ölçeğine göre 381 jeomanyetik fırtına meydana gelmiştir. Bu fırtınalardan 257' si G1 ölçeğinde, 97' si G2 ölçeğinde, 18' i G3 ölçeğinde, 9' u G4 ölçeğinde gerçekleşmiştir. Bu fırtınaların tablo 2' de verilen Dst indisi sınır değerlerine göre dağılımı; 63 sakin, 123 zayıf, 167 orta, 26 güçlü (yoğun), 2 şiddetli (çok yoğun) olarak gözlemlenmiştir. G ölçeğine ve Dst indisine göre farklı seviyelerdeki jeomanyetik fırtınaların toplam jeomanyetik fırtınalara oranı tablo 4 ve tablo 5' te gösterilmiştir.

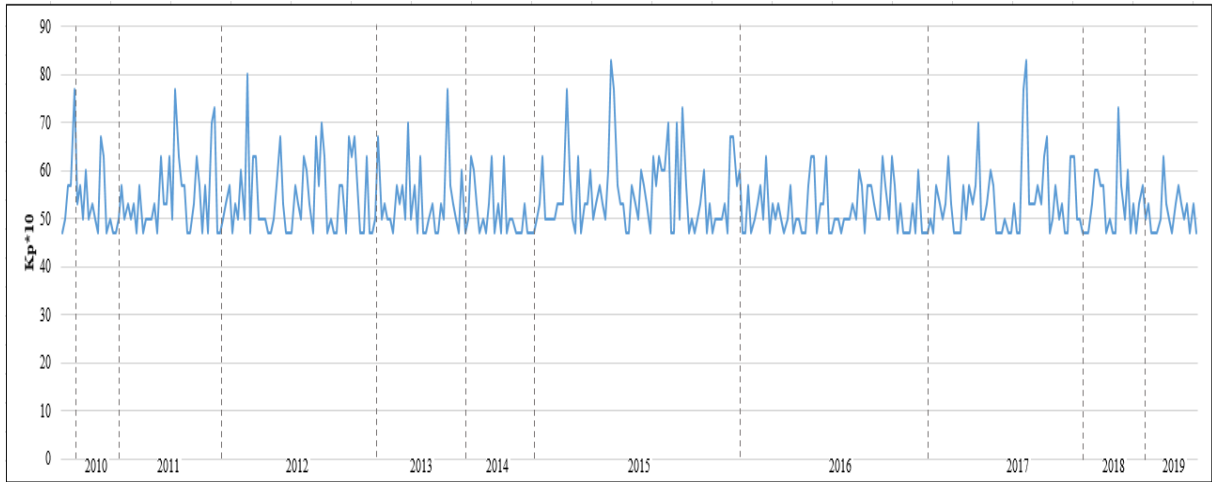
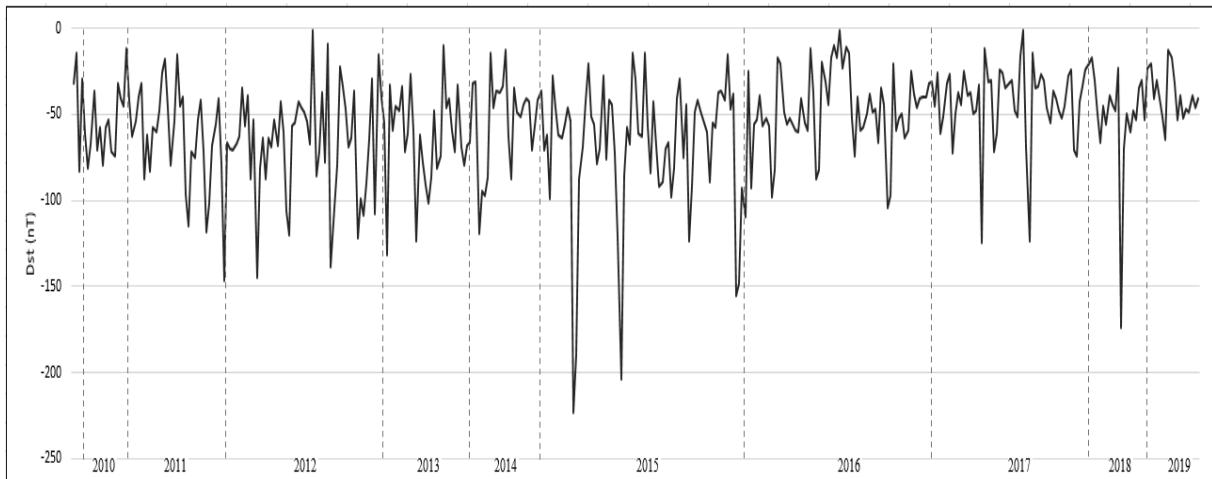
**Tablo 4. 24. Güneş döngüsünde G ölçeğine göre meydana gelen jeomanyetik fırtınaların oranı**

	G1	G2	G3	G4	G5
Fırtına Sayısı	257	97	18	9	0
Toplam	381				
Oran	%67.45	%25.46	%4.72	%2.36	-

**Tablo 5. 24. Güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların Dst indis değerlerine göre oranı**

	Sakin	Zayıf	Orta	Güçlü	Şiddetli	Aşırı
Dst Değeri	$Dst_{min} \geq -30$	$-30 \geq Dst_{min} \geq -50$	$-50 \geq Dst_{min} \geq -100$	$-100 \geq Dst_{min} \geq -200$	$-200 \geq Dst_{min} \geq -350$	$-350 \geq Dst_{min}$
Fırtına Sayısı	63	123	167	26	2	0
Toplam	381					
Oran	%16.54	%32.28	%43.83	%6.82	%0.52	-

Tablo 4 ve 5 incelendiğinde 24. Güneş döngüsünde hem G ölçeğine göre hem de Dst indis değerlerine göre aşırı fırtına meydana gelmemiştir. Fırtınaların G ölçeğinde %67.45' i G1, %25.46' sını G2, %4.72' si G3 ve %2.36' sını G4 düzeyinde gözlemlenmiştir. Bu fırtınaların Dst indis değerlerine göre dağılımı %16.54' ü sakin, %32.28' i zayıf, %43.83' ü orta, %6.82' si güçlü (yoğun) ve %0.52' si şiddetli (çok yoğun) olarak belirlenmiştir. 24. güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların Kp indisi ve Dst indisi değerlerine göre görünümü şekil 3 ve şekil 4' te gösterilmektedir.

**Şekil 3. 24. güneş döngüsü boyunca meydana gelen jeomanyetik fırtınaların Kp indis değerlerinin gösterimi****Şekil 4. 24. güneş döngüsü boyunca meydana gelen jeomanyetik fırtınaların Dst indis değerlerinin gösterimi**

Şekil 3 ve 4 incelendiğinde yıllara meydana gelen jeomanyetik fırtınaların en yüksek Kp değerleri ve en düşük Dst değerlerine göre fırtına aktiviteleri aşağıda sıralanmaktadır:

- 2009 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 57 nT (G2 ölçeği, orta şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -83 nT (orta şiddetli fırtına)
- 2010 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 77 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -81 nT (orta şiddetli fırtına)
- 2011 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 77 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -147 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2012 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 80 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -145 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2013 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 77 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -132 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2014 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 63 nT (G2 ölçeği, orta şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -119 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2015 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 83 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -223 nT (şiddetli (çok yoğun) fırtına)
- 2016 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 63 nT (G2 ölçeği, orta şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -110 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2017 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 83 nT (G4 ölçeği, şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -125 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2018 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 73 nT (G3 ölçeği, güçlü fırtına), en düşük Dst değeri -174 nT (güçlü (yoğun) fırtına)
- 2019 yılında oluşan fırtınalar arasında en yüksek Kp değeri 63 nT (G2 ölçeği, orta şiddetli fırtına), en düşük Dst değeri -65 nT (orta şiddetli fırtına)

Şekil 3 ve 4' ten görülebileceği gibi 24. Güneş döngüsü boyunca Kp indisine göre 90 nT ve üzeri, Dst indisine göre  $D_{st_{min}} \leq -350$  seviyesinde olan aşırı jeomanyetik fırtına gerçekleşmemiştir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, 24. Güneş döngüsünde meydana gelen jeomanyetik fırtınaların dağılımı jeomanyetik fırtına indisi olan Kp indisi ile jeomanyetik aktivitenin ciddiyetini belirtmek için beş seviyeli bir sistem olan G ölçeği, jeomanyetik fırtınanın şiddetini belirleyen Dst indisi ve güneş döngüsündeki ortalama güneş lekeli sayılarına göre incelenmiştir. İncelenen 24. döngü döneminin jeomanyetik aktivitesi, 1957'den bu yana son altı güneş döngüsüne göre en düşük seviyede olanıdır. Yapılan araştırma sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- (1) İncelenen 24. döngü döneminin jeomanyetik aktivitesi, 1957' den bu yana son altı güneş döngüsüne nazaran en düşük seviyede olanıdır. 24. güneş döngüsünün maksimum aşaması 2014 yılı boyunca ölçülmüştür. 2014 yılında ortalama 113 güneş lekeli sayısı meydana gelmiştir. 2009-2013 ve 2015-2019 dönemleri ise güneş aktivitesinin minimum aşaması dönemleridir (Şekil 1).
- (2) 2009 yılında 4 jeomanyetik fırtınanın meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, maksimum jeomanyetik fırtına sayısının 2015 yılında meydana geldiği, 2014 yılının ise 24. güneş döngüsünün maksimumu olduğu, 2019 yılının ise 24. güneş döngüsünün alçalan evresindeki minimum güneş lekeli aktivitesini temsil ettiği bulunmuştur.
- (3) 24. güneş döngüsü dönemi olan Aralık 2008 ile Aralık 2019 tarihleri arasında G ölçeğine göre toplam 381 jeomanyetik fırtına oluşmuştur. Bu fırtınalardan 257' si G1 ölçeğinde, 97' si G2 ölçeğinde, 18' i G3 ölçeğinde, 9' u G4 ölçeğinde gerçekleşmiştir. G ölçeğine göre en düşük jeomanyetik fırtına 2009 (4 adet) yılında en fazla jeomanyetik fırtına 2015 (69 adet) yılında meydana gelmiştir (Şekil 2, Tablo 3).
- (4) 381 jeomanyetik fırtınanın tablo 1' de verilen Kp indis değerlerine göre en güçlü olanı 83 nT ile 22 Haziran 2015 ve 08 Eylül 2017 tarihlerinde meydana gelmiştir (Şekil 3).
- (5) Fırtınaların tablo 2' de verilen Dst indisine göre  $D_{st_{min}} \leq -200$  olan 2 adet şiddetli (çok yoğun) fırtına olduğu gözlenmektedir. 17 Mart 2015 ve 25 Haziran 2015 tarihlerinde gerçekleşen bu şiddetli fırtınaların Dst indis değerleri sırasıyla -223 nT ve -204 nT' dir (Şekil 4).

- (6) 24. Güneş döngüsü döneminde meydana gelen 381 jeomanyetik fırtınanın Dst indisi sınır değerlerine göre; 63' ü sakin, 123' ü zayıf, 167' si orta, 26' sı güçlü (yoğun), 2' si şiddetli (çok yoğun) olarak gözlemlenmiştir (Tablo 3). Ayrıca bu döngü boyunca aşırı fırtına (G ölçeğine göre G5 seviyesi, Kp indisine göre 90 nT ve üzeri, Dst indisine göre  $Dst_{min} \leq -350$ ) seviyesinde bir jeomanyetik fırtına gerçekleşmemiştir (Şekil 3, 4).
- (7) Meydana gelen 381 jeomanyetik fırtınanın G ölçeğindeki dağılımı %67.45' i G1, %25.46' sı G2, %4.72' si G3 ve %2.36' sı G4 düzeyinde meydana gelmiştir (Tablo 4). Bu fırtınaların Dst indisi değerlerine göre %16.54' ü sakin, %32.28' i zayıf, %43.83' ü orta, %6.82' si güçlü (yoğun) ve %0.52' si şiddetli (çok yoğun) olarak oluştuğu gözlemlenmiştir (Tablo 5).

## Teşekkür

Yazar <https://www.spaceweatherlive.com> adresine ve Dünya Data Merkezi'ne teşekkür eder.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Nasa Science Space Place, 2021. <https://spaceplace.nasa.gov/solar-cycles/en/> (Erişim Tarihi: 27.05.2021).
- [2] Liu Z., Zhang T., Wang H. 2021. Predicting sunspot numbers based on inverse number and intelligent fixed point. *Solar Physics*, 296 (5), 83.
- [3] Abdel-Rahman H.I., Marzouk B.A. 2018. Statistical method to predict the sunspots number. *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 7 (2): 175-179.
- [4] Hanslmeier A. 2007. *The Sun and Space Weather*. Astrophysics and Space Science, second ed. (Springer e-book).
- [5] Koklu K. 2020. Mathematical analysis of the 09 March 2012 intense storm, *Advances in Space Research*, 66 (4): 932-941.
- [6] Gonzalez W.D., Josely J.A., Kamide Y., Kroehl H.W., Rostoker G., Tsurutani B.T., Vasyliunas V.M. 1994. What is a geomagnetic storm?. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 99 (A4): 5771– 5792.
- [7] Stern D.P. 1996. A brief history of magnetospheric physics during the space age. *Reviews of Geophysics*, 34 (1): 1-31.
- [8] Saba F.M.M., Gonzalez W.D., Gonzalez A.L.C. 1997. Relationships between the AE, ap and Dst indices near solar minimum (1974) and at solar maximum (1979). *Annales Geophysicae*, 15 (10): 1265–1270.
- [9] Gonzalez W.D., Tsurutani B.T., Gonzalez A.L.C. 1999. Interplanetary origin of geomagnetic storms. *Space Science Reviews*, 88: 529–562.
- [10] Kashcheyev A., Migoya-Orué Y., Amory-Mazaudier C., Fleury R., Nava B., Alazo-Cuartas K., Radicella S.M. 2018. Multivariable comprehensive analysis of two great geomagnetic storms of 2015. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 123: 5000–5018.
- [11] Akasofu S.I. 1964. A Source of the energy for geomagnetic storms and auroras. *Planetary and Space Science*, 12 (9): 801-808.
- [12] Burton R.K., McPherron R.L., Russell C.T. 1975. An empirical relationship between interplanetary conditions and Dst. *Journal of Geophysical Research*, 80 (31): 4204–4214.
- [13] Eroglu E. 2019. Modeling the superstorm in the 24th solar cycle. *Earth Planets Space*, 71: 26.
- [14] Eroglu E. 2020. Modeling of 21 July 2017 Geomagnetic Storm. *Journal of Engineering Technology and Applied Sciences*, 5 (1): 33-49.
- [15] Inyurt S. 2020. Modeling and comparison of two geomagnetic storms. *Advances in Space Research*, 65 (3): 966-977.
- [16] Aksoy S., Tretyakov O.A. 2002. Study of a time variant cavity system. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 16 (11): 1535-1553.

- [17] Tretyakov O.A., Erden F. 2008. Temporal cavity oscillations caused by a wide band waveform. *Progress In Electromagnetics Research B*, 6: 183-204.
- [18] Eroglu E. 2011. Dalga kılavuzları boyunca geçici sinyallerin transferi. Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 1-158.
- [19] Eroglu E., Aksoy S., Tretyakov O.A. 2012. Surplus of energy for timedomain waveguide modes. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 29 (1): 409-506.
- [20] Eroglu E., Ak N., Koklu K., Ozdemir Z., Celik N., Eren N., 2012. Special functions in transferring of energy; a special case: “Airy function”. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 30 (1): 719-726.
- [21] Rathore B.S., Kaushik S.C., Parashar K.K., Bhadoria R.S., Kapil P., 2011. Statistical study of geomagnetic storms and their classification during solar cycle-23. *International Journal of Physics and Applications*, 3 (1): 91-96.
- [22] Sugiura M. 1964. Hourly Values of Equatorial Dst for the IGY, *Annual International Geophysical Year*, Vol. 35 (New York: Pergamon), 9, <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19650020355/downloads/19650020355.pdf>
- [23] De Canck M.H. 2007. Ionosphere Properties and Behaviors, *Antennex*, 119: 6-7.
- [24] Zolesi B., Cander L.R., 2014. *Ionospheric Prediction and Forecasting*, Springer Geophysics. Springer, Berlin, Heidelberg, 1-240.
- [25] Yildirim O., Inyurt S., Mekik C. 2016. Review of variations in  $M_w < 7$  earthquake motions on position and TEC ( $M_w = 6.5$  Aegean Sea earthquake sample). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16 (2): 543-557.
- [26] Ulukavak M., Inyurt S. 2020. Seismo-ionospheric precursors of strong sequential earthquakes in Nepal region. *Acta Astronautica*, 166: 123-130.
- [27] The Kp-index, 2021. <https://www.spaceweatherlive.com/en/help/the-kp-index.html> (Erişim Tarihi: 05.05.2021).
- [28] Mosna Z., Sauli P., Santolik, O. 2007. Preparation of a Database for the Study of Scaling Phenomena in the Ionosphere, *WDS'07 Proceeding of Contributed Papers*, 2: 86-92.
- [29] Cahyadi M.N. 2014. Near-Field Coseismic Ionospheric Disturbances of Earthquakes In and Around Indonesia. PhD Thesis, Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers.
- [30] Hunsucker R.D., Hargreaves J.K. 2003. *The High-Latitude Ionosphere and Its Effects on Radio Propagation*. Cambridge University Press, Cambridge.
- [31] Sharma K., Dabas R.S., Sarkar S.K., Das R.M., Ravindran S., Gwal A.K. 2010. Anomalous enhancement of ionospheric F2 layer critical frequency and total electron content over low latitudes before three recent major earthquakes in China. *Journal of Geophysical Research*, 115 (A11): 4-9.
- [32] Loewe C.A., Prölss G.W., 1997. Classification and mean behavior of magnetic storms. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 102 (A7): 14209–14213.
- [33] Gupta M.K.D., Basu D. 1965. Solar-terrestrial events in relation to the phase of the solar cycle. *Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics*, 27 (9): 1029-1032.
- [34] Gonzalez W.D., Gonzalez A.L.C., Tsurutani B.T. 1990. Dual-peak solar cycle distribution of intense geomagnetic storms. *Planetary and Space Science*, 38 (2): 181-187.
- [35] Li Q., Gao Y., Zhu P., Chen H., Zhang X. 2011. Statistical study on great geomagnetic storms during solar cycle 23. *Earthquake Science* 24: 365–372.
- [36] Le G., Cai Z., Wang H., Zhu Y. 2012. Solar cycle distribution of great geomagnetic storms. *Astrophysics and Space Science*, 339: 151–156.
- [37] Selvakumaran R., Veenadhari B., Akiyama S., Pandya M., Gopalswamy N., Yashiro S., Kumar S., Mäkelä P., Xie H. 2016. On the reduced geoeffectiveness of solar cycle 24: A moderate storm perspective. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 121: 8188–8202.
- [38] Bhoj C., Prasad L., Pokharia M., Mathpal C., Mathpal R. 2017. Space weather association with sunspots and geomagnetic storms for solar cycle 23 (1996-2007) and Solar Cycle 24 (2008-2016). *Journal of Pure Applied and Industrial Physics*, 7 (4): 156–161.
- [39] Watari S. 2017. Geomagnetic storms of cycle 24 and their solar sources. *Earth Planets Space* 69, 70.

- [40] Hajra R. 2021. Weakest solar cycle of the space age: a study on solar wind–magnetosphere energy coupling and geomagnetic activity. *Solar Physics*, 296 (2): 33.
- [41] The aurora and solar activity archive, 2021. <https://www.spaceweatherlive.com/en/archive.html> (Erişim Tarihi: 05.05.2021)
- [42] OMNIWeb, 2021. <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> (Erişim Tarihi: 18.05.2021)
- [43] Kakad B., Kakad A., Ramesh D.S., Lakhina G.S. 2019. Diminishing activity of recent solar cycles (22 – 24) and their impact on geospace. *Journal of Space Weather and Space Climate*, 9 A1.
- [44] Rathore B.S., Kaushik S.C., Bhadoria R.S. Parashar K.K., Gupta D.C. 2012. Sunspots and geomagnetic storms during solar cycle-23. *Indian Journal of Physics*, 86 (7): 563–567.
- [45] Silbergleit V.M. 2012. Probable values of current solar cycle peak. *Advances in Astronomy*, 2012 (Special Issue).
- [46] Bartels J. 1938. Potsdamer erdmagnetische Kennziffern, 1 Mitteilung. *Zeitschrift für Geophysik*, 14: 68–78.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

## **Endosülfan ve Metabolitlerinin Su Örneklerinde Vorteks Destekli Sıvı-Sıvı Mikro Ekstraksiyon ve Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi Kullanılarak Analizi**

Mehmet TÜRKYILMAZ<sup>1\*</sup>, Sezen KÜÇÜKÇONGAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Konya Technical University, Department of Environmental Engineering, Konya, Turkey  
(ORCID: [0000-0001-5484-571X](https://orcid.org/0000-0001-5484-571X)) (ORCID: [0000-0001-6444-4397](https://orcid.org/0000-0001-6444-4397))

### **Öz**

Endosülfan doğal yollarla bozunmaya karşı mukavemetinin yüksek oluşu, canlılarda biyobirikim özelliği ve çevresel taşınımı nedeniyle, yasal kullanımlarının durdurulması sonrasında bile çevresel numunelerde tayin edilebilmektedir. Bununla birlikte endosülfan daha yüksek toksisiteye sahip ana metabolitlerine parçalanabilmektedir. Bu durum çevre ve halk sağlığı açısından risk oluşturabilmektedir. Bu nedenle endosülfan kaynaklarının ve giderim yöntemlerinin belirlenmesinde endosülfan ve metabolitlerinin birlikte analiz edilmesi önemlidir. Bu çalışmada endosülfan ve metabolitlerinin birlikte analizlerinin yapılmasında vorteks destekli sıvı-sıvı mikroekstraksiyon (VALLME) ve sıvı kromatografi analizi yöntemi uygulanarak geri kazanım çalışmalarının optimizasyonu yapılmıştır. Endosülfan izomerlerinin ve metabolitlerinin ayrılması ve saptanması için GL science C18 reversed phase kolon ve UV/VIS/PDA ikili absorban detektörü içeren Shimadzu Prominence-i 2030- 3d sıvı kromatograf cihazı kullanılmıştır. 1 mL/dk akış hızında asetonitril:su karışımı (70:30, v:v) mobil faz olarak kullanılmıştır. Endosülfan lakton, endosülfan sülfat, endosülfan eter,  $\beta$ -endosülfan ve  $\alpha$ -endosülfan, sırasıyla 214 nm'de kolonda tutulma sürelerine göre belirlenmiştir. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografi (HPLC) analizinden sonra en iyi kromatogram n-hekzan solventi ile elde edilmiş; bu nedenle bu solvent için en yüksek geri kazanım değerlerinin elde edilmesinde numune hacminin, solvent hacminin ve ekstraksiyon süresinin etkileri deneysel olarak araştırılmış ve değişkenler için optimal koşullar sırasıyla 10 mL, 200  $\mu$ L ve 3 dakika olarak elde edilmiştir. Optimum koşullar altında, endosülfan lakton, endosülfan sülfat, endosülfan eter,  $\beta$ -endosülfan ve  $\alpha$ -endosülfan için geri kazanım oranları sırasıyla %115.31, %91.1, %96.79, %103.06 ve %99.06 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçların diğer kalıcı kirleticilerin ve metabolitlerinin de eş zamanlı tayini ve çevresel matrislerde izlenmesi konusundaki çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Endosülfan, metabolit, Vorteks ekstraksiyonu, Sıvı kromatografisi.

## **Analysis of Endosulfan and its Metabolites in Water Samples Using Vortex Assisted Liquid-Liquid Micro Extraction and High Performance Liquid Chromatography**

### **Abstract**

Endosulfan can be detected in environmental samples even after their legal use is stopped, due to their high resistance to natural degradation, bioaccumulation and environmental transport. However, endosulfan can be broken down into major metabolites with higher toxicity. This may pose a risk to the environment and public health. Therefore, it is important to analyze endosulfan and its metabolites together in determining endosulfan sources and removal methods. In this study, method optimization experiments were performed in the analysis of endosulfan and its metabolites together by vortex assisted liquid-liquid microextraction (VALLME) and liquid chromatography analysis method. Shimadzu liquid chromatograph device equipped with GL science C18 reversed phase column and UV/VIS/PDA dual absorbance detector was used for separation and detection of endosulfan isomers and metabolites. Acetonitrile:water mixture (70:30, v:v) at a flow rate of 1 mL/min was used as the mobile

\*Sorumlu yazar: [mturkylmaz@ktun.edu.tr](mailto:mturkylmaz@ktun.edu.tr)

Geliş Tarihi: 29.06.2021, Kabul Tarihi: 18.10.2021



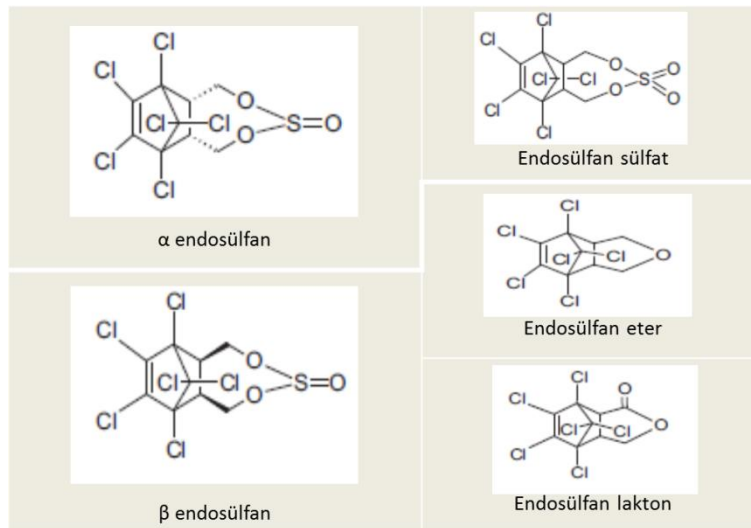
phase. Endosulfan lactone, endosulfan sulfate, endosulfan ether,  $\beta$ - endosulfan and  $\alpha$ - endosulfan were determined according to retention times in the column at 214 nm, respectively. After HPLC (High Performance Liquid Chromatography) analysis, the best chromatogram was obtained with n-hexane solvent; therefore, the effects of sample volume, solvent volume and extraction time in obtaining the highest recovery values for this solvent were experimentally investigated and optimal conditions for variables were obtained as 10 mL, 200  $\mu$ L and 3 min, respectively. Under optimum conditions, recovery rates for endosulfan lactone, endosulfan sulfate, endosulfan ether,  $\beta$ - endosulfan and  $\alpha$ - endosulfan were 115.31%, 91.1%, 96.79%, 103.06% and 99.06%, respectively. It is thought that the results obtained in this study will contribute to on the simultaneous determination and monitoring studies in environmental matrices of other persistent pollutants and their metabolites.

**Keywords:** Endosulfan, Metabolite, Vortex extraction, Liquid chromatography.

## 1. Giriş

Endosülfan çay, kahve, pamuk, meyve, sebze, pirinç ve tahıl dâhil olmak üzere bitkilerdeki çok çeşitli böcekler ve akarlar için uygulanan siklodien alt grubuna ait klorlu hidrokarbon insektisit ve akarisitir [1]. Endosülfanın kimyasal adı 6,7,8,9,10,10-hekzakloro-1,5,5a,6,9,9a-hekzahidro-6, 9-metano-2,4,3-benzo (e) dioksitiepın 3-oksit, kimyasal formülü ise  $C_9H_6Cl_6O_3S'$  dir. Tiyoniklorürün tiyodan ile reaksiyona girmesiyle oluşur. Teknik endosülfan,  $\alpha$  ve  $\beta$  olarak adlandırılan 70: 30 stereoizomer karışımıdır [2].

Endosülfanın hidroliz, fotoliz, oksidasyon ve biyodegradasyon yollarıyla doğal bozunması endosülfan sülfat, endosülfan lakton, endosülfan eter, endosülfan alkol ve endosülfan diol metabolitlerinin oluşumuna yol açar. Endosülfanın bilinen tüm doğal bozuma ürünleri, endosülfanın orijinal klorlu halka yapısını korur ve toksik ve potansiyel kanserojendir. Çalışmada kullanılan izomer ve metabolitlerinin açık formülü Şekil 1’de verilmiştir. Tescil edildiği 1954 yılından 2000 yılına kadar tarında kümülatif kullanımının 308.000 ton olduğu belirtilmektedir [3]. Bu pestisitın küresel tüketimi 1980’lerin başında yaklaşık 9000 ton/yıl iken, 1990’larda 12800 tona yükseldiği ve küresel ölçekte yasaklandığı 2010 yılına kadar ise dünya çapında endosülfan üretiminin 18000–20000 ton/yıl aralığında olduğu tahmin edilmektedir [4]. Ekosistemdeki yaygın kullanımı, kalıcılığı, biyolojik birikimi, uzun menzilli taşınımı, endokrin sistemini bozması ve (Memeliler de dahil olmak üzere bir dizi organizmaya karşı potansiyel toksisiteyi nedeniyle) toksisitesi göz önünde bulundurularak endosülfan, Stockholm Sözleşmesi kalıcı organik kirleticiler (KOK) listesinin Ek A’sına 2011 yılında eklendi [5] , üretimi ve kullanımı 2012 ortasından beri dünya çapında yasaklanmıştır [6].



Şekil 1. Endosülfan izomer ve ana metabolitlerinin kimyasal yapısı [7].

Çevresel ortamlarda endosülfan tayininde farklı analitik teknikler kullanılmıştır. Bunlar, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC), gaz kromatografisi (GC), gaz kromatografisi-kütle spektrometrisi (GC-MS) ve kolorimetrik yöntemlere dayanmaktadır. Bununla birlikte, HPLC ve GC yöntemi, kolorimetrik yöntemlerin aksine, endosülfan miktarının belirlenmesi için nispeten daha uygun

kabul edilir. Cihazda analizden önce, numunede ekstraksiyon, ön konsantrasyon işlemi uygulanması ve ardından endosülfanın kantitatif tayininin yapılması gerekmektedir.

HPLC analizinde, hedef bileşiklerin karışımına sahip ekstrakte edilmiş numune, hareketli sıvı faz kullanılarak 400 atm'ye kadar yüksek basınç altında, genellikle bir kolon içinde sabit bir katı fazdan geçmesine izin verilerek bileşenlere ayrılır. Numunenin bileşenleri, çeşitli kimyasal veya fiziksel etkileşimler nedeniyle kolon paketiyle ayrılır ve ayrılan bileşenler daha sonra kolonun çıkışında harici bir detektör tarafından tespit edilir. Analiz için ortak mobil faz, metanol veya asetonitril ve sudan oluşan bir karışımdır.

Çevresel matrislerden pestisitlerin en yaygın ekstraksiyon yöntemleri arasında sıvı-sıvı ekstraksiyonu (LLE) ve katı faz ekstraksiyonu (SPE) bulunur. Bununla birlikte, bu geleneksel ön muamele yöntemleri büyük miktarlarda numune ve/veya organik çözücülere ihtiyaç duyar, zaman alıcı, pahalıdır ve kullanılan malzemeler tekrar kullanılamaz [8]. Son yıllarda, numune ön işleme tekniklerinde, hem malzeme hem de personel maliyetlerini düşürmek için esas olarak minyatürleştirme, basitleştirme ve otomasyona odaklanılmıştır [9]. Bu eğilim, sıvı faz mikro ekstraksiyon (LPME), tek damla mikroekstraksiyon (SDME), hollow fiber sıvı faz mikroekstraksiyonu (HF-LPME), dispersive sıvı-sıvı mikroekstraksiyonu (DLLME) ve katılaşmış yüzen organik damla mikroekstraksiyonu (SFODME) gibi birçok mikroekstraksiyon tekniğinin geliştirilmesiyle sonuçlanmıştır. Bu teknikler operasyonun basitliği, nispeten düşük enstrümantasyon maliyetleri, çok yönlülük, kromatografik sistemlere kolay bağlantı ve kısa ekstraksiyon süresi dahil birçok olumlu özelliğe sahiptir [10].

Yiantzi ve ark. [11] ekstraksiyon çözücüsünün dispersiyonunun vorteks karıştırmayla güçlendirildiği vorteks destekli sıvı-sıvı mikro-ekstraksiyon tekniği geliştirilmiştir. Yöntem, mikrolitre düzeyindeki özütleme çözücüsünü sulu numuneye dağıtmak için düşük maliyetli ve etkili bir yöntem olarak vorteks çalkalamayı kullanmaktadır. İnce damlacıkların üretilmesi, kütle transferi için mevcut olan arayüzey alanını büyük ölçüde artırmakta, difüzyon mesafesini düşürmekte ve ekstraksiyon oranlarını geliştirmektedir, böylece analizler birkaç dakika içinde ayırma dengesine ulaşabilmektedir. Ekstraksiyonun ardından, iki sıvı faz santrifüjleme ile ayrılmakta ve alıcı faz geri kazanılarak analiz için kullanılmaktadır.

Herhangi bir kirleticinin üretimine ve kullanımına yasal bir sınırlandırma getirilmesi halinde, mevcut stoklar tüketilinceye kadar yasal olmayan kullanımlarının takip edilmesi oldukça zordur. Bu nedenle endosülfanın en son yasaklanan kimyasal maddelerden biri olması nedeniyle, çevresel ortamlarda mevcudiyetinin yüksek olabileceği tahmin edilmektedir. Özellikle kalıcı organik madde sınıfında olması sebebiyle bu kirletici maalesef daha uzun yıllar bir kirletici olarak gündemimizde olması gereken, takibi ve gideriminin incelenmesi gerekli olan bir pestisit olacaktır. Çevresel matrislerdeki pestisit kalıntılarının belirlenmesi, öncelikle bunların ekstraksiyonuna ve zenginleştirilmesine bağlıdır. Bununla birlikte, geleneksel ön muamele yöntemleri büyük miktarlarda numune ve/veya organik çözücülere ihtiyaç duyar, zaman alıcı, pahalıdır ve kullanılan malzemeler tekrar kullanılamaz. Bu zorlukların üstesinden gelmek için kalıcı organik kirleticilerin basit, hızlı, düşük solvent tüketimini ve düşük atık üretimini içeren, yüksek zenginleştirme faktörlerine ulaşıldığı çevre dostu veya yeşil analitik kimya prosedürlerinin kalıcı organik kirleticilere uygulanması planlanmıştır. Bu amaçla, çalışmada, organoklorlu pestisit grubundan  $\alpha$ -endosülfan,  $\beta$ -endosülfan, endosülfan sülfat, endosülfan lakton ve endosülfan eterin eş zamanlı olarak sentetik sulu numunelerden ön konsantrasyonu için bir VALLME numune hazırlama yönteminin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon solventinin tipi ve hacmi, numune hacmi ve ekstraksiyon süresinin optimizasyonu yapılmıştır. Optimize edilen yöntem ile organoklorlu pestisit grubundaki diğer kalıcı kirleticilerin ve metabolitlerinin de eş zamanlı ekstraksiyonun etkili bir şekilde yapılmasına ışık tutacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Kimyasallar

Endosülfan izomerleri ve metabolitlerinin standart ve stok çözeltilerinin hazırlanması için kromatografik saflıkta  $\alpha$ + $\beta$ -endosülfan (%99.5),  $\alpha$ -endosülfan (%99.5),  $\beta$ -endosülfan (%99.3), endosülfan sülfat (%98.0), endosülfan lakton (%99.0) ve endosülfan eter (%99.0) Sigma Aldrich, çözücü olarak kullanılan aseton ise Merck KGaA firmasından temin edilmiştir. Endosülfan izomerleri ve metabolitlerinin ekstraksiyonunda kullanılmak üzere yüksek saflıkta solventler; diklorometan ( $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ), dietileter ( $\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$ , etilasetat ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ), trikloretilen ( $\text{C}_2\text{HCl}_3$ ), tetrakloretilen ( $\text{C}_2\text{Cl}_4$ ), 1,2-

diklorobenzen (1,2-(Cl)<sub>2</sub>(C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>)) Tekkim; sikloheksan (C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>), toluen (C<sub>7</sub>H<sub>8</sub>) Carlo Erba; n-hekzan (C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>), Merck KGaA ve kloroform (CHCl<sub>3</sub>) Akkimya firmalarından temin edilmiştir.

## 2.2. HPLC Enstrümantasyon ve Kromatografik Koşullar

Endosülfan izomerlerinin ve metabolitlerinin tayini 44 MPa basınç ve 10 mL/dk akış kapasitesine sahip ikili HPLC pompalarından oluşan, inceltirilmiş bir akış hücresi ile 190 ila 700 nm arasında çalışan ve bir GL Science C18 (250 mm x 3.1 mm i.d.) reversed phase kolon üzerinde ayrılan iki kanallı bir UV/VIS/PDA ikili absorban dedektörü kullanılarak Shimadzu Prominence-i 2030- 3d sıvı kromatografi sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Kolon sıcaklığı ortam sıcaklığında kullanılmış ve enjeksiyon otomatik numune örnekleyicisi ile gerçekleştirilmiştir. Mobil faz, 1 mL/dk akış hızında, hacimce 70:30 olarak ayarlanmış asetonitril:su karışımından oluşturulmuştur. Enjeksiyon hacmi 20 µL olarak belirlenmiş ve endosülfan ve metabolitleri 214 nm'de tespit edilmiştir.

## 2.3. Standart Çözeltilerin Hazırlanması

α-endosülfan, β-endosülfan, endosülfan sülfat, endosülfan lakton ve endosülfan eter kimyasallarının 200 mg/L konsantrasyonunda stok çözeltileri aseton içinde ayrı ayrı çözülerek hazırlanmıştır. İlk olarak izomer ve metabolitleri cihaza tanıtmak ve kolonda tutulma sürelerini tespit etmek üzere 200 mg/L konsantrasyonda, standartlar yukarıda belirtilen HPLC şartlarında cihaza enjekte edilmiştir. Kalibrasyon grafiğinin oluşturulması için ise stok çözeltilerden istenilen farklı konsantrasyonlarda (10, 20, 50, 100 ve 150 mg/L) aseton ile seyreltmeler yapılmış, sonrasında cihaza enjekte edilerek konsantrasyona karşılık elde edilen pik alanları grafiğe işlenerek kalibrasyon denklemleri oluşturulmuştur.

## 2.4. Endosülfan ve Metabolitlerinin Sentetik Su Numunelerinden Ekstraksiyonu

Endosülfan izomer ve metabolitlerinin su ortamındaki analizlerinin yapılmasında VALLME yöntemi [11] uygulanmış ve yöntemde optimum şartların belirlenmesi için deneysel çalışmalar iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Ekstraksiyon çalışmalarının ilk aşaması olarak, en uygun solvent türü belirlenmiştir. Solvent türünü belirleyebilmek için, diğer değişken parametreler/kontrol edilebilen faktörler sabit değerlerde tutulmuştur. Deneysel çalışmalarda diklorometan, dietileter, etilasetat, trikloretilen, tetrakloretilen, sikloheksan, kloroform, toluen, 1,2-diklorobenzen ve n-hekzan solventlerinin her biri, endosülfan izomerlerini ve metabolitlerini içeren 2 mg/L konsantrasyonuna sahip stok çözeltilerden hazırlanan 10 mL numunelere 200 µL hacminde eklenmiştir. Sonrasında 1 dk elle çalkalama, devamında ise 1 dk 3000 rpm'de vorteks karıştırma uygulanmıştır. Faz ayrımının gerçekleşmesi için 3000 rpm'de 2 dk süreyle numuneler santrifüjlenmiştir. Santrifüj işlemi sonucunda tek damla formunu geri kazanarak en yüksek geri kazanım verimin elde edildiği solvent ekstraksiyon solventi olarak seçilmiştir.

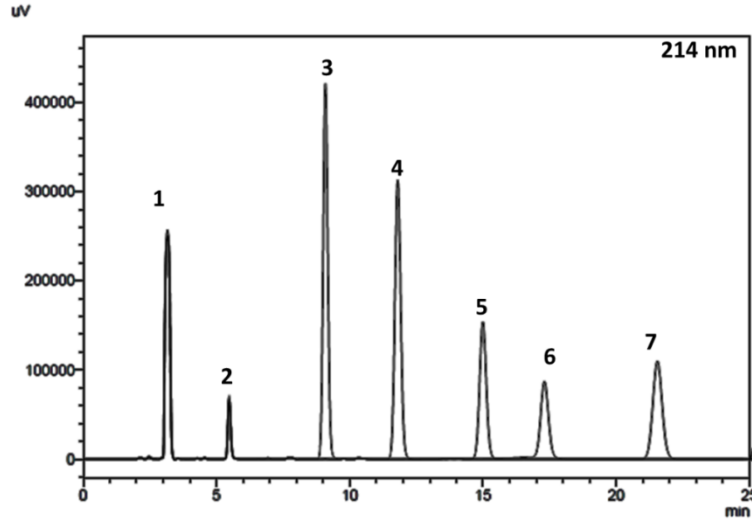
En uygun ekstraksiyon solventi belirlendikten sonra deneysel çalışmaların ikinci aşamasında, VALLME'de daha yüksek geri kazanım oranları elde etmek için ekstraksiyon performansını etkileyen vorteks karıştırma süresi, solvent ve numune hacmi optimize edilmiştir. Optimizasyon için minimum-ortalama-maksimum olacak şekilde 200, 300 ve 400 µL solvent hacimleri; 5, 7.5 ve 10 mL numune hacimleri, 1, 3 ve 5 dakika vorteks karıştırma süreleri çalışılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Endosülfan İzomerlerinin ve Metabolitlerinin HPLC Analizi ve Kalibrasyon Denklemlerinin Elde Edilmesi

Birçok çevresel organik kirleticinin ayrılması ve saptanması için yüksek performanslı sıvı kromatografisi başarıyla kullanılmıştır. Yüksek performanslı sıvı kromatografisinin GC'ye göre birçok avantajı vardır. Asidik, bazik, nötr, iyonik ve termal olarak kararsız pestisitlerin eşzamanlı analizine izin verir. Bunun yanı sıra, bu teknik birçok polar pestisit ve metabolitin belirlenmesine izin vererek ön türevlendirmeyi önler ve numune manipülasyonunu en aza indirir.

Endosülfan izomerleri ve metabolitlerine ait sıvı kromatogramlar birleştirildiğinde elde edilen elde edilen kromatogram Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Endosülfan izomerleri ve metabolitlerine ait kromatogram (1: asetonitril, 2: aseton, 3: endosülfan lakton, 4: endosülfan sülfat, 5: endosülfan eter, 6:  $\beta$ -endosülfan, 7:  $\alpha$ -endosülfan).

Kromatogramda görülen 1 nolu pik taşıyıcı faz olan asetonitril, 2 nolu pik endosülfan izomerleri ve metabolitlerine ait stok çözeltilerin hazırlanmasında kullanılan aseton ait olup alıkonma süreleri sırasıyla 3.259 ve 5.477 dakikadır. 3 nolu pik endosülfan lakton, 4 nolu pik endosülfan sülfat, 5 nolu pik endosülfan eter, 6 nolu pik  $\beta$ -endosülfan ve 7 nolu pik ise  $\alpha$ -endosülfana ait olup alıkonma süreleri, kalibrasyon denklemleri ve  $R^2$  değerleri tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Endosülfan ve metabolitlerine ait alıkonma süreleri ve kalibrasyon verileri

Analit	Alıkonma süresi	$R^2$	Kalibrasyon denklemi
Lakton	9,058	0,9804	$y = 21973x$
Sülfat	11,765	0,9996	$y = 26301x$
Eter	14,948	0,9943	$y = 15349x$
$\beta$ - endosülfan	17,249	0,9982	$y = 8520,4x$
$\alpha$ - endosülfan	21,469	0,9929	$y = 13069x$

Tespitte doğrusalılık oluşturmak için 10 ila 150 mg/L endosulfan izomer ve metabolitlerinin konsantrasyonları GL Science C18 kolonunda test edildi. Çalışılan konsantrasyon aralığında izomer ve metabolitler için iyi bir doğrusalılık elde edildi.

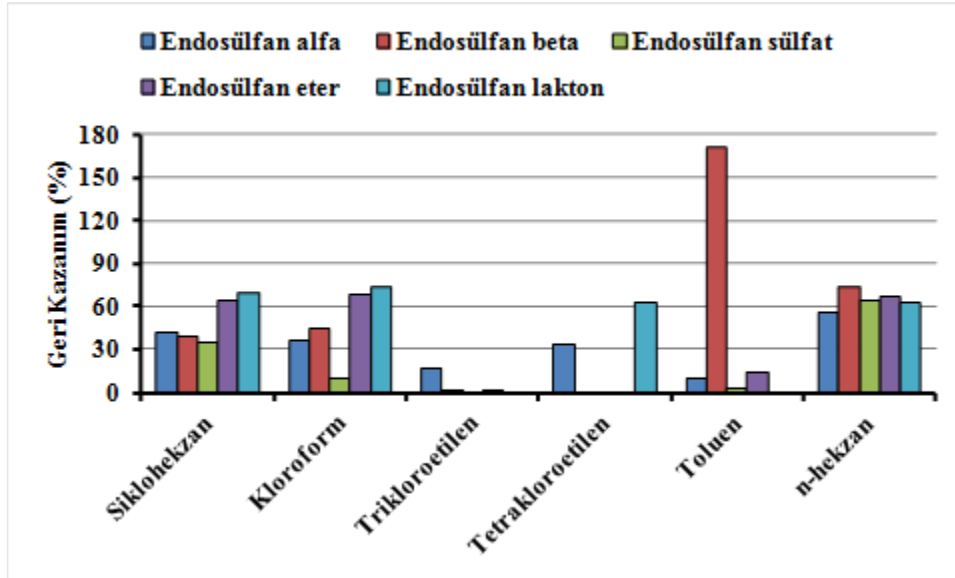
### 3.2. Endosülfan İzomerlerinin ve Metabolitlerinin Ekstraksiyonunda Geri Kazanım Çalışmalarının Sonuçları

VALLME'de, analit ekstraksiyonu ağırlıklı olarak damla parçalanmasının ilk adımı sırasında gerçekleşir. Bu adım sırasında, ekstraksiyon verimliliğini optimize etmek için bir dizi deneysel parametre kontrol edilir. Bu bölümde öncelikle endosülfan izomerlerine ve metabolitlerine afinitesi en yüksek olan çözücünün tespiti yapılmıştır. Sonrasında ise ekstraksiyon yönteminin optimizasyonu için ekstraksiyon süresi, çözücü ve numune hacimleri çalışılmıştır.

En uygun ekstraksiyon çözücüsünün seçilmesi, hedef bileşiklerin seçiciliğinin daha iyi elde edilmesi için çok önemlidir. VALLME'de, suyla karışmayan birkaç organik çözücü ve iyonik sıvı, sudan daha yüksek veya daha düşük yoğunluklarda test edilmiştir [12]. Ekstraksiyon çözücüsünün sudan daha düşük bir yoğunluğa sahip olduğu durumlarda, çözücünün ikinci faz ayırma aşamasından sonra büyük bir mikro damla şeklini geri kazanma kabiliyeti dikkate alınmalıdır [11].

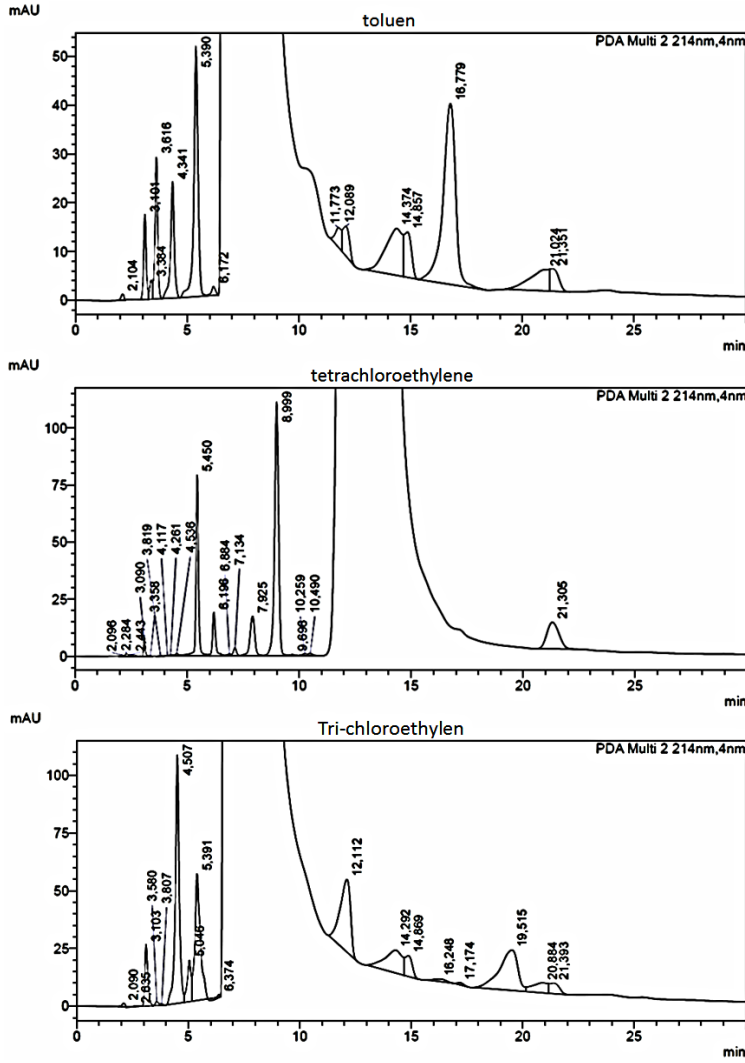
Ekstraksiyon işlemleri sonucunda diklorometan, 1,2 diklorobenzen, dietileter ve etilasetat çözücüleri ile yapılan deneylerde çözücü ve analitler arasındaki etkileşimi gösteren bulutsu görünüm ve santrifüj işlemi sonrası faz ayrımı gerçekleşmemiştir. Trikloretilen, tetrakloretilen, kloroform,

sikloheksan, toluen ve n-hekzan çözücülerinde çalkalama ve vorteks süresince bulutsu oluşum gözlenmiş ve santrifüj sonrası iki sıvı arasında faz ayrımı gerçekleşerek şeffaf bir görünüm elde edilmiştir. Sikloheksan, toluen ve n-hekzan çözücülerinde ayırım üst faz olarak elde edilirken, trikloroetilen, tetrakloroetilen ve kloroform çözücülerinde alt faz oluşumu gözlenmiştir. Pastör pipet kullanılarak oluşan fazlar viallere aktarılmış, HPLC cihazına enjeksiyonu gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen geri kazanım değerleri Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Farklı çözücülerle elde edilen geri kazanım oranları (10 mL numune hacmi, 200 µL solvent hacmi, 1 dk vorteks süresi).

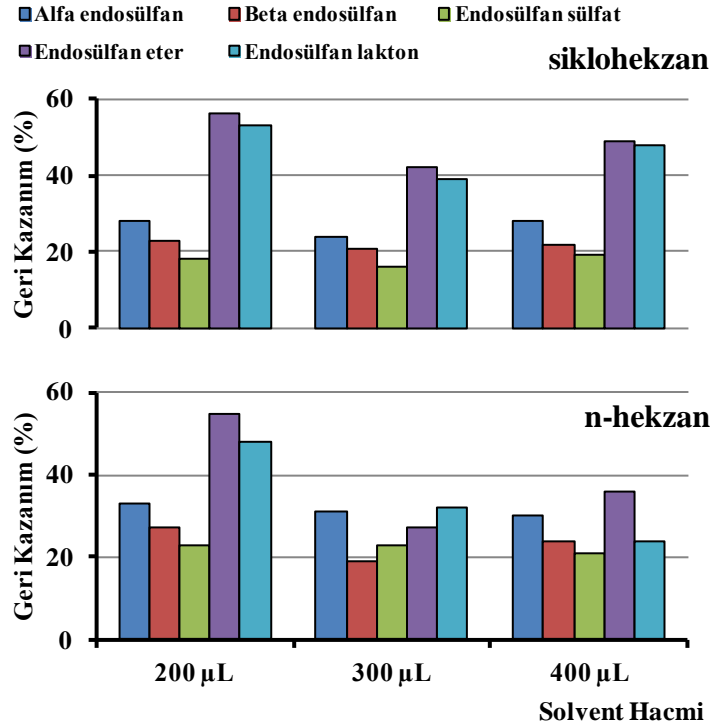
Şekil 3’den görüleceği üzere HPLC okumaları sonrasında en iyi geri kazanım sikloheksan, kloroform ve n-hekzan çözücülerinde elde edilmiştir. Mevcut diğer çözücülerin kolonda tutulma süreleri, endosulfan izomerleri ve metabolitlerinin tutulma süreleri ile üst üste çakışarak alan ayrımlarının sağlanmasını engellemiştir (Şekil 4). Ayrıca kloroform çözücüsünde endosulfan sülfat için geri kazanım oranı çok düşük olduğundan dolayı ekstraksiyon prosesinin optimizasyon deneylerine sikloheksan ve n-hekzan çözücülerini ile devam edilmiştir.



Şekil 4. Toluen, tetrakloretilen ve trikloretilen çözücüleri ile geri kazanıma ait kromatogramlar.

#### -Çözücü hacminin geri kazanım üzerine etkisi

Sıvı-sıvı mikroekstraksiyon işlemlerinde kullanılan ekstraksiyon çözücüsünün hacmi ekstraksiyondan sonra toplanan organik fazın hacmini, sonuçların tekrarlanabilirliğini ve ekstraksiyonun verimliliğini etkileyebileceğinden optimize edilmesi gerekir [13]. Yeterli bir çözücü, hedef analitlerin tam olarak kazanılmasını sağlar ve ideal bir iyileşme ile sonuçlanır. Ekstraksiyon çözücü hacminin artmasıyla, santrifüjlemeden sonra toplanan son çözücü hacmi artar, ancak bu analitlere karşı duyarlılıkta bir azalmaya neden olur. Hassasiyeti arttırmak için, ekstraksiyon çözücüsünün hacmini mümkün olduğunca düşük tutmak önemlidir. Bununla birlikte, çözücü hacmini istenen şekilde azaltmak her zaman mümkün değildir, çünkü kromatografik analiz için santrifüjlemeden sonra yeterli hacimde çözücünün toplanması gerekir [14]. Çözücü hacmi için optimal miktarı bulmak amacıyla, 200, 300 ve 400  $\mu$ L farklı solvent hacimlerini içeren deneyler, aynı ekstraksiyon koşulları altında gerçekleştirilerek elde edilen sonuçlar Şekil 5'te verilmiştir. 100  $\mu$ L çözücü hacmi ile gerçekleştirilen deneylerde santrifüj işleminden sonra HPLC enjeksiyonu için yeterli hacim toplanamadığından 200  $\mu$ L'nin altında değerler dikkate alınmamıştır.



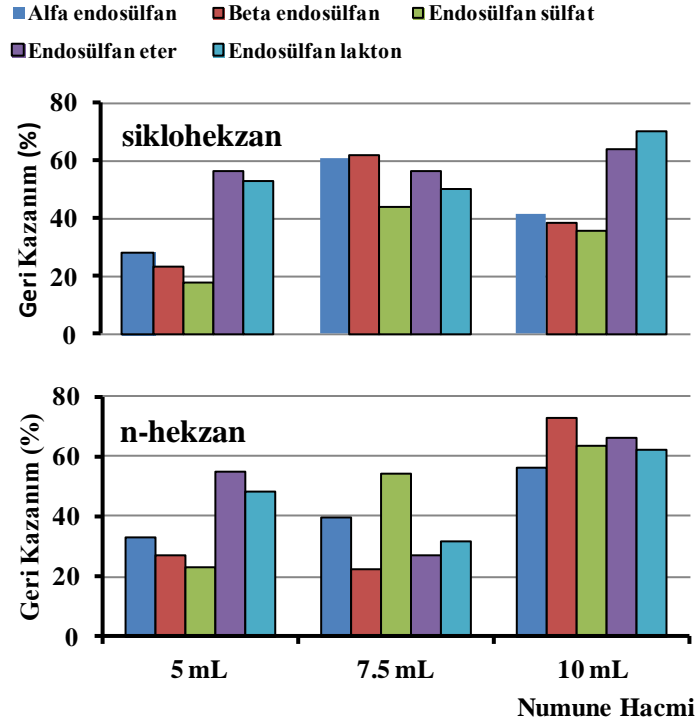
**Şekil 5.** n-hekzan ve sikloheksan solventleri ile yapılan geri kazanım çalışmalarına solvent hacminin etkisi (2 mg/L endosülfan izomer ve metabolit konsantrasyonu, 5 mL numune hacmi, 1 dk vorteks süresi).

Analiz sonuçları incelendiğinde çözücü miktarındaki artışın geri kazanım verimlerinde kayda değer bir yükselme sağlamadığı görülebilir. Artan çözücü hacmi ile geri kazanım verimlerinde iyileşmenin gerçekleşmemesi durumu çözücü hacminin artmasıyla ekstrakte edilen analitlerin seyreltilmesi gerçeğiyle açıklanabilir [15]. Hem geri kazanım oranlarının diğerlerine nazaran yüksek olması hem de yeşil kimya prensiplerine uygun düşük miktar solvent kullanımı amacıyla 200 µL optimum çözücü hacmi olarak alınmıştır. Ayrıca tüm çözücü hacimlerinde santrifüj sonrası geri kazanılan solvent hacimleri de HPLC enjeksiyonu için yeterliydi. Benzer şekilde Li ve ark. [16] gıdalla temas eden plastiklerden ftalat esterlerinin belirlenmesi için vorteks destekli sıvı-sıvı mikroekstraksiyonu kullandıkları çalışmalarında çok az miktarda özütleyicinin, hedef analitlerin kantitatif geri kazanımı gereksinimini karşılamak ve analitik yöntemin hassasiyetini iyileştirmek için çok yararlı olan yüksek zenginleştirme oranına ulaşmak için yeterli olduğunu ifade etmiş, 80 µL özütleyici hacmini optimum bulmuşlardır. Bu arada, 70 µL özütleyici kullanıldığında, geri kazanılan özütleyici miktarının 50 µL'lik bir mikro şırınga kullanılarak alım için yeterli olmadığı ve bu nedenle ilgili sonuçların belirlenemediğini de belirtmişlerdir. Yiantzi ve ark. [11] yaptıkları çalışmada çözücü hacmini 50 µL'den 80 µL'ye çıkardıklarında bisfenol-A, oktilfenol ve nonilfenol geri kazanım verimi için sırasıyla %36, 38 ve 42'lik bir azalma kaydetmişlerdir. Bunun nedenini ise çözücü fazındaki hedef analitlerin nihai konsantrasyonlarının azalmasıyla açıklamışlardır.

#### -Numune hacminin geri kazanım üzerine etkisi

Numune hacmi, ekstraksiyon geri kazanımını iki açıdan etkileyebilir. İlk olarak, daha yüksek bir numune hacmi daha fazla ekstraksiyon çözücüsünü çözebilir ve bu da ekstraksiyon verimliliğini doğrudan düşürebilir [17]. İkinci olarak, daha büyük bir numune hacmi daha fazla miktarda hedef analit içerir; böylece ekstraksiyonu artırır ve yöntem duyarlılığını iyileştirir [18]. Geri kazanım oranlarını artırabilmek adına numune hacmi, kullanılan ekstraksiyon kabına ve yöntemin sonuçtaki hassasiyetine bağlı olarak 5, 7.5 ve 10 mL alınarak ve diğer şartlar aynı kalacak şekilde sikloheksan ve n-hekzan çözücüleri için optimize edilmiştir.





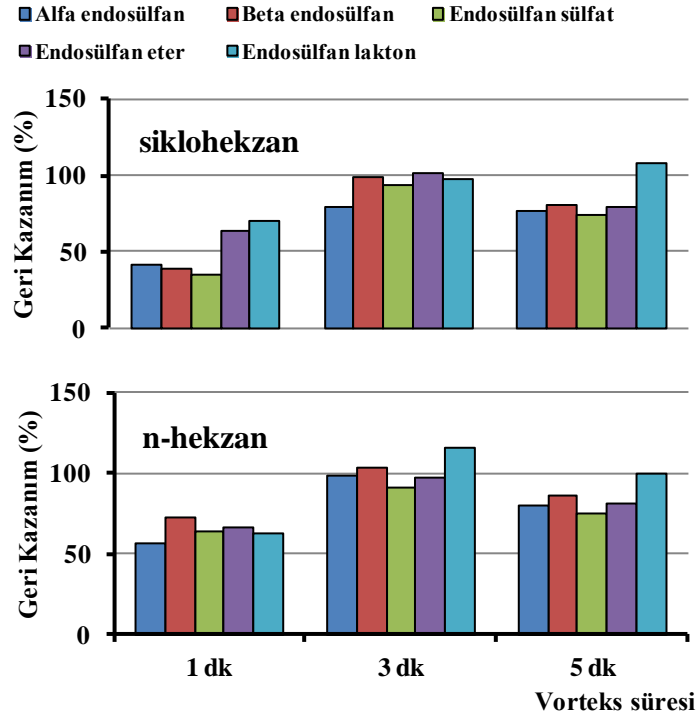
**Şekil 6.** n-hekzan ve siklohekzan solventleri ile yapılan geri kazanım çalışmalarına numune hacminin etkisi (2 mg/L endosülfan izomer ve metabolit konsantrasyonu, 200 µL solvent hacmi, 1 dk vorteks süresi).

Şekil 6'da görüleceği üzere numune hacmindeki azalma ile yeterli geri kazanım oranları elde edilemediği gibi oranlarda düşüş gerçekleşmiş ve numune hacmindeki azalmanın geri kazanım oranlarını düşürdüğü sonucuna ulaşılmıştır. Sonraki deneylerde kullanılmak üzere en iyi verimlerin elde edildiği 10 mL numune hacmi optimum değer olarak alınmıştır. Yiantzi ve ark. [11] yaptıkları çalışmada, numune hacminin 5 mL'den 20 mL'ye yükseltilmesi ile ekstraksiyon için mevcut olan toplam analit kütesinin arttırıldığını, bunun da bisfenol-A, oktilfenol ve nonilfenol için analitik cihazın yanıtında net bir artışa neden olduğunu ve kaydedilen sinyallerin sırasıyla 1.5, 2.4 ve 3.4 kat daha yükseldiğini ifade etmiştir. Papadopoulou ve ark. [19] yaptıkları çalışmalarında perflorooktan sülfonat ekstraksiyonunda, 5 mL numune hacmi elde edilen geri kazanım verimlerine kıyasla 20 mL numune hacminde elde edilenleri yaklaşık 4.3 kat daha büyük tespit ederek optimum numune hacmini 20 mL olarak almışlardır.

#### **-Vorteks süresinin geri kazanım üzerine etkisi**

Sıvı-sıvı ekstraksiyon metodolojisinde, hedef analitin sulu fazdan ekstraksiyon çözücü fazına etkili kütle transferini sağlamak ve iyi bir emülsifikasyon oluşturmak için, karıştırma aparatının tipi ve ekstraksiyon ile numune solüsyonu fazları arasındaki temas süresi optimize edilmesi gereken önemli bir parametredir [20]. Vorteks ajitasyonu, ince ekstraksiyon çözücü damlacıklarının oluşumunu kolaylaştırabilir, ekstraksiyon verimliliğini artırabilir ve ekstraksiyon süresini kısaltabilir. Genel olarak, artan vorteks süresi, hedef analitlerin ekstraksiyon çözücüsü ile sulu çözelti arasında kütle transferini hızlandırabilir ve bu nedenle denge süresini en aza indirebilir [16]. Vorteksin etkisi, vorteks karıştırıcısının dönüş hızına ve vorteks süresine bağlıdır. VALLME'de difüzyon mesafesi kısa ve özgül yüzey alanı dengeyi sağlamak için geniş olduğundan, sulu fazdan ara faza kütle transferi yüksek vorteksleme hızlarında daha hızlı olacaktır [21]. Shalash ve ark. [22] yaptıkları çalışmalarında vorteks karıştırıcısının dönüş hızının etkisini 1000–2500 rpm aralığı araştırmış, vorteksleme hızının artmasıyla ekstraksiyon veriminin arttığı görülerek VALLME adımı, ekstraksiyon boyunca vorteks karıştırıcısının maksimum hız (2500 rpm) ayarında gerçekleştirildiği bildirilmiştir. Buradan yola çıkarak vorteks süresinin analitlerin ekstraksiyonu üzerindeki etkisini incelemek için deneyler, maksimum vorteks karıştırıcı hızı olan 3000 rpm'de, vorteks karıştırma süreleri ise 1, 3 ve 5 dakika olarak çalışılmıştır.





**Şekil 7.** n-hekzan ve sikloheksan solventleri ile yapılan geri kazanım çalışmalarının vorteks süresinin etkisi (2 mg/L endosülfan izomer ve metabolit konsantrasyonu, 200 µL solvent hacmi, 10 mL numune hacmi).

Elde edilen sonuçlar Şekil 7’de gösterilirken, her iki çözücü için de ekstraksiyon veriminin, vorteksleme süresi 1 dakikadan 3 dakikaya çıkarıldığında arttığı ve bundan sonra ise bir miktar azaldığı bulunmuştur. Böylece 3 dk’da dengeye ulaşılarak ekstraksiyon çözücüsü ile sulu numune arasındaki temas yüzeyi büyük ölçüde artırılmış ve bunun sonucu olarak da kütle transferi artırılarak ekstraksiyon verimleri geliştirmiştir. Vorteks süresinin artırılmasıyla verimlerde meydana gelen bir miktar azalma ise özütleyici ile analitler arası bağların uzun süreli vorteks sonrası kısmen yok olmasına bağlanabilir [16]. Li ve ark. [16] yaptıkları çalışmalarında, vorteks süresinin analitlerin geri kazanılması üzerindeki etkisini incelemek için deneylerini, vorteks hızı 500 rpm’de tutarak farklı vorteks süreleriyle (0, 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 dakika) gerçekleştirmiştir. Vorteks süresi 0’dan 2 dakikaya çıkarıldığında sinyal değerlerinin yükseldiği, sonrasında 4 dakikada hafif bir azalma olduğu ve daha sonra hızla düştüğü bildirilmiştir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Endosülfan izomerleri ve metabolitlerinin vorteks destekli sıvı sıvı ekstraksiyonunun optimizasyonu için yapılan geri kazanımı çalışmalarında elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ekstraksiyon işleminde kullanılacak çözücü seçimi için yapılan deneysel çalışmalardan çıkan sonuçlar neticesinde en yüksek geri kazanım verimlerine sikloheksan ve n-hekzan çözücülerinde ulaşılmıştır.
- Sonrasında VALLME yönteminin optimizasyonu için sırasıyla çözücü hacmi, numune hacmi ve ekstraksiyon süresinin etkisi araştırılmıştır. Deneyler sonucunda 200 µL çözücü hacmi, 10 mL numune hacmi ve 3 dk vorteks süresi her iki çözücü için de optimize edilmiştir.
- α-endosülfan, β-endosülfan, endosülfan sülfat, endosülfan eter ve endosülfan lakton için geri kazanım oranları sikloheksan için sırasıyla; %79.56, 99.34, 93.28, 101.85 ve 97.43 olarak elde edilirken, n-hekzan için bu değerler sırasıyla; %99.06, 103.06, 91.1, 96.79 ve 115.31 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar neticesinde VALLME’de kullanılacak ekstraksiyon solventi n-hekzan olarak belirlenmiştir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma Mehmet TÜRKYILMAZ'ın doktora tezinin bir kısmından üretilmiştir. Bu çalışma Yüksek Öğretim Kurumu tarafından "2014-ÖYP-106" no.lu proje ile ve TÜBİTAK tarafından "2211-C Öncelikli Alanlar Bursu" ile desteklenmiştir.

## **Yazarların Katkısı**

Yazarların makaleye olan katkıları 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] Bajpayee M., Pandey A.K., Zaidi S., Musarrat J., Parmar D., Mathur N. 2006. DNA damage and mutagenicity induced by endosulfan and its metabolites. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 47 (9): 682-692.
- [2] Goebel H., Gorbach S., Knauf W., Rimpau R., Huttenbach H. 1982. Properties, effects, residues, and analytics of the insecticide endosulfan. *Residue Reviews*, 83: 1-165.
- [3] Li Y., Macdonald R., 2005. Sources and pathways of selected organochlorine pesticides to the Arctic and the effect of pathway divergence on HCH trends in biota: A review. *Science of the Total Environment*, 342 (1-3): 87-106.
- [4] Janssen M.P.M. 2011. Endosulfan: A closer look at the arguments against a worldwide phase out.
- [5] Weber J., Halsall C.J., Muir D., Teixeira C., Small J., Solomon K. 2010. Endosulfan, a global pesticide: A review of its fate in the environment and occurrence in the Arctic. *Science of the Total Environment*, 408 (15): 2966-2984.
- [6] Hwang J.I., Lee S.E., Kim J.E. 2015. Plant uptake and distribution of endosulfan and its sulfate metabolite persisted in soil. *PloS One*, 10 (11): e0141728.
- [7] Shah N.S., He X., Khan H.M., Khan J.A., O'Shea K.E., Boccelli D.L. 2013. Efficient removal of endosulfan from aqueous solution by UV-C/peroxides: a comparative study. *Journal of Hazardous Materials*, 263: 584-592.
- [8] Vidal J.M., Plaza-Bolanos P., Romero-González R., Frenich A.G. 2009. Determination of pesticide transformation products: A review of extraction and detection methods. *Journal of Chromatography A*, 1216 (40):6767-6788.
- [9] Ahmad W., Al-Sibaai A., Bashammakh A., Alwael H., El-Shahawi M. 2015. Recent advances in dispersive liquid-liquid microextraction for pesticide analysis. *Trends in Analytical Chemistry*, 72: 181-192.
- [10] Płotka-Wasyłka J., Owczarek K., Namieśnik J. 2016. Modern solutions in the field of microextraction using liquid as a medium of extraction. *Trends in Analytical Chemistry*, 85: 46-64.
- [11] Yiantzi E., Psillakis E., Tyrovolas K., Kalogerakis N. 2010. Vortex-assisted liquid-liquid microextraction of octylphenol, nonylphenol and bisphenol-A. *Talanta*, 80 (5) :2057-62.
- [12] Ojeda C.B., Rojas F.S. 2018. Vortex-assisted liquid-liquid microextraction (VALLME): The latest applications. *Chromatographia*, 81 (1): 89-103.
- [13] Karadaş C., Kara D. 2017. Dispersive liquid-liquid microextraction based on solidification of floating organic drop for preconcentration and determination of trace amounts of copper by flame atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 220: 242-248.

- [14] Çabuk H., Yılmaz Y., Yıldız E. 2019. A vortex-assisted deep eutectic solvent-based liquid-liquid microextraction for the analysis of alkyl gallates in vegetable oils. *Acta Chimica Slovenica*, 66 (2): 385-394.
- [15] Jia C., Zhu X., Wang J., Zhao E., He M., Chen L. 2010. Extraction of pesticides in water samples using vortex-assisted liquid-liquid microextraction. *Journal of Chromatography A*, 1217 (37):5868-5871.
- [16] Li T., Song Y., Li J., Zhang M., Shi Y., Fan J. 2020. New low viscous hydrophobic deep eutectic solvents in vortex-assisted liquid-liquid microextraction for the determination of phthalate esters from food-contacted plastics. *Food Chemistry*, 309: 125752.
- [17] Liu X., Liu C., Qian H., Qu Y., Zhang S., Lu R. 2019. Ultrasound-assisted dispersive liquid-liquid microextraction based on a hydrophobic deep eutectic solvent for the preconcentration of pyrethroid insecticides prior to determination by high-performance liquid chromatography. *Microchemical Journal*, 146: 614-621.
- [18] Vidal L., Canals A., Kalogerakis N., Psillakis E. 2005. Headspace single-drop microextraction for the analysis of chlorobenzenes in water samples. *Journal of Chromatography A*, 1089 (1-2): 25-30.
- [19] Papadopoulou A., Román I.P., Canals A., Tyrovola K., Psillakis E. 2011. Fast screening of perfluorooctane sulfonate in water using vortex-assisted liquid-liquid microextraction coupled to liquid chromatography-mass spectrometry. *Analytica Chimica Acta*, 691 (1-2): 56-61.
- [20] Zaruba S., Vishnikin A.B., Andruch V. 2016. A novel vortex-assisted liquid-liquid microextraction approach using auxiliary solvent: Determination of iodide in mineral water samples. *Talanta*, 149: 110-116.
- [21] Lian Y., Qiu X., Yang Y. 2014. Vortex-assisted liquid-liquid microextraction combined with HPLC for the simultaneous determination of five phthalate esters in liquor samples. *Food Analytical Methods*, 7 (3): 636-644.
- [22] Shalash M., Makahleh A., Salhimi S.M., Saad B. 2017. Vortex-assisted liquid-liquid-liquid microextraction followed by high performance liquid chromatography for the simultaneous determination of fourteen phenolic acids in honey, iced tea and canned coffee drinks. *Talanta*, 174: 428-435.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **$\mathbb{C}$ , $\mathbb{H}$ , $\mathbb{O}$ -Katsayılı Sedeniyonların Özel Matris Gösterimleri ve Bazı Özellikleri**

Özcan BEKTAŞ\*

*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü  
(ORCID: [0000-0002-2483-1939](https://orcid.org/0000-0002-2483-1939))*

---

### **Öz**

Bu makalede ilk olarak sedeniyonlar ile ilgili temel kavramlar verilmiştir. Daha sonra sedeniyonların kompleks ( $\mathbb{C}$ ), kuaterniyon ( $\mathbb{H}$ ) ve oktoniyon ( $\mathbb{O}$ ) katsayılı gösterimlerinden yararlanılarak farklı türden eşlenikleri tanımlanıp, bazı özellikleri verilecektir. Son olarak da sedeniyonların  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı özel matris gösterimleri sunulacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Eşlenik, Kuaterniyonlar, Kompleks sayılar, Oktoniyonlar, Sedeniyonlar.

---

## **Some Properties and Special Matrix Representations of $\mathbb{C}$ , $\mathbb{H}$ , $\mathbb{O}$ - Coefficient Sedenion Numbers**

---

### **Abstract**

In this article, firstly, the basic concepts about the sedenions are given. Then, using the representations of the sedenions with complex ( $\mathbb{C}$ ), quaternion ( $\mathbb{H}$ ) and octonion ( $\mathbb{O}$ ) coefficients, different types of conjugates will be defined and some properties will be given. Finally,  $\mathbb{C}$ ,  $\mathbb{H}$ ,  $\mathbb{O}$ -coefficient special matrix representations of sedenions will be presented.

**Keywords:** Conjugate, Quaternions, Complex numbers, Octonions, Sedenions.

---

### **1. Giriş**

Kompleks sayı ( $\mathbb{C}$ ), kuaterniyon ( $\mathbb{H}$ ), oktoniyon ( $\mathbb{O}$ ) ve sedeniyon ( $\mathbb{S}$ ) sayı sistemleri son yıllarda teorik ve uygulamalı matematikçilerin ve teorik fizikçilerin oldukça ilgisini çeken konulardır. Cayley-Dickson cebirleri, kompleks sayı ( $\mathbb{C}$ ), kuaterniyon ( $\mathbb{H}$ ), oktoniyon ( $\mathbb{O}$ ) ve sedeniyon ( $\mathbb{S}$ ) gibi reel sayılardan elde edilen cebirlerdir. [13,14,16]. Burada bahsedilen bir süreçtir ve bu süreç Cayley-Dickson süreci olarak tanımlanmıştır, [13]. Dikkat edilirse bu süreç aşağıdaki gibi bir zincirlemeye sahiptir.:

$$\mathbb{R} \subset \mathbb{C} \subset \mathbb{H} \subset \mathbb{O} \subset \mathbb{S} \subset \dots$$

[16]. Bu bakımdan değerlendirildiğinde, sedeniyon sayı sistemi bu sayı sistemlerinin hepsini içermesinden dolayı ayrıca bir öneme sahiptir. Fakat literatüre bakıldığında sedeniyonlar ile ilgili çok çalışma bulunmamaktadır.

Kompleks sayı sistemi hem değişmelidir hem de birleşimlidir. Kuaterniyonlar ise değişmeli olmamasına rağmen birleşimlidir. Oktoniyonlar ise hem değişimli hem de birleşimli değildir, fakat alternatifir (alternative), esnek (flexible) ve üstel birleşimlidir (power-associative) [13-15]. Sedeniyonlar ise hem değişimli, hem birleşimli hem de alternatif değildir. Bu bakımdan, sedeniyonlar diğer sayı sistemlerine kıyasla daha az özelliğe sahiptir.

---

\*Sorumlu yazar: [ozcan.bektas@erdogan.edu.tr](mailto:ozcan.bektas@erdogan.edu.tr)  
Geliş Tarihi: 29.06.2021, Kabul Tarihi: 28.11.2021

Bir  $Z$  sedeniyon sayısı  $Z = x_0 + \sum_{i=1}^{15} e_i x_i$ ,  $x_i \in \mathbb{R}$  şeklinde yazılabilir, [3,5]. Burada  $e_i$ 'ler sedeniyonların baz elemanları olarak adlandırılır.  $Z$  sedeniyonunun eşleniği, mutlak değeri ve tersi sırasıyla  $\bar{Z} = x_0 - \sum_{i=1}^{15} e_i x_i$ ,  $|Z| = \sqrt{\sum_{i=1}^{15} x_i^2}$  ve  $Z^{-1} = \frac{\bar{Z}}{|Z|^2}$ ,  $|Z| \neq 0$ , [1,2,3].

Sedeniyonlar,  $\mathbb{R}$  üzerinde, 16 boyutlu, değişmeli ve birleşmeli olmayan bir cisimdir [1]. Sedeniyonların değişmeli olmayan  $e_l$  ( $0 \leq l \leq 15$ ) baz elemanlarının çarpımları

$$e_i^2 = -1, e_i e_j = -e_j e_i, e_i e_j e_k = e_i (e_i e_j) (i \neq j \neq k, i \neq 0, j \neq 0, k \neq 0)$$

özelliklerini sağlamaktadır, [1,2]. Diğer taraftan verilen bu özellik bir tablo olarak verilebilir, [1].

**Tablo 1.** Sedeniyon Baz Elemanlarının Çarpımı

$\times$	$e_0$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	$e_{10}$	$e_{11}$	$e_{12}$	$e_{13}$	$e_{14}$	$e_{15}$
$e_0$	$e_0$	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	$e_8$	$e_9$	$e_{10}$	$e_{11}$	$e_{12}$	$e_{13}$	$e_{14}$	$e_{15}$
$e_1$	$e_1$	-1	$e_3$	$-e_2$	$e_5$	$-e_4$	$e_7$	$-e_6$	$e_9$	$-e_8$	$e_{11}$	$-e_{10}$	$e_{13}$	$-e_{12}$	$e_{15}$	$-e_{14}$
$e_2$	$e_2$	$-e_3$	-1	$e_1$	$e_6$	$-e_7$	$-e_4$	$e_5$	$e_{10}$	$-e_{11}$	$-e_8$	$e_9$	$e_{14}$	$-e_{15}$	$-e_{12}$	$e_{13}$
$e_3$	$e_3$	$e_2$	$-e_1$	-1	$e_7$	$e_6$	$-e_5$	$-e_4$	$e_{11}$	$e_{10}$	$-e_9$	$-e_8$	$e_{15}$	$e_{14}$	$-e_{13}$	$-e_{12}$
$e_4$	$e_4$	$-e_5$	$-e_6$	$-e_7$	-1	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_{12}$	$e_{13}$	$e_{14}$	$e_{15}$	$-e_8$	$-e_9$	$-e_{10}$	$-e_{11}$
$e_5$	$e_5$	$e_4$	$e_7$	$-e_6$	$-e_1$	-1	$e_3$	$-e_2$	$e_{13}$	$-e_{12}$	$e_{15}$	$-e_{14}$	$e_9$	$-e_8$	$e_{11}$	$-e_{10}$
$e_6$	$e_6$	$-e_7$	$e_4$	$e_5$	$-e_2$	$-e_3$	-1	$e_1$	$e_{14}$	$-e_{15}$	$-e_{12}$	$e_{13}$	$e_{10}$	$-e_{11}$	$-e_8$	$e_9$
$e_7$	$e_7$	$e_6$	$-e_5$	$e_4$	$-e_3$	$e_2$	$-e_1$	-1	$e_{15}$	$e_{14}$	$-e_{13}$	$-e_{12}$	$e_{11}$	$e_{10}$	$-e_9$	$-e_8$
$e_8$	$e_8$	$-e_9$	$-e_{10}$	$-e_{11}$	$-e_{12}$	$-e_{13}$	$-e_{14}$	$-e_{15}$	-1	$e_1$	$e_2$	$e_3$	$e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$
$e_9$	$e_9$	$e_8$	$e_{11}$	$-e_{10}$	$-e_{13}$	$e_{12}$	$e_{15}$	$-e_{14}$	$-e_1$	-1	$e_3$	$-e_2$	$-e_5$	$e_4$	$e_7$	$-e_6$
$e_{10}$	$e_{10}$	$-e_{11}$	$e_8$	$e_9$	$-e_{14}$	$-e_{15}$	$e_{12}$	$e_{13}$	$-e_2$	$-e_3$	-1	$e_1$	$-e_6$	$-e_7$	$e_4$	$e_5$
$e_{11}$	$e_{11}$	$e_{10}$	$-e_9$	$e_8$	$-e_{15}$	$e_{14}$	$-e_{13}$	$e_{12}$	$-e_3$	$e_2$	$-e_1$	-1	$-e_7$	$e_6$	$-e_5$	$e_4$
$e_{12}$	$e_{12}$	$-e_{13}$	$-e_{14}$	$-e_{15}$	$e_8$	$-e_9$	$-e_{10}$	$-e_{11}$	$-e_4$	$e_5$	$e_6$	$e_7$	-1	$e_1$	$e_2$	$e_3$
$e_{13}$	$e_{13}$	$e_{12}$	$e_{15}$	$-e_{14}$	$e_9$	$e_8$	$e_{11}$	$-e_{10}$	$-e_5$	$-e_4$	$e_7$	$-e_6$	$-e_1$	-1	$e_3$	$-e_2$
$e_{14}$	$e_{14}$	$-e_{15}$	$e_{12}$	$e_{13}$	$e_{10}$	$-e_{11}$	$e_8$	$e_9$	$-e_6$	$-e_7$	$-e_4$	$e_5$	$-e_2$	$-e_3$	-1	$e_1$
$e_{15}$	$e_{15}$	$e_{14}$	$-e_{13}$	$e_{12}$	$e_{11}$	$e_{10}$	$-e_9$	$e_8$	$-e_7$	$e_6$	$-e_5$	$-e_4$	$-e_3$	$-e_2$	$-e_1$	-1

Bir  $Z$  sedeniyonu,  $z_1 = x_0 + e_1 x_1, z_2 = x_2 + e_1 x_3, z_3 = x_4 + e_1 x_5, z_4 = x_6 + e_1 x_7, z_5 = x_8 + e_1 x_9, z_6 = x_{10} + e_1 x_{11}, z_7 = x_{12} + e_1 x_{13}, z_8 = x_{14} + e_1 x_{15} \in \mathbb{C}$  kompleks sayılar olmak üzere  $Z = z_1 + z_2 e_2 + z_3 e_4 + z_4 e_6 + z_5 e_8 + z_6 e_{10} + z_7 e_{12} + z_8 e_{14}$  şeklinde yazılabilir [1]. Böylece  $\mathbb{C}^8$  ile  $\mathbb{S}$  birbirine eş tutulmuş olur [1].  $Z = z_1 + z_2 e_2 + z_3 e_4 + z_4 e_6 + z_5 e_8 + z_6 e_{10} + z_7 e_{12} + z_8 e_{14}$  ve  $W = w_1 + w_2 e_2 + w_3 e_4 + w_4 e_6 + w_5 e_8 + w_6 e_{10} + w_7 e_{12} + w_8 e_{14}$  sedeniyonlarının toplamı

$$Z + W = \sum_{i=1}^8 (z_i + w_i) e_{2i-2}$$

şeklindedir.

Diğer taraftan,  $Q_1 = x_0 + \sum_{i=1}^3 e_i x_i, Q_2 = x_4 + \sum_{i=5}^7 e_{i-4} x_i, Q_3 = x_8 + \sum_{i=8}^{10} e_{i-7} x_i, Q_4 = x_{12} + \sum_{i=11}^{13} e_{i-10} x_i \in \mathbb{H}$  olmak üzere

$$Z = Q_1 + Q_2 e_4 + Q_3 e_8 + Q_4 e_{12}$$

ifadesi de verilebilir.  $Z = Q_1 + Q_2 e_4 + Q_3 e_8 + Q_4 e_{12}$  ve  $W = H_1 + H_2 e_4 + H_3 e_8 + H_4 e_{12}$  sedeniyonlarının toplamı

$$Z + W = \sum_{i=1}^4 (Q_i + H_i) e_{4i-4}$$

şeklindedir.

Son olarak  $Z$  sedeniyonu

$$O_1 = x_0 + \sum_{i=1}^7 e_i x_i, \quad O_2 = x_8 + \sum_{i=9}^{15} e_{i-8} x_i \in \mathbb{O} \text{ olmak üzere}$$

$$Z = O_1 + O_2 e_8$$

şeklinde de yazılabilir, [2].  $Re(O_1) = x_0$  ve  $Im(O_1) = \sum_{i=1}^7 e_i x_i$  ile tanımlıdır.

Burada herhangi iki  $Z_1 = O_1 + O_2 e_8$  ve  $Z_2 = O_3 + O_4 e_8$  sedeniyonlarının toplamı ve çarpımı

$$Z_1 + Z_2 = (O_1 + O_3) + (O_2 + O_4) e_8$$

ve

$$Z_1 Z_2 = (O_1 O_3 - \overline{O_4} O_2) + (O_2 \overline{O_3} + O_4 O_1) e_8$$

şeklinde dir. Ayrıca  $O_1 = x_0 + \sum_{i=1}^7 e_i x_i$  oktoniyonu için

$$O_1 + \overline{O_1} = 2x_0 = 2Re(O_1)$$

ve

$$O_1 - \overline{O_1} = 2 \sum_{i=1}^7 e_i x_i = 2Im(O_1)$$

elde edilir.

Farklı türden sayı sistemleri tanımları göz önüne alınarak farklı eşlenik tanımları Messelmi tarafından verilmiştir [4]. Kompleks ve dual eşlenikler  $\mathbb{C}$  (kompleks sayılar) ve  $\mathbb{D}$  (dual sayılar) sistemlerinin cebirsel ve geometrik özellikleri bakımından oldukça önemlidir, [4].

Aşağıda farklı türden eşlenik tanımları verilecektir:

$\varepsilon = (1,0)$  dual birim,  $z = a_1 + a_2 i \in \mathbb{C}$ ,  $t = b_1 + b_2 i \in \mathbb{C}$  kompleks sayılar ve  $\bar{z} = a_1 - a_2 i \in \mathbb{C}$ ,  $\bar{t} = b_1 - b_2 i \in \mathbb{C}$  kompleks sayıları da bilinen eşlenikler olmak üzere,  $w = z + t\varepsilon$  dual-kompleks sayının kompleks eşleniği, sadece kompleks sayıların eşlenikleri kullanarak

$$\overline{w}^1 = \bar{z} + \bar{t}\varepsilon$$

şeklinde tanımlanır [4]. Burada ifade açılırsa,  $\overline{w}^1 = a_1 - a_2 i + b_1 \varepsilon - b_2 i \varepsilon$  dual-kompleks sayısı elde edilir.

$w = z + t\varepsilon$  dual-kompleks sayının dual eşleniği, sayıya dual sayı gözüyle bakılıp, dual eşlenik kullanarak

$$\overline{w}^1 = z - t\varepsilon$$

şeklinde tanımlanır [4]. Burada ifade açılırsa,  $\overline{w}^1 = a_1 + a_2 i - b_1 \varepsilon - b_2 i \varepsilon$  dual-kompleks sayısı elde edilir.

$w = z + t\varepsilon$  dual-kompleks sayının ikili eşleniği, hem kompleks sayıların eşleniği hem de dual eşlenik kullanarak

$$\overline{w}^1 = \bar{z} - \bar{t}\varepsilon$$

şeklinde tanımlanır [4]. Burada ifade açılırsa,  $\overline{w}^1 = a_1 - a_2 i - b_1 \varepsilon + b_2 i \varepsilon$  elde edilir.

$w = z + t\varepsilon$  dual-kompleks sayının anti-dual eşleniği, kompleks sayıların yerleri değiştirilip dual eşlenik kullanarak

$$\overline{w}^1 = t - z\varepsilon$$

şeklinde tanımlanır, [4]. Burada ifade açılırsa,  $\bar{w}^1 = b_1 + b_2i - a_1\varepsilon - a_2i\varepsilon$  dual-kompleks sayısı elde edilir.

Genel olarak, kompleks, kuaterniyon ve oktoniyonlar için *Re* ve *Im* kavramları, sırasıyla, reel ve imajiner kısımlar olarak ifade edilir.

Sedeniyonlar son yıllarda özellikle cebirsel özelliklerinin araştırılması bakımından göze çarpmaktadır [10-12]. Örneğin Perrin sedeniyonlar ve Tribonacci sedeniyonlar, sırasıyla [6,7] tarafından verilen çalışmalarla incelenmiştir. Ayrıca k-pell sedeniyonlar çalışılmıştır [8]. Yine literatürde önemli bir yere sahip olan Fibonacci sedeniyonları [9] tarafından verilmiştir.

Bu çalışmada, sedeniyonların kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon katsayılı gösterimlerinden yararlanarak bu yazılışlar için yukarıda tanımları verilen kompleks, dual, ikili ve anti-dual eşlenik tanımlarına benzer olarak 1. ve 2. tip kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon eşlenik, ikili kompleks, ikili kuaterniyon ve ikili oktoniyon eşlenikler, 1. ve 2. tip kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon normal eşlenikler ve anti-oktoniyon eşlenik tanımlanacaktır. Ayrıca sedeniyonların kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon katsayılı matris gösterimleri de elde edilecektir.

## 2. $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ - Katsayılı Sedeniyonların Tanımı ve Özellikleri

Bu bölüm çalışmanın orijinal bölümüdür. Burada,  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonlar için eşlenik, toplama ve çarpma gibi temel işlemler, Messeli'nin [4] kaynağında yaptığı tanımlamalara benzer olarak tanımlanacaktır. Ayrıca  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonlar için bazı özellikler verilecektir.

İlk olarak, cebirsel ve geometrik olarak önemli bir işlem olan eşlenik kavramını  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların her biri için 6 farklı şekilde aşağıdaki gibi tanımlayalım:

**Tanım 2.1**  $z_1 = x_0 + e_1x_1, z_2 = x_2 + e_1x_3, z_3 = x_4 + e_1x_5, z_4 = x_6 + e_1x_7, z_5 = x_8 + e_1x_9, z_6 = x_{10} + e_1x_{11}, z_7 = x_{12} + e_1x_{13}, z_8 = x_{14} + e_1x_{15} \in \mathbb{C}$  kompleks sayılar,  $Q_1 = x_0 + \sum_{i=1}^3 e_i x_i, Q_2 = x_4 + \sum_{i=5}^7 e_{i-4} x_i, Q_3 = x_8 + \sum_{i=8}^{10} e_{i-7} x_i, Q_4 = x_{12} + \sum_{i=11}^{13} e_{i-10} x_i \in \mathbb{H}$  kuaterniyonlar ve  $O_1 = x_0 + \sum_{i=1}^7 e_i x_i, O_2 = x_8 + \sum_{i=9}^{15} e_{i-8} x_i \in \mathbb{O}$  oktoniyonlar olmak üzere,  $Z = z_1 + z_2e_2 + z_3e_4 + z_4e_6 + z_5e_8 + z_6e_{10} + z_7e_{12} + z_8e_{14} = Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12} = O_1 + O_2e_8$  sedeniyonu verilsin.

1)  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların 1. tip kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon eşlenikleri, sırasıyla,  $\bar{Z}^1 = \bar{z}_1 + \bar{z}_2e_2 + \bar{z}_3e_4 + \bar{z}_4e_6 + \bar{z}_5e_8 + \bar{z}_6e_{10} + \bar{z}_7e_{12} + \bar{z}_8e_{14}, \bar{z}_1 = x_0 - e_1x_1, \dots, \bar{z}_8 = x_{14} - e_1x_{15}$   
 $\bar{Z}^1 = \bar{Q}_1 + \bar{Q}_2e_4 + \bar{Q}_3e_8 + \bar{Q}_4e_{12}, \bar{Q}_1 = x_0 - \sum_{i=1}^3 e_i x_i, \dots, \bar{Q}_4 = x_{12} - \sum_{i=11}^{13} e_{i-10} x_i$   
 $\bar{Z}^1 = \bar{O}_1 + \bar{O}_2e_8, \bar{O}_1 = x_0 - \sum_{i=1}^7 e_i x_i, \bar{O}_2 = x_8 - \sum_{i=9}^{15} e_{i-8} x_i \in \mathbb{O}$  şeklinde tanımlanır. Burada  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların, sırasıyla kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon eşlenikleri bulunurken ayrı ayrı bilinen eşlenik tanımları kullanılmıştır.

2)  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların 2. tip kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon eşlenikleri, sırasıyla,  $\bar{Z}^2 = z_1 - z_2e_2 - z_3e_4 - z_4e_6 - z_5e_8 - z_6e_{10} - z_7e_{12} - z_8e_{14},$   
 $\bar{Z}^2 = Q_1 - Q_2e_4 - Q_3e_8 - Q_4e_{12},$   
 $\bar{Z}^2 = O_1 - O_2e_8$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların, sırasıyla kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon eşlenikleri bulunurken, kompleks sayı, kuaterniyon ve oktoniyonun ayrı ayrı eşlenik tanımları kullanılmamıştır, sadece kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon birimlerin önüne (-) gelmiştir.

3)  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların ikili kompleks, ikili kuaterniyon ve ikili oktoniyon eşlenikleri, sırasıyla,

$$\bar{Z}^3 = \bar{z}_1 - \bar{z}_2e_2 - \bar{z}_3e_4 - \bar{z}_4e_6 - \bar{z}_5e_8 - \bar{z}_6e_{10} - \bar{z}_7e_{12} - \bar{z}_8e_{14},$$

$$\bar{Z}^3 = \bar{Q}_1 - \bar{Q}_2e_4 - \bar{Q}_3e_8 - \bar{Q}_4e_{12},$$

$$\bar{Z}^3 = \bar{O}_1 - \bar{O}_2e_8$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların, sırasıyla kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon eşlenikleri bulunurken hem kompleks sayı, kuaterniyon ve oktoniyonun ayrı ayrı eşlenik tanımları kullanılmış hem de kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon birimlerin önüne (-) gelmiştir.

- 4)  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların 1. tip kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon normal eşlenikleri, sırasıyla,

$$\overline{Z}^4 = \overline{z}_1 - z_2 e_2 - z_3 e_4 - z_4 e_6 - z_5 e_8 - z_6 e_{10} - z_7 e_{12} - z_8 e_{14},$$

$$\overline{Z}^4 = \overline{Q}_1 - Q_2 e_4 - Q_3 e_8 - Q_4 e_{12},$$

$$\overline{Z}^4 = \overline{O}_1 - O_2 e_8$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların, sırasıyla kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon eşlenikleri bulunurken hem ilk kısımdaki (reel kısımdaki) kompleks sayı, kuaterniyon ve oktoniyonun eşlenik tanımları kullanılmış ve hem de ikinci kısımdaki (vektör kısımda) kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon birimlerin önüne (-) gelmiştir.

- 5)  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların 2. tip kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon normal eşlenikleri, sırasıyla,

$$\overline{Z}^5 = z_1 - \overline{z}_2 e_2 - \overline{z}_3 e_4 - \overline{z}_4 e_6 - \overline{z}_5 e_8 - \overline{z}_6 e_{10} - \overline{z}_7 e_{12} - \overline{z}_8 e_{14},$$

$$\overline{Z}^3 = Q_1 - \overline{Q}_2 e_4 - \overline{Q}_3 e_8 - \overline{Q}_4 e_{12},$$

$$\overline{Z}^5 = O_1 - \overline{O}_2 e_8$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların, sırasıyla kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon eşlenikleri bulunurken ilk kısımdaki (reel kısımdaki) kompleks sayı, kuaterniyon ve oktoniyonun eşlenik tanımları kullanılmamıştır fakat ikinci kısımdaki (vektör kısımda) kompleks, kuaterniyon ve oktoniyonların ayrı ayrı eşlenikleri alınmıştır.

- 6)  $\mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların anti-oktoniyon eşleniği

$$\overline{Z}^6 = O_2 - O_1 e_8.$$

şeklinde tanımlanır. Burada, eşlenik tanımlanırken,  $Z = O_1 + O_2 e_8$ , sedeniyonunda  $O_1$  ve  $O_2$  oktoniyonlarının sıralaması değiştirilip  $W = O_2 + O_1 e_8$  yeni bir sedeniyon elde edilmiştir. Daha sonra tıpkı bir karmaşık sayının eşleniği alınır gibi eşlenik alınmıştır. Yani,  $\overline{Z}^6 = \overline{W} = O_2 - O_1 e_8$  şeklindedir.

**Tanım 2.1** kullanılarak  $\mathbb{C}, \mathbb{H}, \mathbb{O}$ -katsayılı sedeniyonların modül ve eşlenikleriyle ilgili aşağıdaki önerme verilebilir.

**Önerme 2.1**  $Z = O_1 + O_2 e_8 \in \mathbb{S}$  bir sedeniyon olsun. Bu durumda aşağıdaki ifadeler sağlanır:

- 1)  $Z + \overline{Z}^1 = 2Re(O_1) + 2Re(O_2)e_8,$
- 2)  $Z\overline{Z}^1 = (|O_1|^2 - (O_2)^2) + (O_2 O_1 + \overline{O}_2 O_1)e_8,$
- 3)  $Z + \overline{Z}^2 = 2O_1,$
- 4)  $Z\overline{Z}^2 = (O_1^2 + |O_2|^2) + (O_2 \overline{O}_1 - O_2 O_1)e_8,$
- 5)  $Z + \overline{Z}^3 = 2Re(O_1) + 2Im(O_2)e_8,$
- 6)  $Z\overline{Z}^3 = (|O_1|^2 + (O_2)^2) + (O_2 O_1 - \overline{O}_2 O_1)e_8,$
- 7)  $Z + \overline{Z}^4 = 2Re(O_1)$
- 8)  $Z\overline{Z}^4 = (|O_1|^2 + |O_2|^2),$
- 9)  $Z + \overline{Z}^5 = 2O_1 + 2Im(O_2)e_8,$
- 10)  $Z\overline{Z}^5 = (O_1^2 + O_2^2) + (O_2 \overline{O}_1 - \overline{O}_2 O_1)e_8,$
- 11)  $Z + \overline{Z}^6 = (O_1 + O_2) + (O_2 - O_1)e_8,$
- 12)  $Z\overline{Z}^6 = (O_1 O_2 + \overline{O}_1 O_2) + (|O_2|^2 - O_1^2)e_8.$

**İspat:**

- 1)  $Z + \overline{Z}^1 = (O_1 + O_2 e_8) + (\overline{O}_1 + \overline{O}_2 e_8)$   
 $= (O_1 + \overline{O}_1) + (O_2 + \overline{O}_2)e_8$   
 $= 2Re(O_1) + 2Re(O_2)e_8$



elde edilir.

$$\begin{aligned} 2) \quad Z\bar{Z}^1 &= (O_1 + O_2e_8) + (\bar{O}_1 + \bar{O}_2e_8) \\ &= (O_1\bar{O}_1 - \bar{O}_2O_2) + (O_2\bar{O}_1 + \bar{O}_2O_1)e_8 \\ &= (|O_1|^2 - (O_2)^2) + (O_2O_1 + \bar{O}_2O_1)e_8 \end{aligned}$$

elde edilir.

Diğer ifadelerin ispatları Tanım 2.1'deki ilgili eşlenik ve oktoniyon katsayılı sedeniyonların toplamı ve çarpımı kullanılırsa elde edilir.

**Not 2.1** Bu önerme sedeniyonların kompleks katsayılı

$$Z = z_1 + z_2e_2 + z_3e_4 + z_4e_6 + z_5e_8 + z_6e_{10} + z_7e_{12} + z_8e_{14}$$

ve sedeniyonların kuaterniyon katsayılı

$$Z = Q_1 + Q_2e_4Q_3e_8 + Q_4e_{12}$$

gösterimleri için Tanım 2.1'deki ilgili eşlenik ve oktoniyon katsayılı sedeniyonların toplamı ve çarpımı kullanılarak benzer şekilde verilebilir.

**Teorem 2.1**  $O, P \in \mathbb{O}, Q \in \mathbb{H}, z \in \mathbb{C}$  ve  $e_8 \in \mathbb{S}$  için aşağıdaki ifadeler sağlanır:

- 1)  $(Oe_8)e_8 = O(e_8e_8) = -O, e_8(e_8O) = (e_8e_8)O = -O,$
- 2)  $Oe_8 = e_8\bar{O}, e_8(Oe_8) = e_8(e_8\bar{O}) = -\bar{O},$
- 3)  $(OP)e_8 = (PO)e_8,$
- 4)  $(Oe_4)P = (O\bar{P})e_8,$
- 5)  $(Oe_8)(Pe_8) = \bar{P}O,$
- 6)  $e_iQ = \bar{Q}e_i, 1 \leq i \leq 15,$
- 7)  $Qe_i = e_i\bar{Q}, 1 \leq i \leq 15,$
- 8)  $e_i(Qe_i) = e_i(e_i\bar{Q}) = -\bar{Q}, 1 \leq i \leq 15,$
- 9)  $e_i(Qe_j) = e_i(e_j\bar{Q}) = (e_ie_j)\bar{Q}, 1 \leq i, j \leq 15,$
- 10)  $e_i(ze_i) = e_i(e_i\bar{z}) = -\bar{z}, 1 \leq i \leq 15,$
- 11)  $e_i(ze_j) = e_i(e_j\bar{z}) = (e_ie_j)\bar{z}, 1 \leq i, j \leq 15.$

**İspat:**

$$O = x_0 + \sum_{i=1}^7 e_i x_i \in \mathbb{O}, P = y_0 + \sum_{i=1}^7 e_i y_i \in \mathbb{O}, Q_1 = q_0 + \sum_{i=1}^3 e_i q_i \in \mathbb{H}, z_1 = p_0 + e_1 p_1 \in \mathbb{C}, e_8 \in \mathbb{S} \text{ sayıları verilsin.}$$

$$\begin{aligned} 1) \quad (Oe_8)e_8 &= ((x_0 + \sum_{i=1}^7 e_i x_i) e_8) e_8 \\ &= (x_0 e_8 + x_1 e_9 + x_2 e_{10} + x_3 e_{11} + x_4 e_{12} + x_5 e_{13} + x_6 e_{14} + x_7 e_{15}) e_8 \\ &= -x_0 - \sum_{i=1}^7 e_i x_i \\ &= -O \end{aligned}$$

ve

$$O(e_8e_8) = O(-1) = -O$$

olduğundan  $(Oe_8)e_8 = O(e_8e_8) = -O$  elde edilir. Benzer şekilde,

$$e_8(e_8O) = e_8 \left( e_8 \left( x_0 + \sum_{i=1}^7 e_i x_i \right) \right)$$

$$= e_8(x_0e_8 - x_1e_9 - x_2e_{10} - x_3e_{11} - x_4e_{12} - x_5e_{13} - x_6e_{14} - x_7e_{15}) = -x_0 - \sum_{i=1}^7 e_i x_i = -O$$

ve

$$(e_8e_8) O = (-1)O = -O$$

olduğundan  $e_8(e_8O) = (e_8e_8) O = -O$  elde edilir.

Diğer ifadeler de benzer şekilde işlemler yapılarak ispat edilebilir.

**Önerme 2.2**  $Z, Z_1, Z_2 \in \mathbb{S}$  sedeniyonları verilsin. Bu durumda

- 1)  $\overline{\overline{Z}^1} = \overline{\overline{O_1 + O_2e_8}} = \overline{O_1 + O_2e_8} = O_1 + O_2e_8 = Z,$
- 2)  $\overline{\overline{Z}^2} = \overline{\overline{O_1 - O_2e_8}} = \overline{O_1 - O_2e_8} = O_1 + O_2e_8 = Z,$
- 3)  $\overline{\overline{Z}^3} = \overline{\overline{O_1 - O_2e_8}} = \overline{O_1 - O_2e_8} = O_1 + O_2e_8 = Z,$
- 4)  $\overline{\overline{Z}^4} = \overline{\overline{O_1 - O_2e_8}} = \overline{O_1 - O_2e_8} = O_1 + O_2e_8 = Z,$
- 5)  $\overline{\overline{Z}^5} = \overline{\overline{O_1 - O_2e_8}} = \overline{O_1 - O_2e_8} = O_1 + O_2e_8 = Z,$
- 6) İlk 5 ifade kısaca,  $\overline{\overline{Z}^i} = Z, 1 \leq i \leq 5$  şeklinde verilebilir,
- 7)  $\overline{\overline{Z}^6} = \overline{\overline{O_2 - O_1e_8}} = \overline{O_2 - O_1e_8} = -O_1 - O_2e_8 = -Z,$
- 8)  $\overline{\overline{Z_1 + Z_2}} = \overline{\overline{Z_1}} + \overline{\overline{Z_2}}, 1 \leq i \leq 6,$
- 9) Genel olarak

$$\begin{aligned} \overline{\overline{Z_1 Z_2}} &= \overline{\overline{(O_1 + O_2e_8)(O_3 + O_4e_8)}} \\ &= \overline{(O_1O_3 - \overline{O_4}O_2) + (O_2\overline{O_3} + O_4O_1)e_8} \\ &= \overline{O_1O_3 - \overline{O_4}O_2 + (O_2\overline{O_3} + O_4O_1)e_8} \\ &= \overline{O_1O_3 - \overline{O_4}O_2 + (O_2\overline{O_3} + \overline{O_4}O_1)e_8} \\ &= \overline{O_3\overline{O_1} - \overline{O_2}O_4 + (\overline{O_3}O_2 + \overline{O_1}O_4)e_8} \\ &= \overline{O_3\overline{O_1} - \overline{O_2}O_4 + (O_3\overline{O_2} + \overline{O_1}O_4)e_8} \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned} \overline{\overline{Z_2}} \overline{\overline{Z_1}} &= \overline{\overline{(O_3 + O_4e_8)(O_1 + O_2e_8)}} \\ &= \overline{(O_3 + \overline{O_4}e_8) + (\overline{O_1} + \overline{O_2}e_8)} \\ &= \overline{O_3\overline{O_1} - O_2\overline{O_4} + (\overline{O_4}O_1 + \overline{O_2}O_3)e_8} \end{aligned}$$

olduğundan  $\overline{\overline{Z_1 Z_2}} \neq \overline{\overline{Z_2}} \overline{\overline{Z_1}}, 1 \leq i \leq 5$  şeklindedir.

### 3. C, H, O-Katsayılı Sedeniyonların Matris Gösterimleri

Bu bölümde önceki bölümlerde verilen tanım, teorem ve önermeler ile birlikte verilen özellikler kullanılarak kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon katsayılı yazılan sedeniyonların özel matris gösterimleri incelenecektir. Sedeniyonların birleşme özelliği olmamasından dolayı matris gösterimi olacak şekilde lineer dönüşüm tanımlanamaz. Fakat Teorem 2.1 ile verilen çarpım özellikleri kullanılarak üç başlık halinde sedeniyonların bazı özel matris gösterimleri verilecektir.

### 3.1 0- Katsayılı Sedeniyonların Matris Gösterimleri

**Tanım 3.1**  $Z = O_1 + O_2e_8 \in \mathbb{S}$  sedeniyonu verilsin. Bu durumda  $R_Z: \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}$ ,  $R_Z(X) = XZ$  (sağ çarpım) dönüşümüne oktoniyon katsayılı sedeniyon üzerinde sağ dönüşüm adı verilir.

**Not 3.1** Burada ve aşağıda verilen dönüşümlerin lineer olmadığına dikkat edilmelidir, çünkü sedeniyonların çarpım işlemi birleşme özelliğine sahip değildir. Buna rağmen bu dönüşümlerin çarpım şeklinde kullanılmasının nedeni Teorem 2.1 ile verilen özelliklerin çarpım şeklinde olmasıdır. Buradan hareketle aşağıda verilen tanımların ve teoremlerin özel bazı durumları temsil ettiği söylenebilir.

**Tanım 3.2**  $Z = O_1 + O_2e_8 \in \mathbb{S}$  sedeniyonu verilsin. Bu durumda  $L_Z: \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}$ ,  $L_Z(X) = ZX$  (sol çarpım) dönüşümüne oktoniyon katsayılı sedeniyon üzerinde sol dönüşüm adı verilir.

**Teorem 3.1** Oktoniyon katsayılı sedeniyonlar özel sağ ve özel sol olmak üzere iki farklı 2x2 tipinde matris ile temsil edilebilirler.

**İspat:** Oktoniyon katsayılı sedeniyonların çarpım özelliği kullanılırsa,

$$\begin{aligned} R_Z(1) &= 1 \cdot Z = (1 + 0e_8) \cdot (O_1 + O_2e_8) = O_1 + O_2e_8 \\ R_Z(e_8) &= e_8 \cdot Z = (0 + 1e_8) \cdot (O_1 + O_2e_8) = -O_2 + O_1e_8 \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned} L_Z(1) &= Z \cdot 1 = (O_1 + O_2e_8) \cdot (1 + 0e_8) = O_1 + O_2e_8 \\ L_Z(e_8) &= Z \cdot e_8 = (O_1 + O_2e_8) \cdot (0 + 1e_8) = -O_2 + O_1e_8 \end{aligned}$$

elde edilir. Bu durumda oktoniyon katsayılı sedeniyonların özel sağ ve özel sol matris gösterimlerin kümesi, sırasıyla,

$$[S_{\mathbb{O}}]_{2 \times 2}^R = \left\{ Z_R = \begin{bmatrix} O_1 & O_2 \\ -O_2 & O_1 \end{bmatrix} : O_1, O_2 \in \mathbb{O} \right\}$$

ve

$$[S_{\mathbb{O}}]_{2 \times 2}^L = \left\{ Z_L = \begin{bmatrix} O_1 & O_2 \\ -O_2 & O_1 \end{bmatrix} : O_1, O_2 \in \mathbb{O} \right\}$$

şeklindedir.

### 3.2 III- Katsayılı Sedeniyonların Matris Gösterimleri

**Tanım 3.3**  $Z = Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12} \in \mathbb{S}$  sedeniyonu verilsin. Bu durumda  $R_Z: \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}$ ,  $R_Z(X) = XZ$  (sağ çarpım) dönüşümüne kuaterniyon katsayılı sedeniyon üzerinde sağ dönüşüm adı verilir.

**Tanım 3.4**  $Z = Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12} \in \mathbb{S}$  sedeniyonu verilsin. Bu durumda  $L_Z: \mathbb{S} \rightarrow \mathbb{S}$ ,  $L_Z(X) = ZX$  (sol çarpım) dönüşümüne kuaterniyon katsayılı sedeniyon üzerinde sol dönüşüm adı verilir.

**Teorem 3.2** Kuaterniyon katsayılı sedeniyonlar özel sağ ve özel sol olmak üzere iki farklı 4x4 tipinde matris ile temsil edilebilirler.

**İspat:** Kuaterniyon katsayılı sedeniyonların çarpım özelliği ve Teorem 2.1 özellik 7) kullanılırsa,

$$R_Z(1) = 1 \cdot (Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}) = Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}$$

$$R_Z(e_4) = e_4 \cdot (Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}) = e_4Q_1 + e_4(Q_2e_4) + e_4(Q_3e_8) + e_4(Q_4e_{12})$$

$$\begin{aligned}
 &= \overline{Q_1}e_4 + e_4(e_4\overline{Q_2}) + e_4(e_8\overline{Q_3}) + e_4(e_{12}\overline{Q_4}) = \overline{Q_1}e_4 - \overline{Q_2} + e_{12}\overline{Q_3} - e_8\overline{Q_4} \\
 &= -\overline{Q_2} + \overline{Q_1}e_4 - \overline{Q_4}e_8 + \overline{Q_3}e_{12} = -\overline{Q_2} + \overline{Q_1}e_4 - Q_4e_8 + \overline{Q_3}e_{12}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_Z(e_8) &= e_8 \cdot (Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}) = e_8Q_1 + e_8(Q_2e_4) + e_8(Q_3e_8) + e_8(Q_4e_{12}) \\
 &= \overline{Q_1}e_8 + e_8(e_4\overline{Q_2}) + e_8(e_8\overline{Q_3}) + e_8(e_{12}\overline{Q_4}) = \overline{Q_1}e_8 - e_{12}\overline{Q_2} - \overline{Q_3} + e_4\overline{Q_4} \\
 &= -\overline{Q_3} + \overline{Q_1}e_8 + \overline{Q_4}e_4 - \overline{Q_2}e_{12} = -\overline{Q_3} + Q_4e_4 + \overline{Q_1}e_8 - Q_2e_{12}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_Z(e_{12}) &= e_{12} \cdot (Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}) = e_{12}Q_1 + e_{12}(Q_2e_4) + e_{12}(Q_3e_8) + e_{12}(Q_4e_{12}) \\
 &= \overline{Q_1}e_{12} + e_{12}(e_4\overline{Q_2}) + e_{12}(e_8\overline{Q_3}) + e_{12}(e_{12}\overline{Q_4}) = \overline{Q_1}e_{12} + e_8\overline{Q_2} - e_4\overline{Q_3} - \overline{Q_4} \\
 &= -\overline{Q_4} + \overline{Q_1}e_{12} - \overline{Q_3}e_4 + \overline{Q_2}e_8 = -\overline{Q_4} - Q_3e_4 + Q_2e_8 + \overline{Q_1}e_{12}
 \end{aligned}$$

ve

$$L_Z(1) = (Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}) \cdot 1 = Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}$$

$$\begin{aligned}
 L_Z(e_4) &= (Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}) \cdot e_4 = Q_1e_4 + (Q_2e_4)e_4 + (Q_3e_8)e_4 + (Q_4e_{12})e_4 \\
 &= -Q_2 + Q_1e_4 + Q_4e_8 - Q_3e_{12}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_Z(e_8) &= (Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}) \cdot e_8 = Q_1e_8 + (Q_2e_4)e_8 + (Q_3e_8)e_8 + (Q_4e_{12})e_8 \\
 &= -Q_3 - Q_4e_4 + Q_1e_8 + Q_2e_{12}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_Z(e_{12}) &= (Q_1 + Q_2e_4 + Q_3e_8 + Q_4e_{12}) \cdot e_{12} = Q_1e_{12} + (Q_2e_4)e_{12} + (Q_3e_8)e_{12} + (Q_4e_{12})e_{12} \\
 &= -Q_4 + Q_3e_4 + Q_2e_8 + Q_1e_{12}
 \end{aligned}$$

elde edilir. Bu durumda kuaterniyon katsayılı sedeniyonların özel sağ ve özel sol matris gösterimlerin kümesi, sırasıyla,

$$[S_{\mathbb{H}}]_{4 \times 4}^R = \left\{ Z_R = \begin{bmatrix} Q_1 & Q_2 & Q_3 & Q_4 \\ -\overline{Q_2} & \overline{Q_1} & -Q_4 & \overline{Q_3} \\ -\overline{Q_3} & Q_4 & \overline{Q_1} & -Q_2 \\ -\overline{Q_4} & -Q_3 & Q_2 & \overline{Q_1} \end{bmatrix} : Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 \in \mathbb{H} \right\}$$

ve

$$[S_{\mathbb{H}}]_{4 \times 4}^L = \left\{ Z_L = \begin{bmatrix} Q_1 & Q_2 & Q_3 & Q_4 \\ -Q_2 & Q_1 & Q_4 & -Q_3 \\ -Q_3 & -Q_4 & Q_1 & Q_2 \\ -Q_4 & Q_3 & Q_2 & Q_1 \end{bmatrix} : Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 \in \mathbb{H} \right\}$$

şeklindedir.

**Not 3.1** Sedeniyonların kompleks katsayılı

$$Z = z_1 + z_2e_2 + z_3e_4 + z_4e_6 + z_5e_8 + z_6e_{10} + z_7e_{12} + z_8e_{14}$$

gösterimleri için de benzer şekilde sağ ve sol matris gösterim kümesi bulunabilir.

**4. Sonuç ve Öneriler**

Bu makalede sedeniyonların kompleks, kuaterniyon ve oktoniyon katsayılı gösterimleri kullanılarak farklı tipten eşlenikleri tanımlanmıştır. Daha sonra bu eşlenikler yardımıyla önerme ve teorem yardımıyla sedeniyonlar için bazı önemli özellikler elde edilmiştir. Son olarak, sedeniyonlar için bazı özel matris gösterimleri elde edilerek bundan sonra yapılabilecek çalışmalar bir temel oluşturulmuştur.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Kim J. E., Ha S.J., Shon K.H. 2014. Properties of hyperholomorphic functions on dual sedenion numbers. *Honam Mathematical Journal*, 36 (4): 921-932.
- [2] Imaeda K., Imaeda M. 2000. Sedenions: algebra and analysis. *Applied Mathematics and Computation*, 115: 77-88.
- [3] Carmody K. 1997. Circular and hyperbolic quaternions, octonions, and sedenions further results. *Applied Mathematics and Computation*, 84 (1): 27-47.
- [4] Messelmi F. 2015. Dual-complex numbers and their holomorphic functions. <https://hal.archives-ouvertes.fr> (Erişim Tarihi: 20.01.2021).
- [5] Carmody K. 1988. Circular and hyperbolic quaternions, octonions, and sedenions. *Applied Mathematics and Computation*, 28 (1):47-72.
- [6] Taşyurdu Y., Akpınar A. 2020. Perrin octonions and Perrin sedenions. *Konuralp Journal of Mathematics*, 8 (2): 384-390.
- [7] Soykan Y., Okumuş İ., Taşdemir E. 2020. On generalized tribonacci sedenions. *Sarajevo Journal of Mathematics*, 16 (1): 103-122.
- [8] Catarino P. (2019). k-Pell, k-Pell–Lucas and modified k-Pell sedenions. *Asian-European Journal of Mathematics*, 12 (2):1950018.
- [9] Bilgici G., Tokeser Ü., Ünal Z. 2017. Fibonacci and Lucas Sedenions. *Journal of Integer Sequences*, 20 (1): 17-18.
- [10] Degtereva M. P. On some properties of sedenions. *Doklady Akademii Nauk*, 67:965-967.
- [11] Sorgsepp L., Lohmus J. 1981. Binary and ternary sedenions. *Hadronic Journal*, 4 (2), 327-353.
- [12] Müller H.E. Hypercomplex numbers and their matrix representations. <https://herbert-mueller.info> (Erişim Tarihi: 15.11.2020).
- [13] Okubo S. 1995. *Introduction to Octonion and Other Non-associative Algebras in Physics*, Cambridge University Press, Cambridge.
- [14] Baez J. 2002. The octonions, *Bulletin of American Mathematical Society*, 39 (2): 145-205.
- [15] Tanışlı M., Kansu, M.E. 2011. Octonionic Maxwell's equations for bi-isotropic media. *Journal of Mathematical Physics*, 52: (5), 053511.
- [16] Cawagas R.E., Carrascal A.S., Bautista L.A., Maria J., Urrutia J.D., Nobles B.G. 2009. The Subalgebra Structure of the Cayley-Dickson Algebra of Dimension 32 (trigintaduonion) <https://arxiv.org/abs/0907.2047> (Erişim Tarihi: 20.01.2021).

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Bitlis İlinde Farklı Yakıtlar ve Duvar Bileşenleri İçin Optimum Yalıtım Kalınlığı ve Enerji Tasarrufunun Analizi

Bahadır Erman YÜCE<sup>1,2\*</sup>, Mahmut Caner ACAR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye

<sup>2</sup>Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering, International Centre for Indoor Environment and Energy, Denmark

<sup>3</sup>Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye  
(ORCID: [0000-0002-2432-964X](https://orcid.org/0000-0002-2432-964X)) (ORCID: [0000-0002-6206-5374](https://orcid.org/0000-0002-6206-5374))

### Öz

Küresel olarak enerji talebi sürekli olarak artmaktadır ve bu durum hane başına olan enerji tüketimini arttırmaktadır. Bu çalışmada Bitlis ilinde optimum yalıtım kalınlığı değeri ve bu değere bağlı olarak hesaplanan enerji tasarrufu, yıllık enerji kazancı ve geri ödeme süresi kullanılan farklı yakıtlar, farklı yalıtım malzemeleri ve farklı duvar bileşenleri için incelenmiştir. Bitlis, Türkiye'nin en ağır kış şartlarını yaşayan illerinden biri olması sebebiyle elde edilen sonuçlar önem arz etmektedir. Çalışmada, yakıt için kömür ve doğalgaz, yalıtım malzemesi için taş yünü, cam yünü, EPS ve XPS ve duvar bileşeni için ise yatay delikli tuğla ve Bitlis pomzasından elde edilmiş bims kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar duvar malzemesi olarak yatay delikli tuğla yerine bims kullanımı ile optimum yalıtım kalınlığında kayda değer bir azalmanın olduğunu göstermiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre optimum yalıtım kalınlığının 0,027-0,096 m aralığında, enerji tasarrufunun 34,636-69,525 TL/m<sup>2</sup> aralığında, yıllık enerji kazancının %26,626-%62,69 aralığında ve geri ödeme süresinin ise 1,595-3,756 yıl değerleri aralığında değiştiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Optimum yalıtım kalınlığı, Bitlis pomzası, Enerji tasarrufu.

## Analysis of Optimum Insulation Thickness and Energy Saving for Different Fuels and Wall Components in Bitlis Province

### Abstract

Globally, the demand for energy is constantly increasing, and as a result, it increases energy consumption per household. In the present study, the value of optimum insulation thickness and the energy savings calculated based on this value, payback period and annual energy gain were examined in terms of various fuels, insulation materials and wall components in Bitlis province. Bitlis is one of the provinces with the harshest winter conditions in Turkey so the results obtained are important. In the study, natural gas and coal were chosen for fuel, EPS, XPS, rock wool and glass wool were chosen for insulation material and horizontally perforated brick and pumice block obtained from Bitlis pumice mines were chosen for wall components. Results showed that when using pumice block obtained from Bitlis pumice, the optimum insulation thickness for all cases is lower than the use of bed-hole bricks. According to the results, there was a significant decrease in the optimum insulation thickness with the use of pumice instead of horizontal perforated brick as wall material. Results also show that the optimum insulation thicknesses differ between 0,027-0,096 m, energy savings between 34,636-69,525 TL/m<sup>2</sup>, annual energy gain between 26,626% -62,69%, and the payback period between 1,595-3,756 years.

**Keywords:** Optimum insulation thickness, Bitlis pumice, Energy saving.

### 1. Giriş

Enerjinin verimli kullanılması günümüzde ülkelerin enerji politikaları için en önemli unsurlarından biri haline gelmiştir. Birleşmiş Milletler çevre programı verilerine göre binalar küresel enerjinin % 40'ını

\*Sorumlu yazar: [beyuce@beu.edu.tr](mailto:beyuce@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 30.06.2021, Kabul Tarihi: 27.09.2021

kullanılmaktadır [1]. Binalarda enerji tüketimi en yüksek uygulamalardan biri ise ısıtma ve soğutma sistemleridir. Bu sistemlerin en verimli şekilde kullanılabilmesi için binaların ısıl olarak iyi bir şekilde yalıtılması gerekmektedir. İyi yalıtılmış binalar hem dolaylı hem de doğrudan çevre kirliliğini azaltır ve ülke ekonomisine olumlu katkı sağlar. Yalıtım ısıl konfor sıcaklıklarına ulaşılmasının daha az maliyetli hale gelmesini sağlar. Bu durum iyi yalıtılmış binalarda çalışan üretkenliğinin de artacağını göstermektedir.

Yalıtımlı binalarda, yapı elemanları ile dış ortam arasındaki ısı transferi azalır. Bu durum soğuk havalarda iç ortamdan dış ortama olan ısı kaybını azaltırken sıcak havalarda ise dış ortamdan iç ortama ısı geçişini azaltır.

İzolasyon malzemesinin kalınlığının artırılması ısı transferini azaltır fakat bu durum aynı zamanda izolasyon maliyetini de artırır. Bu nedenle "optimum" değere ulaşmak çok önemlidir. Optimum yalıtım kalınlığı, yalıtım ve kaybedilen ısı maliyetleri toplamının minimum olduğu kalınlık değeridir.

Optimum yalıtım kalınlığı ile ilgili akademik literatürde yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Gölcü ve ark. yaptıkları çalışmada Denizli ili için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu ve geri ödeme süresi değerlerini ithal fuel oil ve kömür için hesaplamışlardır [2]. Dış cephe yalıtım malzemesi olarak taş yünü, yakıt olarak ise ithal kömür kullandıklarında, yıllık tasarrufu %42, optimum yalıtım kalınlığını 0,048 m, ve geri ödeme süresini ise 2,4 yıl olarak bulduklarını ifade etmişlerdir. Özel yaptığı çalışmada optimum yalıtım kalınlığını dinamik şartlar altında hesaplamıştır [3]. İmplicit sonlu farklar metodunu kullanarak yıllık ısıtma yükünü kararlı periyodik şartlar kullanarak hesaplamıştır. Çalışmasında yakıt olarak, doğal gaz, fuel-oil ve ithal kömür ve yalıtım malzemesi olarak XPS kullanılmıştır. Elazığ ili için optimum yalıtım kalınlığı 0,040 m olarak doğal gaz yakıtı kullanıldığı durumda elde edilmiştir. Kaynaklı, yaptığı çalışmada, optimum yalıtım kalınlığının hesaplanmasında kullanılan parametrelerin etkilerini incelemiştir [4]. Isıtma ve soğutma yüklerinin, binanın ömrünün, enflasyon oranının, enerji maliyetlerinin ve yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı değerinin artması ile optimum yalıtım kalınlığının da arttığını ifade etmiştir. Faiz oranı, yalıtım malzemesinin maliyeti, toplam duvar ısıl direnci ve performans katsayısı (COP) değerlerinin artması ile ise azaldığını göstermiştir. Işık ve Tuğan, optimum yalıtım kalınlığını Kars, Hakkari ve Tunceli illeri için araştırmışlardır [5]. Çalışmalarında, yalıtım malzemesinin ısıl iletkenlik katsayısı, duvar kalınlığı, derece-gün sayısı ve yakıt tipine göre maliyet eğrilerini oluşturmuş ve geri ödeme sürelerini hesaplamışlardır. Hakkari için 8,2 cm, Tunceli ili için 7,9 cm ve Kars için optimum yalıtım kalınlığı 10,4 cm olarak hesaplandığını ifade etmişlerdir. Özel ve Tunç, ise yaptıkları çalışmada Kars ili için optimum yalıtım kalınlığını ışınım özelliklerini de dikkate alarak bina dış duvarları için hesaplamışlardır [6]. Kars ili için, 3897 ve 4867 DG değerlerine göre optimum yalıtım kalınlıklarının sırasıyla 8 ve 9 cm olarak elde edildiğini belirtmişlerdir. Uçar ve Dumrul ise yaptıkları çalışmada dış taraftan yalıtımlı duvar ve sandviç duvar için hesaplama yapmışlardır [7]. Yakıt için kömür ve doğalgaz kullanmışlardır. Sıkıştırılmış polistiren (XPS) ve genleştirilmiş polistiren (EPS) ise yalıtım malzemesi olarak yaptıkları çalışmada kullanılmıştır. Çalışmalarının sonucunda hem soğutma ve hem de ısıtma durumu için enerji tasarrufları 24,79 TL/m<sup>2</sup> ile 60,45 TL/m<sup>2</sup> arasında, geri ödeme süreleri 2,5714 ve 4,2062 yıl arasında ve optimum yalıtım kalınlıklarının ise 0,0549 m ile 0,0836 m arasında değiştiğini ifade etmişlerdir. Bademlioğlu ve ark. İse Bitlis için optimum yalıtım kalınlığını yoğunlaşma durumunu dikkate alarak şubat ayı için hesaplamışlar ve yalıtım kalınlığının en az 0,104 m olması gerektiğini ifade etmişlerdir [8]. Canbolat ve ark. yaptıkları çalışmada [9] optimum yalıtım kalınlığına etki eden parametrelerin etki oranlarını incelemiş ve en etkili parametrenin %27,33 ile ısıtma gün sayısı olduğunu, en az etkili parametrenin ise %3,21 ile ısıtma sisteminin verimi olduğunu belirtmişlerdir. Canbolat ve ark. [10] yaptıkları bir başka çalışmada ise İstanbul ili için optimum yalıtım kalınlığını güneş radyasyonunu da dikkate alarak 0,047 m olarak hesaplamışlardır. Kürekçi [11] ise Türkiye’de bulunan 81 ilin farklı yakıtlar ve ısıtma senaryoları için tasarruf miktarını, optimum yalıtım kalınlığını ve geri ödeme süresini hesaplamıştır. Huang ve ark. ise [12] yalıtım malzemesi olarak aerogel kullanmıştır. Aerogeli yaygın kullanılan diğer yalıtım malzemeleri ile kıyasladıklarında 0,0037 m ile en düşük optimum yalıtım değerine sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada ise diğer çalışmalardan farklı olarak güncel ekonomik verilerle Bitlis ili özelinde yalıtım malzemesi olarak taş yünü, cam yünü, EPS ve XPS, yakıt olarak kömür ve doğalgaz, yapı

elemanı olarak yatay delikli tuğla ve Bitlis pomzasından elde edilmiş bims kullanımını durumunda enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı değerleri hesaplanmıştır.

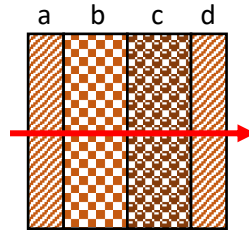
## 2. Materyal ve Metot

Binalarda meydana gelen ısı kayıpları en fazla bina dış cephe duvarlarında meydana gelmektedir. Binalardaki dış cephe duvarlarında kullanılan duvar modellerinden biri Şekil 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Yalıtım malzemelerinin ve duvar bileşenlerinin özellikleri. [7] [13]

	Kalınlık (m)	Isı iletim katsayısı k (W/mK )	Isıl direnç R (m <sup>2</sup> K/W)
İç sıva	0,02	0,87	0,0229
Yatay Delikli Tuğla	0,13	0,45	0,2888
Bims (Bitlis Pomzası)	0,1	0,18	0,5555
Dış sıva	0,02	1,4	0,0142
R <sub>i</sub>	-	-	0,1667
R <sub>o</sub>	-	-	0,0454
Taş yünü	-	0,04	-
XPS	-	0,032	-
EPS	-	0,033	-
Cam yünü	-	0,045	-
<b>Toplam (Tuğla için)</b>			0,53
<b>Toplam (Bims için)</b>			0,80

Duvar bileşenlerinin özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Bitlis pomzasının ısıl özellikleri için TSE 1745 ve literatürden [4] faydalanılmıştır.



**Şekil 1.** Duvar modeli bileşenleri a) iç sıva, b) yatay delikli tuğla, c) yalıtım levhası, d) dış sıva

Dış duvarlardan ısı kaybını etkileyen temel faktörler duvarın toplam ısıl direnci ve ısı iletim özelliğidir. Duvar ısı iletim direncinin artması ve ısı iletim katsayısının azalması dış duvardan dış ortama geçecek ısıyı azaltmaktadır. Bina dış duvarından olan ısı kaybı aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir:

$$q = U \cdot \Delta T \quad (1)$$

Eşitlik 1’de ifade edilen U toplam ısı transfer katsayısıdır ve aşağıdaki Eşitlik ile hesaplanır:



$$U = \frac{1}{R_{iç} + R_{duvar} + R_{yalıtım} + R_{dış}} \quad (2)$$

Eşitlik 2’de gösterilen  $R_{iç}$  ve  $R_{dış}$  sırası ile iç ve dış yüzeylerin ısı dirençleridir.  $R_{duvar}$  ise yalıtımsız duvar tabakasının ısı direncini ifade etmektedir. Yalıtım malzemesinin ısı direnci de  $R_{yalıtım}$  ile gösterilmiştir ve Eşitlik 3 ile ifade edilir:

$$R_{yalıtım} = \frac{x}{k} \quad (3)$$

Burada  $k$  ve  $x$  sırası ile ısı iletim katsayısı ve yalıtım malzemesinin kalınlığıdır. Yalıtımsız duvarın toplam ısı direnci ise  $R_{duvar,t}$  ile ifade edilir ve bu çalışmada  $0,84 \text{ m}^2\text{K/W}$  olarak kabul edilmiştir.  $R_{duvar,t}$  Eşitlik 4’te gösterilmiştir.

$$R_{duvar,t} = R_{iç} + R_{duvar} + R_{dış} \quad (4)$$

Toplam ısı transfer katsayısı ise yukarıda elde edilen ısı direnç ifadeleri cinsinden aşağıda gösterilmiştir:

$$U = \frac{1}{R_{duvar,t} + R_{yalıtım}} \quad (5)$$

Birim yüzeyde meydana gelen yıllık ısı kaybı Eşitlik 6’da gösterilmiştir:

$$q = 86400 \cdot DG \cdot U \quad (6)$$

Burada ifade edilen  $DG$  değeri Isıtma Derece Gün sayısını (Heating Degree Day-HDD) ifade etmektedir. Bu çalışmada Bitlis için  $DG$  değeri 3545’tir. Eşitlik 7’de yıllık enerji ihtiyacı hesabı gösterilmiştir:

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot U}{\eta} \quad (7)$$

Bu eşitlikteki  $\eta$  ifadesi yanma verimidir. Yukarıdaki eşitlikte toplam ısı direnç ifadesi açılırsa,

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{duvar,t} + R_{yalıtım}) \cdot \eta} \quad (8)$$

ve Eşitlik 3 aşağıdaki gibi eşitliğe eklenirse:

$$E_A = \frac{86400 \cdot DG}{(R_{duvar,t} + \frac{x}{k}) \cdot \eta} \quad (9)$$

Eşitliği elde edilir. Isıtma için gerekli enerji ihtiyacı belirlendikten sonra yakıt tüketimi bulunabilir. Enerji ihtiyacına karşılık gelen yakıt tüketimi Eşitlik 10 ile bulunabilir:

$$m_{fA} = \frac{86400 \cdot DG}{\left(R_{duvar,t} + \frac{x}{k}\right) \cdot H_u \cdot \eta} \quad (10)$$

Yukarıdaki eşitlikte yer alan  $H_u$  ifadesi kullanılan yakıtın alt ısı değerini ifade eder. Bu çalışmada yakıt olarak doğalgaz ve kömür kullanılmıştır. Kullanılan yakıtların özellikleri Tablo 2’de ifade edilmiştir.

**Tablo 2.** Kullanılan yakıtlar ve özellikleri

Yakıt	Alt ısı Değer ( $H_u$ )	Yakıt birim fiyatı ( $C_f$ )	Yakma sistemi verimi $\eta$
Kömür	29380000 J/kg	0,68	0,65
Doğalgaz	34541000 J/m <sup>3</sup>	1,515	0,93

Enerji maliyetinin birim alan başına gösterimi ise Eşitlik 11’de gösterilmiştir:

$$C_A = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f}{\left(R_{duvar,t} + \frac{x}{k}\right) \cdot H_u \cdot \eta} = m_{fA} \cdot C_f \quad (11)$$

Yukarıda ifadede geçen  $C_f$  terimi yakıtın birim fiyatıdır. Tablo 2’de tüm yakıtların birim fiyatları gösterilmiştir. Yıllık enerji maliyeti aynı zamanda optimum yalıtım kalınlığını hesaplamak için gereklidir.

$$PWF = \frac{(1+r)^N - 1}{r \cdot (1+r)^N} = m_{fA} \cdot C_f \quad (12)$$

Eşitlik 11 ve 12’de şimdiki değer faktörü (present worth factor – PWF) gösterilmiştir [14]. N yıllık bir ömür boyunca toplam ısıtma maliyeti, PWF kullanılarak güncel para değeri cinsinden hesaplanabilir. Eşitlik 11’de geçen  $r$  terimi bu çalışma için enflasyon oranını  $g$  ve faiz oranı  $i$  ile Eşitlik 13’de gösterildiği gibi hesaplanır:

$$r = \frac{i - g}{1 + g} \quad (13)$$

Eğer;  $i > g$  ise  $r = (i - g)/(1 + g)$ ,  $i < g$  ise  $r = (g - i)/(1 + i)$  olarak hesaplanır. Bu çalışmada  $i=0,17$ ,  $g=0,16$  olarak kabul edilerek hesaplamalar yapılmıştır. Bina yalıtım maliyeti TL/m<sup>2</sup> cinsinden aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{yalıtım} = C_i \cdot x \quad (14)$$

Eşitlik 14’te yer alan  $C_i$  ifadesi TL/m<sup>3</sup> cinsinden yalıtım malzemesinin fiyatıdır. Çalışmada yalıtım malzemelerinin  $C_i$  değerleri taş yünü için 680,903 TL/m<sup>3</sup>, XPS için 1190,276 TL/m<sup>3</sup>, cam yünü için 458,333 TL/m<sup>3</sup> ve EPS için ise 1038,2 TL/m<sup>3</sup>’dür.

Yalıtım yapılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti; şimdiki değer faktörü ve yalıtım maliyeti de dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_{t,yalitim} = C_A \cdot PWF + C_i \cdot x \quad (15)$$

Eşitlik 11 ve Eşitlik 14, Eşitlik 15'te yerine yazılırsa yalıtım yapılmış bir binanın toplam ısıtma maliyeti Eşitlik 16'da ifade edildiği gibi hesaplanabilir:

$$C_{t,yalitim} = \frac{86400 \cdot DG \cdot C_f \cdot PWF}{\left(R_{duvar,t} + \frac{x}{k}\right) \cdot H_u \cdot \eta} + C_i \cdot x \quad (16)$$

Eşitlik 15'te ifade edilen yalıtım yapılmış bir binanın toplam ısıtma maliyetini en aza indiren yalıtım kalınlığı optimum yalıtım kalınlığıdır.  $C_{t,yalitim}$ 'in  $x$ 'e göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse optimum yalıtım kalınlığı  $x_{opt}$  elde edilir:

$$x_{opt} = 293.94 \left( \frac{DG \cdot C_f \cdot PWF \cdot k}{H_u \cdot C_i \cdot \eta} \right) - k \cdot R_{duvar,t} \quad (17)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

Küresel enerji ihtiyacı artan talebin ve ihtiyaçların sonucu olarak sürekli olarak artmaktadır. Bu sebeple enerjinin verimli kullanılması ve enerji tasarrufu gibi konular önemini arttırmıştır. Bu çalışmada dış cephe duvarı yalıtılmış bir bina için optimum yalıtım kalınlığı, enerji tasarrufu, yıllık enerji kazancı ve geri ödeme süresi farklı yakıt türleri, duvar bileşenleri ve yalıtım malzemeleri için MS Excel yazılımı ile hesaplanmıştır. Ayrıca bina duvarında kullanılan bims için Bitlis pomzasının özellikleri kullanılarak hesaplar yapılmıştır. Taş yünü için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 3'te verilmiştir. Hem bims hem de yatay delikli tuğla için kömür kullanımında yalıtım kalınlığının daha düşük olduğu görülmüştür. Doğalgazın birim fiyatı daha yüksek olduğundan yalıtım yapılması durumunda enerji tasarrufu ve yıllık enerji kazancının beklenildiği üzere daha fazla olduğu görülmüştür. Yatay delikli tuğla kullanımı için geri ödeme süreleri kömür ve doğalgaz için sırasıyla 1,905 ve 1,728 yıl olarak hesaplanmıştır. Yapı elemanı olarak bims kullanılması durumunda ise, pomzanın ısı iletim katsayısının düşük olması sebebiyle yalıtım kalınlığı azalmıştır. Duvar bileşeni malzemesinin ısıl iletkenliğinin düşük olması yalıtım malzemesine olan ihtiyacı azaltmıştır. Geri ödeme süreleri de bu bağlamda kömür için 2,9 yıla, doğalgaz için 2,4 yıla çıkmıştır.

**Tablo 3.** Taş yünü için farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı

Yalıtım malzemesi	Taş yünü							
	Yatay Delikli Tuğla				Bims			
Yakıt tipi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)

<b>Kömür</b>	0,057	101,505	52,506	1,905	0,046	45,393	34,896	2,896
<b>Doğal Gaz</b>	0,068	148,179	57,869	1,728	0,058	71,543	41,523	2,408

XPS için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 4'te verilmiştir. XPS malzemenin ısı iletim direnci daha yüksek olduğundan optimum yalıtım kalınlığı değerleri hem kömür hem de doğalgaz için azalmıştır fakat XPS yalıtım levhalarının fiyatları diğer yalıtım malzemelerine göre yüksek olduğu için enerji tasarrufu ve yıllık enerji kazancı değerleri de azalmıştır. Bunun sonucunda geri ödeme süreleri de değişmiştir. Yatay delikli tuğla için bu değişim oldukça az olsa da bims kullanımında ise artış daha belirgindir. Bims kullanımında geri ödeme süresi kömür için 3,7 yıla doğalgaz için ise yaklaşık 3 yıla çıkmıştır.

**Tablo 4.** XPS için farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı

Yalıtım malzemesi	XPS							
	Yatay Delikli Tuğla				Bims			
Yakıt tipi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)
<b>Kömür</b>	0,036	87,908	45,473	2,199	0,027	34,636	26,626	3,756
<b>Doğalgaz</b>	0,044	131,649	51,413	1,945	0,035	57,853	33,578	2,978

EPS için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Tablo 5'de verilmiştir. Ele alınan EPS ve XPS malzemelerinin ısıl özelliklerinin ve maliyetlerinin birbirine yakın olmaları sebebiyle elde edilen değerler de birbirine yakın çıkmıştır. Bu durum hem farklı yakıtlar için hem de farklı duvar bileşenleri için geçerlidir. EPS kullanımında maliyetin az da olsa düşük olması sebebi ile geri ödeme süreleri daha kısadır.

**Tablo 5.** EPS için farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı

Yalıtım malzemesi	EPS							
	Yatay Delikli Tuğla				Bims			
Yakıt tipi	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)
<b>Kömür</b>	0,04	92,343	47,767	2,094	0,031	38,069	29,265	3,417
<b>Doğalgaz</b>	0,048	137,063	53,528	1,868	0,04	62,266	36,139	2,767

Tablo 6'da cam yünü için elde edilen değerler gösterilmiştir. Cam yünü için elde edilen değerler incelendiğinde en fazla optimum yalıtım kalınlığı değerinin bu malzemede elde edildiği görülmüştür. Yeterli bir yalıtım için daha fazla kalınlık gerektirse de geri ödeme süreleri göz önüne alındığında cam yünü levhaların en düşük geri ödeme süresine sahip olduğu görülmektedir. Bitlis pomzasından elde edilen bimsin duvar bileşeni olarak kullanılması durumunda ise diğer yalıtım elemanlarında olduğu gibi, düşük ısı kaybından dolayı geri ödeme süresi artmıştır.

**Tablo 6.** Cam yünü için farklı yakıt türlerinde enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı

Yalıtım	Cam Yünü
---------	----------

malzemesi	Yatay Delikli Tuğla				Bims			
	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)	Optimum yalıtım kalınlığı (m)	Enerji Tasarrufu (TL/m <sup>2</sup> )	Yıllık enerji kazancı (%)	Geri ödeme süresi (yıl)
<b>Kömür</b>	0,077	111,766	57,814	1,730	0,065	53,924	41,454	2,412
<b>Doğalgaz</b>	0,092	160,525	62,690	1,595	0,08	82,159	47,685	2,097

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Bitlis ili için 2021 ekonomik verilerine göre, dış cephe yalıtımında gerekecek enerji tasarrufu, optimum yalıtım kalınlığı, geri ödeme süresi ve yıllık enerji kazancı değerleri hem kömür ve doğalgaz gibi farklı yakıtların kullanılması durumunda hem de bims (Bitlis Pomzası) ve yatay delikli tuğla gibi farklı yapı elemanlarının kullanılması durumunda hesaplanmıştır. Yakıt olarak kömür kullanıldığında optimum yalıtım kalınlığı doğalgaz kullanımına göre tüm durumlarda azalmıştır. En düşük optimum yalıtım kalınlığı 0,027 m olarak hesaplanmıştır ve bu değer yakıt olarak kömür, yalıtım malzemesi olarak XPS ve duvar bileşeni olarak bims kullanılması durumunda elde edilmiştir. En yüksek optimum yalıtım kalınlığı ise ısı iletim katsayısı en yüksek olan cam yünü malzemenin kullandığı yakıt olarak doğalgaz ve duvar bileşeni olarak ise yatay delikli tuğlanın kullanıldığı durumda hesaplanmıştır. Yine bu durumda en yüksek enerji tasarrufu ve yıllık enerji kazancı değerleri elde edilmiştir ve değerler sırasıyla 160,525 TL/m<sup>2</sup> ve %62,69'dur. Bu senaryoda ödeme süresi de en düşük değerde hesaplanmıştır. En yüksek geri ödeme süresi ise malzeme olarak XPS, yakıt olarak kömür ve duvar bileşeni olarak bims kullanılması durumunda 3,756 yıl olarak elde edilmiştir. Yalıtım kabiliyeti ve birim fiyat özellikleri geri ödeme süresinde etkili olmuştur. Yapı elemanı olarak bims kullanılması durumunda, yalıtım özellikleri duvar bileşeni tarafından da iyileştirilmiş olduğundan, geri ödeme süresi artmıştır. Bitlis ili pomza olarak zengin yeraltı kaynaklarına sahip olduğundan bölgede bims üretimi ve kullanımının artması, ısı kayıplarını azaltacak ve yalıtım maliyetini düşüreceğinden gerek bölgesel gerekse ulusal anlamda ekonomik bir katkı sağlayacaktır.

#### 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] United Nations Environment Programme Sustainable Buildings and Climate Initiative. Sustainable Buildings. 2021. <https://www.unep.org/explore-topics/resource-efficiency/what-we-do/cities/sustainable-buildings>, (Erişim Tarihi: 16.05.2021).
- [2] Gölcü M., Dombaycı Ö. A., Abalı S. 2006. Denizli İçin Optimum Yalıtım Kalınlığının Enerji Tasarrufuna Etkisi ve Sonuçları. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21 (4): 639–644.

- [3] Özel M. 2008. Bina Dış Duvarlarının Optimum Yalıtım Kalınlıkları İçin Dinamik Yaklaşım Ve Maliyet Analizi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(4): 879–884.
- [4] Kaynaklı O. 2011. Parametric Investigation of Optimum Thermal Insulation Thickness for External Walls. *Energies*, 4(6): 913–927.
- [5] Işık E., Tuğan V. 2017. Tunceli, Hakkâri ve Kars illerinin optimum ısı yalıtım kalınlığının hesaplanması. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 3 (2): 50–57.
- [6] Özel M., Tunç D. 2018. Kars ilindeki binalar için ısıtma yükü ve optimum yalıtım kalınlığının belirlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30 (1): 251–257.
- [7] Uçar A., Dumrul M.U. 2019. Bir konutun dış duvarları için ısıtma ve soğutma yüklerine göre optimum yalıtım kalınlığının tespiti ve enerji tasarrufu analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 16: 740–749.
- [8] Bademlioglu A.H., Canbolat A S., Kaynaklı Ö. 2018. Bina dış duvarlarında yoğuşma dikkate alınarak gerekli yalıtım kalınlığının belirlenmesi: Bitlis ili için örnek çalışma. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 23 (3): 333-340.
- [9] Canbolat A.S., Bademlioglu A.H., Saka K., Kaynaklı Ö. 2020. Investigation of parameters affecting the optimum thermal insulation thickness for buildings in hot and cold climates. *Thermal Science, Part A*, 24 (5): 2891-2903
- [10] Canbolat A.S., Bademlioglu A.H., Kaynaklı Ö. 2018. Determination of proper insulation thickness for building walls regarding economic consideration. *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 3 (4): 173-176.
- [11] Kürekçi N.A. 2016. Determination of optimum insulation thickness for building walls by using heating and cooling degree-day values of all Turkey’s provincial centers. *Energy and Buildings*, 118: 197-213.
- [12] Huang H., Zhou Y., Huang R., Wu H., Sun Y., Huang G., Xu T. 2020. Optimum insulation thicknesses and energy conservation of building thermal insulation materials in Chinese zone of humid subtropical climate. *Sustainable Cities and Society*, 52: 101840
- [13] Kayan Y. 2019. Bitlis pomzası ile üretilen bimslerin mekanik özelliklerinin deneysel olarak araştırılması ve geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır. 1-66.
- [14] Riggs J. I. 1982. *Engineering Economics*. McGraw Hill, New York, 1-620.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Aktif Tektonizma Etkisi Altındaki Çaldıran (Van) Yerleşim Alanının Yüzeysel Dalgası Yöntemleriyle İncelenmesi**

Ayhan ALKAN<sup>1</sup>, İsmail AKKAYA<sup>2\*</sup>,

<sup>1</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği ABD, Van  
<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Van  
(ORCID: [0000-0001-9460-6828](https://orcid.org/0000-0001-9460-6828)) (ORCID: [0000-0002-7682-962X](https://orcid.org/0000-0002-7682-962X))

---

### **Öz**

Çaldıran (Van) yerleşim alanı ve çevresi deprem üretme potansiyeli son derece fazla olan aktif bir bölgede yer almaktadır. Sağ yönlü doğrultu atım karakterli Çaldıran fay zonu bölgenin en önemli tektonik unsurlarındandır. Depreme bağlı yapısal hasarların, yerel zemin özelliklerinin ve yapı-zemin ilişkilerinin incelenmesinde kayma dalga hızı (Vs) temel parametrelerden birisidir. Bu çalışmada, aktif ve pasif kaynaklı yüzeysel dalgası yöntemleri uygulanarak elde edilen Vs hızlarından Van ili Çaldıran ilçesi yerleşim alanı ve çevresinin zemin özellikleri araştırılmıştır. Çalışma alanında 66 noktada mikrotremor ölçümü, 56 serimde Yüzeysel Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW), 39 serimde ise hem MASW hem de sismik kırılma ölçümleri yapılmıştır. Çalışma alanının mühendislik özelliklerinin ortaya konması ve deprem-zemin-yapı ilişkilerinin incelenmesi için bölgenin büyütme, periyot ( $t_0$ ), ilk 30 m'deki ortalama Vs hızını temsil eden Vs30, zemin sınıfı ve sismik zayıflık indisi ( $K_g$ ) haritaları hazırlanmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak, farklı doğrultularda iki boyutlu (2B) derinlik kesitleri oluşturulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Çaldıran fay zonu, Mikrotremor, MASW, Vs30, Sismik zayıflık indisi.

---

## **Investigation of Çaldıran (Van) Settlement Area Under the Effect of Active Tectonics by Surface Wave Methods**

### **Abstract**

Çaldıran (Van) settlement area and its surroundings are located in an active region with a high earthquake potential. The right-lateral strike-slip characteristic Çaldıran fault zone is one of the most important tectonic units of the region. Shear wave velocity (Vs) is one of the fundamental parameters in the investigation of earthquake-related structural damages, local soil properties and structure-soil relations. In this study, active and passive sourced surface wave methods were applied at different measurement points in the study area in order to determine soil properties of the settlement area and its surroundings in Çaldıran district of city of Van. Microtremor measurements were performed at 66 points, Multi-Channel Analysis of Surface Waves (MASW) at 56 points, and both MASW and seismic refraction measurements were carried out at 39 points in the study area. In order to investigate the engineering properties of study area and earthquake-soil-structure relations parameters such as the amplification factor, fundamental period ( $t_0$ ), Vs30 value, soil classification and seismic vulnerability index ( $K_g$ ) maps have been prepared. Two-dimensional (2D) depth cross-sections in different directions were created using the data obtained.

**Keywords:** Çaldıran fault zone, MASW, Microtremor, Vs30, Seismic vulnerability index.

---

---

\*Sorumlu yazar: [iakkaya@yyu.edu.tr](mailto:iakkaya@yyu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 30.06.2021, Kabul Tarihi: 25.08.2021

## 1. Giriş

Büyük ve hasar verici deprem olma olasılığı son derece fazla olan Türkiye’de geçmişten günümüze kadar pek çok yıkıcı deprem meydana gelmiş, ağır hasar ve can kayıpları oluşmuştur. Deprem riski yüksek olan bölgelerde yer tepkisi ve zeminin dinamik parametrelerinin belirlenmesi son derece önemlidir. Zeminlerin deprem esnasındaki farklı davranış karakteristiklerine bağlı olarak üzerine kurulu olan yapılara olan etkileri de değişkenlik gösterebilmektedir. Dolayısıyla zemin tabakaların özelliklerini ortaya koymak, depremin oluşturacağı zararın analizinde belirleyici olabilmektedir.

Çaldıran ve çevresi aktif tektonizma ve depremsellik etkisi altındadır. Bölgede hem tarihsel hem de aletsel dönemde birçok yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Çalışma alanında yer alan sağ yönlü doğrultu atımlı fay karakterli Çaldıran Fay zonunda 24 Kasım 1976 tarihinde ( $M_s=7.5$ ,  $M_w=7.1$ ) meydana gelen depremde bölge ve çevresinde yüksek düzeyde hasar oluşmuş, can ve mal kayıpları yaşanmıştır. İlçe çevresinde artan nüfusa bağlı olarak artan yapı sayısı zemin araştırılmalarının da önemi arttırmaktadır [1- 6].

Olası hasar verici depremlerde yerel zemin karakteristiği ve bina tasarım özellikleri hasar oranlarını arttırıcı temel nedenlerdir. Bu nedenle mühendislik yapısının oturacağı zeminin doğru ve güvenilir bir şekilde tanımlanması gerekir. Jeofizik yöntemlerden elde edilen kayma dalga hızı ( $V_s$ ) zeminin deprem sırasındaki davranışını belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden birisidir. Bununla birlikte, depremler sırasında meydana gelen hasara kayma dalga hızı ( $V_s$ ) ve yüzey dalgalarının neden olduğu bilinmektedir. Ayrıca, kayma dalga hızı mühendislik yapılarının deprem esnasındaki farklı davranış biçimlerini ve zarar görme olasılığını tahmin etmede kullanılan temel parametrelerdendir. Bu nedenle ele alınan zeminin hız kesitinin derinliğe göre değişiminin belirlenmesi gerekmektedir. Geleneksel sismik yöntemlerin (kırılma ve yansıma) dışında  $V_s$  dalga hızı belirlemede, aktif ve pasif kaynaklı yüzey dalgası yöntemleri geliştirilmiştir ve günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Dispersiyona uğrayan yüzey dalgaları, tabaka kalınlığına,  $V_p$  ve  $V_s$  dalga hızlarına ve yoğunluk parametrelerine bağlıdır. Yüzey dalgası yöntemleri (MASW, ReMi, SPAC) dispersiyon özelliğinden yararlanarak  $V_s$  dalga hızının belirlenmesini sağlarlar. Teknolojik gelişmelerle birlikte yüksek çözüm gücü ve doğrulukta veri üretilebilen cihazların geliştirilmesi bu yöntemlerin kullanım alanlarında arttırmıştır. Yüzey dalgası yöntemleri kullanılarak geçmişten günümüze pek çok bilimsel araştırma ve çalışma yapılmıştır [3, 7- 17].

Bu çalışma kapsamında hem deprem-zemin-yapı etkileşiminde hem de mühendislik analizlerinde son derece önemli bir girdi parametresi olan  $V_s$  hızının belirlenmesi için yüzey dalgası ölçüm yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma alanında elde edilen verilerle derinlik kesitleri oluşturulmuştur. Alanı tanımlamak açısından farklı doğrultularda oluşturulan profillerle bölgenin yanal ve düşey yönde zemin yapısı ve alandaki en önemli tektonik unsur olan Çaldıran Fayına ilişkin bulgular üretilmiştir. Elde edilen veri setlerinin tamamı çalışma bölgesinin jeolojik ve tektonik unsurları ile birlikte değerlendirilmiştir.

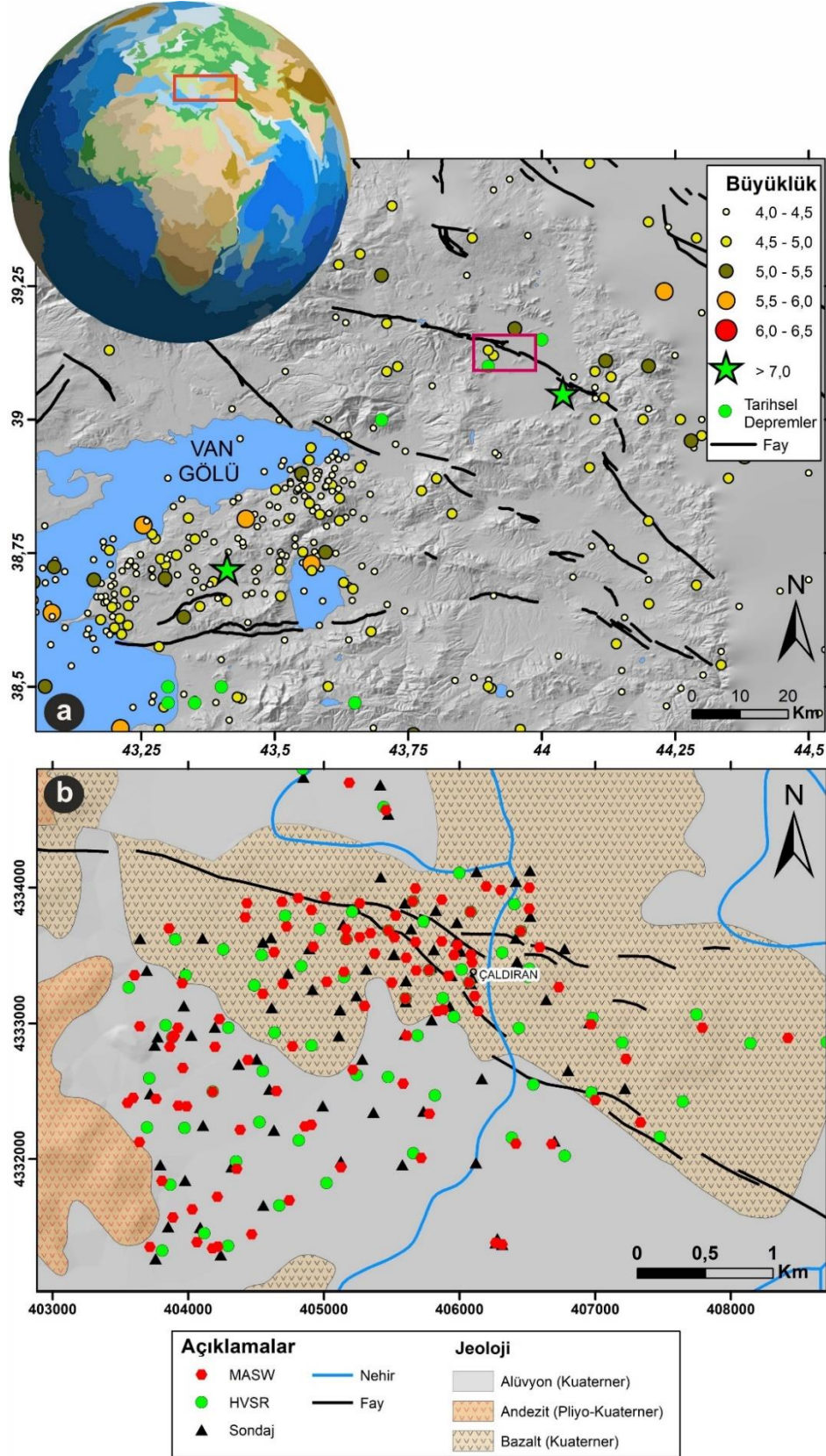
## 2. Çalışma Alanının Jeolojisi ve Depremselliği

Çaldıran yerleşim alanı ve çevresinde genel olarak Pliyo-Kuvaterner yaşlı volkanik birimler ve pekişmemiş sedimanlardan oluşan alüvyon birimler yer almaktadır (Şekil 1b). Bölgede Pliyo-Kuvaterner yaşta, trakit, andezit, trakiandezit ve bazaltlar ile bunlara bağlı olarak gelişmiş tüf ve tüfitler oldukça yaygın olarak yüzeyler [18]. Bölgede Tendürek volkanına ait birimler geniş alanlara yayılmış bazalt lavları, andezit ve tüf yaygın olarak izlenir. Bazaltlar genel olarak siyah renkli, bol gaz boşluklu yer yer cüruf şeklinde, akma dokulu olup, hamuru tamamen plajiyoklaz mikrolitleri ve camdan oluşmuştur [19]. İnceleme alanında bazalt birimler bazı yerlerde alüvyonun altında, bazı yerlerde ise yüzeyden itibaren kendini göstermektedir. Andezitler ise kiremit kırmızısı renğinde faneritik dokulu yer yer kırıklı-çatlaklı şeklinde gözlemlenmiştir. Üst kotlarda bu birimlerin ayrılmış malzemeleri bulunmaktadır. Havza ise pekişmemiş genç alüvyon yelpazesi ve akarsu çökellerinden oluşmaktadır. Alüvyon birimler sarımsı-kahverengimsi siltli kil, siltli killi kum, siltli killi çakıl, kumlu çakıl şeklinde gözlenmektedir [19, 6].

Avrasya ve Arap Levhalarının çarpışması sonucu gelişen kuzey-güney yönlü sıkışma rejimi bölgenin tektonik yapısının gelişmesinde ana unsur olmuştur. Çarpışmaya bağlı olarak yüksek topoğrafik yapılar ve birçok sıkışma havzası oluşmuştur. Kuzey-güney yönlü sıkışma rejimi sonucunda



genel olarak doğu-batı doğrultulu ters faylar, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu sağ yönlü ve kuzeydoğu-güneybatı yönelimli sol yönlü doğrultu atımlı faylar ile kuzey-güney doğrultulu genişleme yapıları tarafından temsil edilen bir tektonik yapı meydana gelmiştir [20- 23].



Şekil 1. Çalışma alanının depremsellik ve jeoloji haritası (Faylar Emre vd. [24]'den, deprem verileri ise Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsünden [25] alınmıştır).

Çalışma alanı ve çevresinde tarihsel ve aletsel dönemde hasar verici büyük deprem üretmiş pek çok aktif fay zonu bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi farklı segmentlere ayrılmış Çaldıran Fay zonudur. Çaldıran Fayı K35°B ile K70°B arasında değişen doğrultularda Türkiye-İran sınırına kadar 60 km boyunca devam eden sağ yanal doğrultu atım karakterindedir [22]. İran sınırları içerisinde yer alan ve Çaldıran Fayının devamı niteliğindeki Salmas ve Kuzey Tebriz fayları bölgeyi etkileyebilecek diğer tektonik yapılarıdır [6]. Çaldıran fayı 1976 yılında, Mw=7.1 büyüklüğünde deprem üretmiş ve bu deprem 3840 kişinin hayatını kaybetmesine ve büyük hasarlara sebep olmuştur. Deprem sonrası yapılan çalışmalarda 50-55 km'lik yüzey kırığı ile 2.75 metrelik yanal atım belirlenmiştir [26, 22]. Çalışma alanı ve çevresini de içeren Van Gölü havzası deprem üretme potansiyeli son derece yüksek bir bölgedir ve farklı büyüklüklerde pek çok deprem meydana gelmiştir (Şekil 1a).

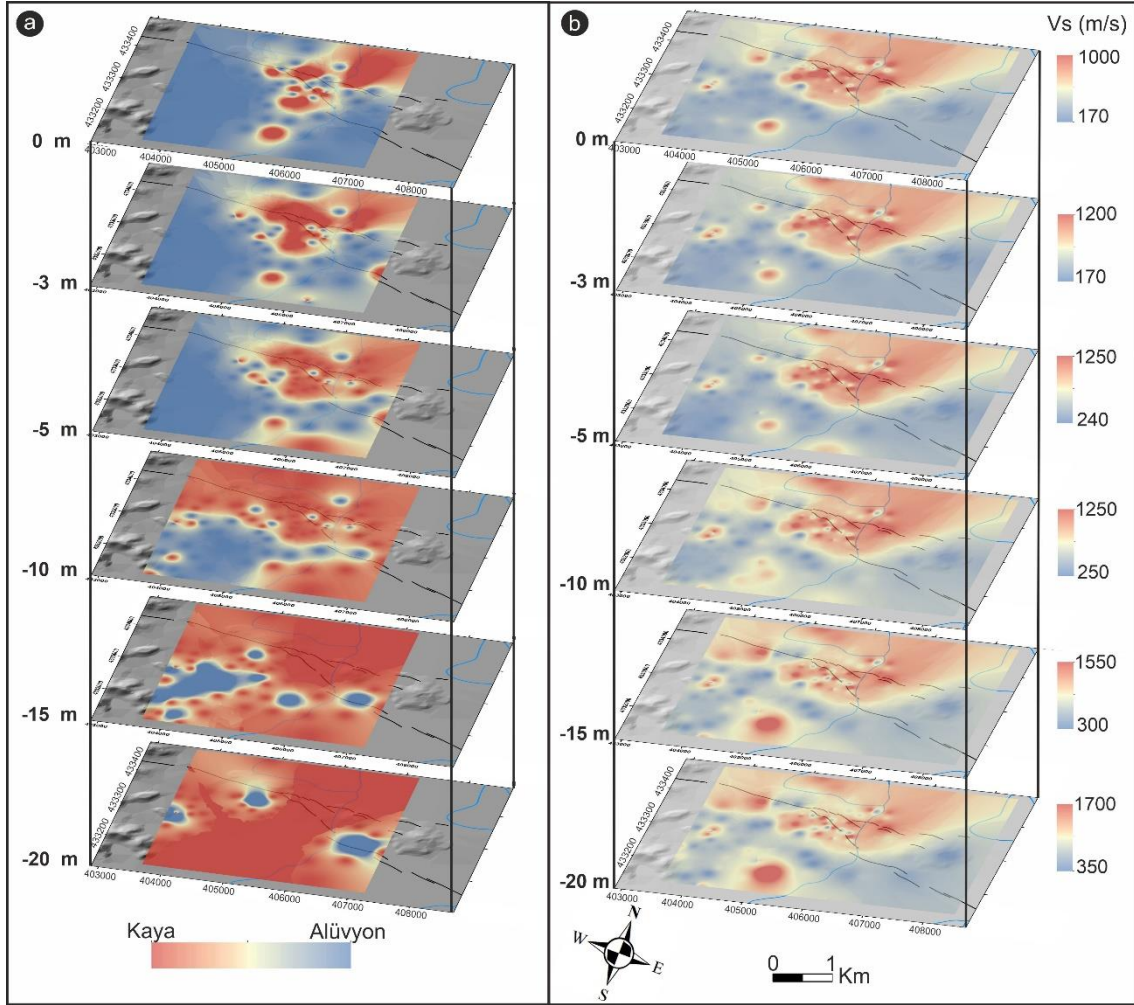
### 3. Arazi İncelemeleri

Çaldıran yerleşim alanı ve çevresinde zemin dinamik özelliklerinin belirlenmesi için 66 mikrotremor ölçümü, 95 sismik kırılma ve MASW (Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi) ölçümü yapılmış, farklı kurum ve özel şirketler tarafından daha önceden yapılmış 80 zemin sondajı verileri de değerlendirilmiştir (Şekil 1b). Zeminlerin düşey doğrultudaki litolojik özelliklerini, mühendislik parametrelerini ve hız kesitlerinin doğruluğunu belirlemek için jeoteknik sondajlar kullanılmıştır. Sondaj verilerinden elde edilen kaya birimlerinin derinlikle değişimi de Şekil 2a'da verilmiştir. İnceleme alanındaki kaya birimler (Andezit, Bazalt) bazı bölgelerde alüvyon örtüsü altında farklı derinliklerde bulunurken, bazı bölgelerde ise yüzeyden itibaren yer almaktadır. Çalışma alanı genelinde yüzeyden 15-20 m sonra kaya birimlerinin yoğun olarak yer aldığı söylenebilir (Şekil 2). Kaya seviyesi değişimlerinde bölgesel jeoloji, çevredeki volkanlardan farklı zamanlarda farklı seviyelerde lav akıntıları ve bölgenin tektonik koşulları etkili olmuştur.

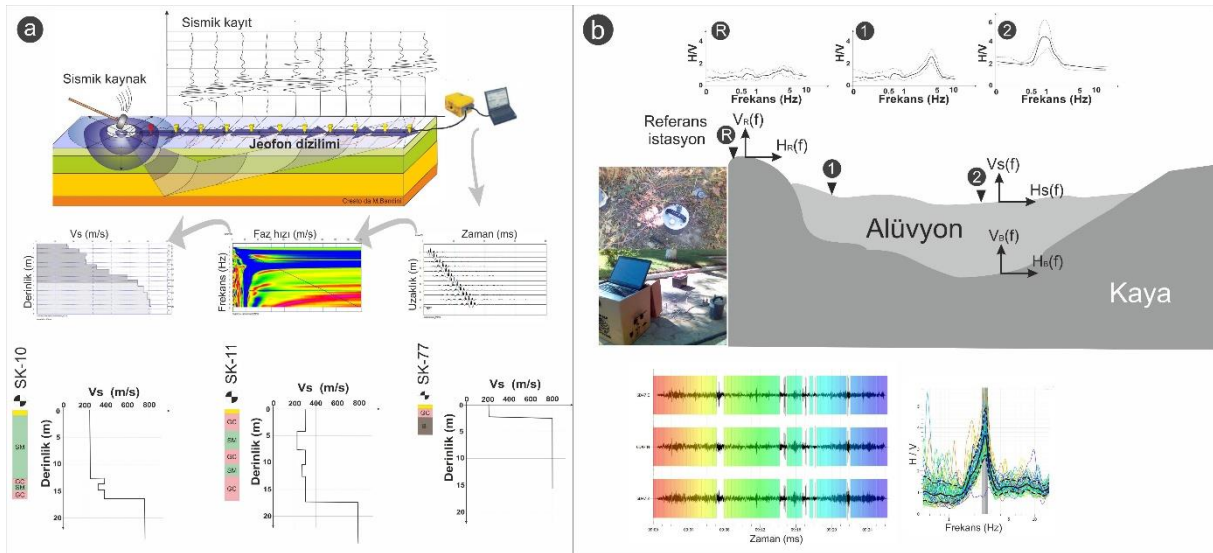
#### 3.1. Mikrotremor Ölçümleri ve Değerlendirmeler

Çalışma alanında bölgenin baskın periyot ve büyütme değerlerinin belirlenmesi amacıyla 66 noktada mikrotremor ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde Güralp CMG-6TD geniş bant hız ölçer sismometre cihazı ve ekipmanları kullanılmıştır. Mikrotremor verilerinin değerlendirilmesinde bölgede hem yatay bileşenlerin düşey bileşene spektral oranı yöntemi (Nakamura, HVSR, tek istasyon mikrotremor) hem de spektral oranlar (referans istasyon) yöntemi kullanılmıştır (Şekil 3b).

Mikrotremor kayıtları, 100 Hz örnekleme aralığı ile 30 dakikalık kayıt süresi boyunca gerçekleştirilmiştir. Veri işleme, ilk aşamada mikrotremor verilerinin trend etkisi giderilmiş, ardından 0.01-20 Hz frekans aralığında bant geçişli Butterworth süzgeci uygulanmıştır. Böylelikle bu frekans aralığının dışındaki veriler kayıttan atılmıştır. 25-30 sn'lik pencereler seçilerek %5 oranda törpüleme (cosinüs taper) uygulanmıştır. Pencere uzunluğu SESAME [15] kriterlerine göre seçilmiştir. Elde edilen pencerelere Fourier dönüşümü uygulanarak her bir bileşene ait genlik spektrumları elde edilmiştir. Sonuç olarak yatay bileşenlerin düşey bileşene oranı hesaplanarak H/V spektral oranları elde edilmiştir. Spektral oran (referans istasyon) yönteminde ise, alüvyal sahalardaki veriler referans istasyonunda elde edilen verilerle oranlanarak HVSR spektrumları ve büyütme değerleri belirlenmiştir (Şekil 3b). Nakamura yöntemine göre büyütme değerlerinin elde edilmesindeki literatür tartışmaları gözetilerek büyütme değerleri için Spektral oran (referans istasyon) yöntemi sonuçları kullanılmıştır. Çevresel gürültü koşullarının veri kalitesine olumsuz etkilerinden dolayı ölçümler gece veya günün erken saatlerinde yapılmıştır. Veri işleme açık kaynaklı Geopsy yazılım paketleri kullanılmıştır [27]. Elde edilen herbir ölçüm noktası için baskın frekans/periyot değeri ve bu değere karşılık gelen genlik (büyütme) değerleri kullanılarak bölge için dağılım haritaları üretilmiştir (Şekil 4a-b).



Şekil 2. Sondaj verilerinden (a) ve Vs hızlarından (b) elde edilen kaya birimlerin derinlikle değişimleri.



Şekil 3. MASW verilerinin değerlendirme aşamaları ve 1-Boyutlu Vs hız modelleri (a), mikrotremor ölçümleri ve H/V spektrumu.

Çalışma alanı için elde edilen baskın periyot değerleri incelendiğinde, HVSR pik periyot değerlerinin 0.1 ile 0.52 saniye arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4a). Çalışma alanının batı ve kuzey kesimlerinde göreceli olarak düşük periyot değerleri (0.1-0.2 s) elde edilmiştir. Bu alanlar



volkanik kaya birimlerin yer aldığı bölgelerdir ve elde edilen sonuçlarla uyumludur. Alanın merkez ve güney kesimlerinde ise göreceli olarak daha yüksek periyot (0.3-0.5 s) değerleri elde edilmiştir (Şekil 4a). Bu bölgelerdeki yüksek pik periyot değerleri, kalın ve zayıf zemin tabakalarının varlığına işaret eder. Çalışma alanındaki periyot değerleri alüvyon kalınlığına bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Bölgede yapılan sondaj verileri de alüvyon birimlerin farklı kalınlıklara sahip olduğunu göstermektedir ve elde edilen periyot sonuçlarıyla uyumludur. HVSR pik periyot değerinin jeolojik birimin sıklığı/sağlamlığı ile ters orantılı olduğu söylenebilir. Bölgesel tektonik yapılar, morfoloji ve jeolojik durum incelendiğinde bu sonuçların bölgedeki jeolojik yapı ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Mikrotremor yönteminin zeminin baskın pik periyot/frekansını tahmin etmede güvenilirliğini kanıtlamış olsa da, büyütme faktörünün belirlenmesi ile ilgili literatürde tartışmalar bulunmaktadır [28, 29]. Bu nedenle çalışma alanında Spektral oran (referans istasyon) yöntemi uygulanarak alüvyon birimlerde alınan ölçümler, kayada ölçülen referans istasyona oranlanarak büyütme değerleri elde edilmiştir. Şekil 4b'de verilen büyütme haritası incelendiğinde yerleşim alanının bulunduğu merkez kesimlerde, alanın güney ve doğu kesimlerinde nispeten yüksek büyütme değerleri (2-2.8) elde edilmiştir. Alanın kuzey ve batı kesimlerinde ise büyütme değerlerinin azaldığı görülmektedir (1.5-2). Zemin büyütmesi alüvyon zeminlerin özellikleri ve ortamın jeolojik koşullarıyla doğrudan ilişkilidir ve bu nedenle jeofizik uygulamalarla belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Elde edilen zemin büyütme ve periyot/frekans değerleri ilgili alanlarda yapılacak yapıların tasarımı, olası depremlerde rezonansa girip girmemelerinin değerlendirilmesi ve yapı-zemin ilişkileri açısından önemli bilgiler içermektedirler.

Yapı-zemin etkileşimi açısından önemli bir diğer parametre ise *Sismik Zayıflık İndisi* ( $K_g$ )'dir. Sismik zayıflık indisi ( $K_g$ ), zemin dinamik özelliklerine bağlı olarak değişen bir parametredir. Bu parametre ile bir alanın kuvvetli yer hareketine karşı dayanıklı veya zayıf kalma durumunun noktasal olarak değerlendirilmesi yapılabilmektedir. Periyot ve büyütme değerleriyle ilişkili olan bu parametre gerek zemin gerekse yapı için hesaplanabilmektedir [30, 8, 4, 5].

$$K_g = \frac{A^2}{f} \quad (1)$$

(1) denklemi sismik zayıflık indisi olarak adlandırılır. Burada,  $f$  zeminin baskın titreşim frekansı,  $A$  ise zemin tabakasının sismik genlik büyütmesidir.

Çalışma alanı için hesaplanan  $K_g$  haritası incelendiğinde, sismik zayıflık indisi değerlerinin 0.1 ile 3.55 arasında değiştiği görülmektedir (Şekil 4c). Alanın kuzey ve batı kesimlerinde göreceli olarak düşük  $K_g$  (0.1-0.2) değerleri elde edilmiştir. Bu alanlar volkanik birimlerin yer aldığı bölgelerdir ve elde edilen sonuçlarla uyumludur. Alanın merkez ve güney kesimlerinde ise göreceli olarak daha yüksek  $K_g$  (2-3.5) değerleri elde edilmiştir (Şekil 4c). Bu bölgeler alüvyon birimlerin bulunduğu kesimlerdir. Çaldıran fayının ana segmentinin olduğu kesimlerde de düşük  $K_g$  değerleri elde edilmiştir. Bu bölge volkanik birimlerin yoğun olduğu kesimdedir. Teorik anlamda faya yaklaştıkça sismik zayıflık indisinin artması beklenir. Ancak çalışma alanının bu kesimlerinin sağlam kaya niteliği elde edilen periyot ve dolayısıyla  $K_g$  indisi değerlerinin de düşük elde edilmesine neden olmuştur. Bu bulgu faya olan uzaklık, zemin türü, fay tipi gibi parametrelerin zayıflık indisi hesaplamalarında göz ardı edilmemesi gerektiğinin bir göstergesidir.

Çalışma alanında yapı yoğunluğunun olduğu merkez bölgelerde sismik zayıflık indisinin yüksek olduğu belirlenmiştir (Şekil 4c). Bölgenin deprem potansiyeli ve 1976 Çaldıran ( $M_s=7.3$ ) depremi gibi büyük deprem üretebilme kapasitesi değerlendirildiğinde olası büyük bir depremde yapıların hasar durumlarının zayıflık indisi ile ilişkili olarak artabileceği ön görülmüştür. Bu kesimlerde özellikle yapı stoğu detaylı olarak değerlendirilmeli ve yapı-zemin-hasar ilişkisi gözetilerek planlamalar yapılmalıdır. Gerek zemin gerekse yapı zayıflık indisi değeri arttıkça hasar görme derecesi de artacaktır. Bunun daha doğru olarak ortaya konulabilmesi için zemin için elde edilen bu sismik zayıflık indisinin yanı sıra yapılar içinde zayıflık indislerinin belirlenmesi gerekmektedir.

### 3.2. MASW Ölçümleri ve Değerlendirilmesi

Vs hızı, zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışının belirlenmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Bu nedenle çalışma alanının hız kesitinin derinlikle değişimini belirlemek son derece önemlidir. Jeolojik birimlerin dinamik yükler altındaki davranışlarını belirlemek için yüksek çözünürlük ve yüksek araştırma derinliği nedeniyle mühendislik çalışmalarında geleneksel sismik yöntemler (kırılma) ve yüzey dalgası yöntemleri kullanılmaktadır. Yerleşim alanlarında düşük sinyal/gürültü oranı, serim uzunluklarının kısıtlı olması, enerji kaynağı kısıtı ve buna bağlı inceleme derinliğindeki sınırlılık gibi nedenlerden dolayı düşük frekanslarda uzun dalga boyları ile seyahat eden yüzey dalgalarının kullanılması avantaj sağlamaktadır. Aynı zamanda, veri toplama ve işleme aşamaları daha hızlı ve kolaydır [10, 31]. Vs hızını belirlemek için aktif kaynaklı (SASW, MASW) ve pasif kaynaklı (ReMi, SPAC, mikrotremor) yüzey dalgası yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerde Vs hızları belirlenirken yüzey dalgalarının dispersiyon özelliğinden yararlanır [10]. Bu çalışmada, aktif kaynaklı yöntem olan Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi Yöntemi (MASW) kullanılarak, Rayleigh dalgası dispersiyon eğrisi elde edilmiştir. Dispersiyon eğrilerinin ters çözümü ile kayma dalgası hızları derinliğe bağlı olarak belirlenmiştir. MASW yöntemi, saha araştırmaları ve mühendislik jeofiziği uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [3, 10, 12, 13, 16, 17, 31-38].

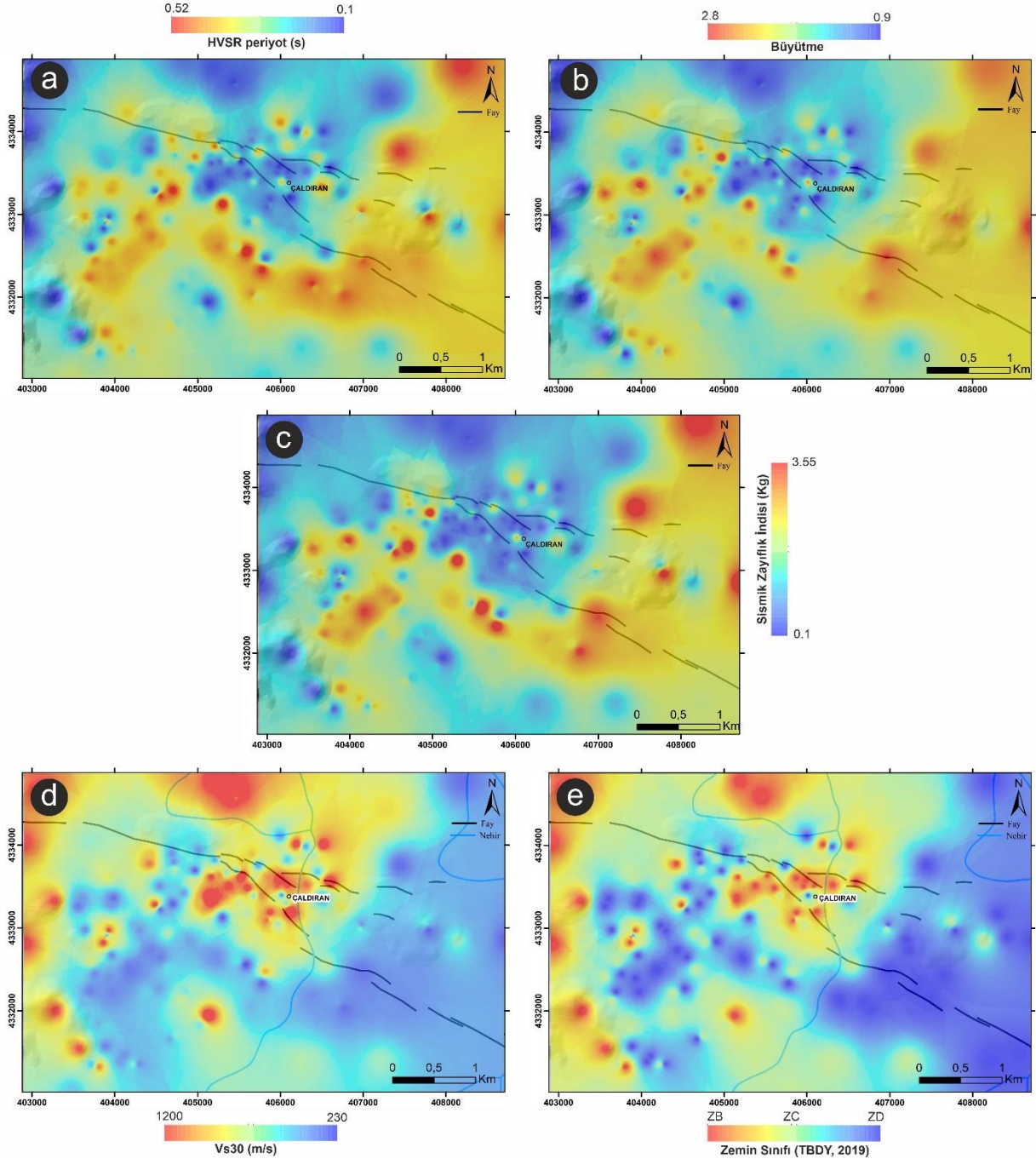
Bu çalışmada, 8 kg balyoz darbe kaynağı, Doremi marka Sara model 12 kanallı sismik sismograf, 3-5 m jeofon aralığı ve düşük frekanslı (4.5 Hz) düşey jeofonlar kullanılarak MASW yöntemi uygulamaları yapılmıştır (Şekil 3a). MASW verileri 0.5 ms örnekleme aralığı ve 1 sn kayıt uzunluğu ile elde edilmiştir. MASW ölçümleri 56 noktada sadece MASW, 39 noktada MASW ve kırılma olmak üzere toplam 95 lokasyonda yapılmıştır (Şekil 1b). Elde edilen veriler Seisimager yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir [39].

MASW yöntemi veri analizi üç adımda gerçekleştirilir: arazide ölçülerin alınması, dispersiyon analizi ve ters çözüm işlemi ile ortamın hız değerlerinin elde edilmesi (Şekil 3a). Dispersiyon eğrisinin belirlenmesinde, faz kayması,  $\tau$ -p dönüşümü ve frekans-dalga sayısı (f-k) veya uzaysal otokorelasyon (SPAC) gibi birçok sayısal yöntem geliştirilmiştir [10, 14, 33].

Çalışma alanında gerçekleştirilen yüzey dalgası ölçümleri sonucu elde edilen hız verileri kullanılarak oluşturulan kayma dalga hızının (Vs) derinlikle değişimleri Şekil 2b'de verilmiştir. Elde edilen sonuçların Şekil 2a'da verilen sondaj verilerinden elde edilen jeolojik birimlerin derinlikle değişimleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Elde edilen yüksek hızların temsil ettiği volkanik birimler ( $V_s > 760$  m/s), çalışma alanında yüzeyden itibaren farklı derinliklerde tespit edilmiştir. Bölgede özellikle alanın merkez kesimlerinde alüvyon birimin kalınlığı değişkenlik göstermektedir. 20'inci metrelerden sonra alanın genelinde yüksek hızlar hakim olmaktadır.

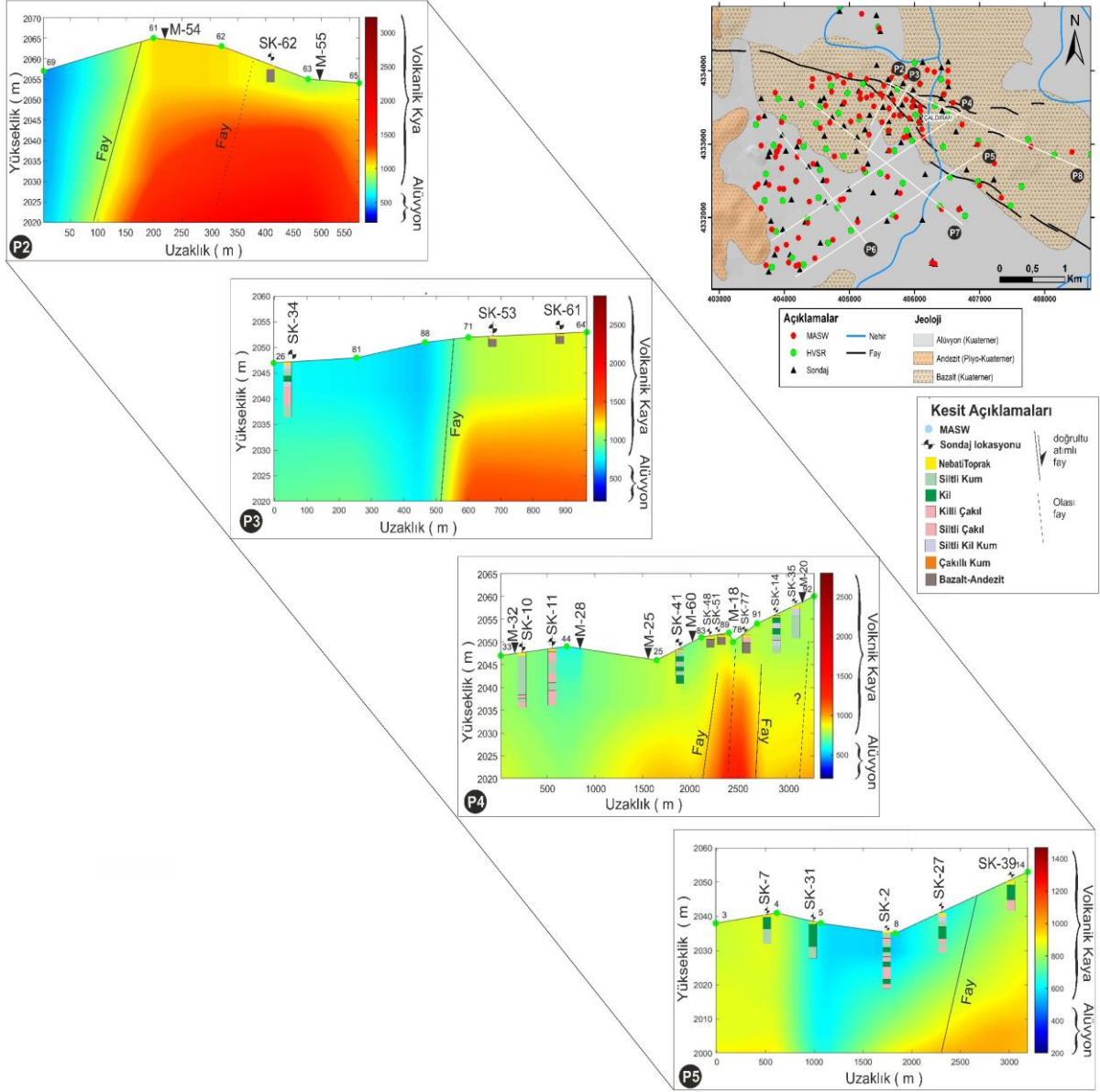
Vs30, yüzeyden itibaren ilk 30 m derinlikteki ortalama Vs hızı, zeminin dinamik analizi, deprem tehlike değerlendirme çalışmaları, mühendislik ve jeoteknik tasarım parametrelerinin hesaplanması gibi pek çok araştırmada kullanılan önemli bir parametredir. Bu çalışmada elde edilen Vs30 dağılım haritası ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği [40] kriteri kullanılarak oluşturulan zemin sınıfı haritası Şekil 4e'de verilmiştir. Çaldıran yerleşim alanı ve çevresinde Vs30 değerleri alüvyal birimlerde 230-350 m/s arasında değişmektedir (Şekil 4d). Volkanik kaya birimleri yer aldığı kuzey ve batı kesimlerde yüksek hız değerleri, özellikle yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarında ise düşük hız değerleri elde edilmiştir. Olası bir büyük depremde düşük hızlı bu alanların hasar seviyesini arttırıcı etkileri olabilir. Çaldıran bölgesinde alüvyal birimler genel olarak ZC-ZD, volkanik birimler ise ZB zemin sınıfı olarak değerlendirilmiştir (Şekil 4e).

Çalışma alanında gerçekleştirilen yüzey dalgası ölçümleri sonucu elde edilen veriler kullanılarak iki boyutlu (2B) derinlik Vs hız kesitleri oluşturulmuştur (Şekil 5). Farklı doğrultular boyunca oluşturulan kesitlerde yüksek hızlarla temsil edilen volkanik birimler ( $V_s > 700$  m/s) çalışma alanında yüzeyden itibaren farklı derinliklerde tespit edilmiştir. Alüvyon birimin kalınlığı alan içerisinde değişkenlik göstermektedir, özellikle alanın orta kesimlerinde derin alüvyon bölgeleri belirlenmiştir. Çalışma bölgesi genelinde 15-20 metreden sonra yüksek hız değerleri elde edilmiştir.



**Şekil 4.** Çalışma alanında elde edilen verilerinden hazırlanan dağılım haritaları; basınç periyot (a), büyütme (b), sismik zayıflık indisi-K<sub>g</sub> (c), Vs30 (d), yerel zemin sınıfı (e).

P2 profili olarak adlandırılan kesit kuzeydoğu (KD)-güneybatı (GB) yönünde oluşturulmuştur (Şekil 5). Kesitte zemin-kaya ayrımı net olarak görülmektedir. Profil üzerinde yer alan jeoteknik sondajdan elde edilen jeolojik birimler kesit ile uyumludur. Çaldıran fayı, profildeki hız değişimlerine göre işaretlenmiştir. Profilde genellikle yüksek hız değerleri hakimdir ve bölgenin genel jeolojik yapısı ile son derece uyumludur. P3 profili de KD-GB yönünde Çaldıran fayını kesecek şekilde oluşturulmuştur (Şekil 5). Kesitlerde Çaldıran fayı net olarak işaretlenmiştir. P4 ve P5 profilleri, KD-GB doğrultusunda Çaldıran havzasını baştan sona temsil etmek ve Çaldıran fayını belirlemek için oluşturulmuştur (Şekil 5). Her iki profilde havzadaki alüvyon ve kaya birimlerin derinlikle değişimi yanal ve düşey doğrultuda ortaya konmuştur. Faya ilişkin değişimler de profillerde görülmüştür. Özellikle havza ortasındaki göreceli olarak kalın alüvyon yapı P5 ve P6 profillerinde net olarak görülmektedir. Bu kesitlerde de görüldüğü gibi havzadaki yeraltı jeolojik yapısı bölgeden bölgeye farklılık göstermektedir.



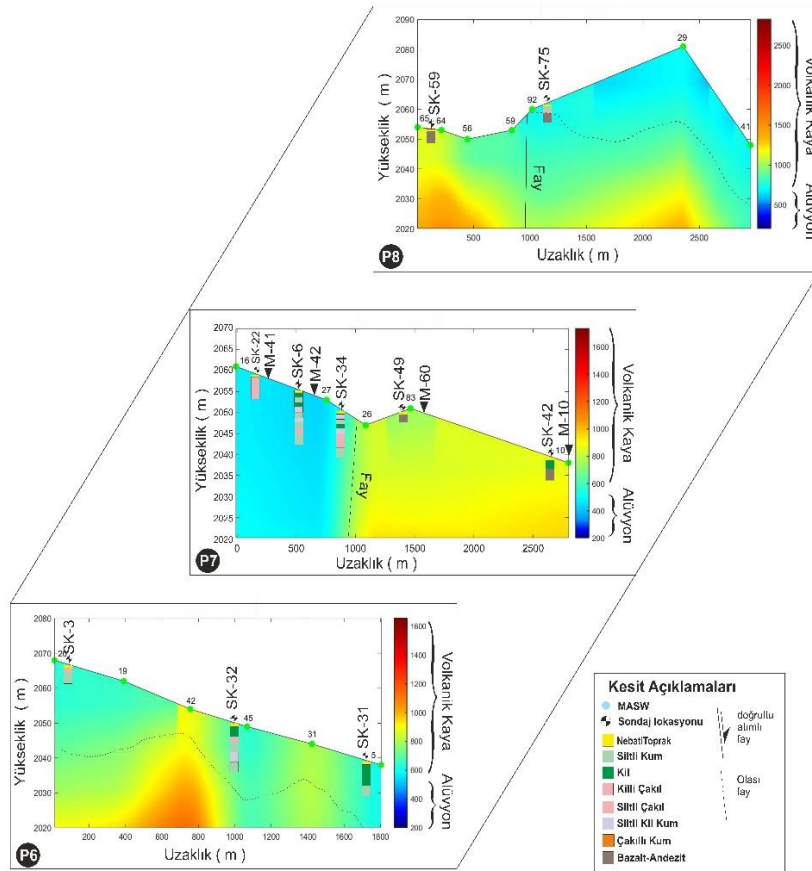
**Şekil 5.** Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultulu profillerin Vs hız verilerinin derinliğe bağlı değişimleri (Kesitlerde yüksek hız değerleri (>700 m/s) volkanik kökenli Bazalt-Andezit birimleri, mavi tonlardaki düşük hız değerleri (<400 m/s) ise alandaki alüvyal birimleri temsil etmektedir).

Bu durumun çalışma alanında farklı zamanlarda meydana gelen volkanik etkinliklerle oluşan jeolojik ve morfolojik değişimlerle ilişkili olarak şekillendiğinin bir göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Bu veriler alandaki sondaj verileri ile uyumluluk sergilemektedir.

P6 profili olarak adlandırılan kesit kuzeybatı (KB)-güneydoğu (GD) yönünde oluşturulmuştur (Şekil 6). Profilde, genellikle düşük hız değerleri ile temsil edilen farklı derinlik seviyesindeki alüvyon birimlerinin değişimi belirlenmiştir. Bu değişim bölgedeki volkanik birimlerle örtü niteliğindeki farklı derinlik ve kalınlıktaki alüvyon birimlerinin ilişkisini gösterir niteliktedir. P6 profiline göre havzada 20-30 m kalınlıkta alüvyon olduğu söylenebilir, buda jeolojik sondajlardan oluşturulan kat haritası (Şekil 2a) ve Vs hızı kat haritası (Şekil 2b) ile uyumludur. P7 ve P8 profili, KB-GD yönünde P6 profiline paralel oluşturulmuştur (Şekil 6). P7 profilinin başlangıcında alüvyal birimleri temsil eden düşük hızlar hakim iken, kesit sonunda nispeten daha yüksek hızlara sahip kaya birimleri gözlenmektedir. Kesit, çalışma alanının güneybatı kesimlerinde kaya birimlerinin daha sık olduğunu göstermektedir. P8 profilinde farklı derinliklerde alüvyal birimleri temsil eden düşük hızlar görülmektedir. Kesitin orta kesimlerinde ise topoğrafik değişimle ilişkili olarak alüvyon kalınlığının daha fazla olduğu



gözlenmiştir. Çaldıran fayı profildeki hız değişimlerine göre işaretlenmiştir. Oluşturulan profillerden elde edilen sonuçların jeolojik yapı ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 6. Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultulu profillerin Vs hız verilerinin derinliğe bağlı değişimleri.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmanın temel amacı, büyük ve yıkıcı deprem üretme potansiyeline sahip Çaldıran Fay zone etki alanındaki Çaldıran yerleşim alanının yanal ve düşey doğrultudaki mühendislik özelliklerinin değişimlerini yüzey dalgası yöntemleri ile incelemektir. Bu amaç doğrultusunda çalışma alanında elde edilen veriler kullanılarak baskın periyot, büyütme, sismik zayıflık indisi ( $K_g$ ), ilk 30 m'deki ortalama Vs hızını temsil eden Vs30 ve zemin sınıfı haritaları oluşturulmuştur. Alandaki kaya ve alüvyon birimlerin değişimlerini ortaya koymak için hem kat haritaları hemde farklı yönlerde derinlik kesitleri oluşturulmuştur. Elde edilen Vs hız profilleri, saha karakterizasyonunun tutarlılığını değerlendirmek için sondaj verileri ve HVSr microtremor ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Çalışma alanında alüvyon birimlerde Vs30 değerleri 230 ile 350 m/s arasında değişmektedir. Volkanik kaya birimlerinin bulunduğu bölgenin kuzey ve batı kesimlerinde Vs30 değerleri ( $>700$  m/s) daha yüksek elde edilmiştir. Vs30 değerlerine kullanılarak TBDY'ne göre çalışma alanlarındaki alüvyon birimler genel olarak ZC-ZD, volkanik birimler ise ZB zemin sınıfı olarak haritalanmıştır. Çaldıran yerleşim alanı ve çevresinde baskın periyot değerlerinin 0.1 ile 0.52 saniye arasında, büyütme değerlerinin 1 ile 2.8 arasında ve sismik zayıflık indisi değerlerinin 0.1 ile 3.55 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bölgenin kuzey ve batı kesimlerinde nispeten düşük periyot (0.1-0.2 s), büyütme ( $<2$ ) ve  $K_g$  (0.1-0.2) değerleri elde edilmiştir. Bu alanlar volkanik kaya birimlerin yüzeyden itibaren yer aldığı kesimlerdir ve elde edilen sonuçlarla uyumludur. Bölgenin güney kesimleri ve şehir merkezindeki bazı lokasyonlar nispeten daha yüksek pik periyot (0.3-0.5 s), büyütme ( $>2$ ) ve  $K_g$  (2-3.5) değerlerine sahiptir. Bu alanlardaki yüksek periyot değerleri, kalın-gevşek alüvyon birimlerin varlığına ve bazı kesimlerde de ayrılmış volkanik birimlerin bulunduğunu göstermektedir.  $K_g$  ve periyot değerlerinin ölçülen jeolojik birimin sıklığı/sağlamlığı ile ters orantılı olduğu söylenebilir. Çaldıran fayının ana segmenti ve çevresinde de düşük  $K_g$  değerleri elde edilmiştir. Volkanik kaya birimler bu bölgelerde



yoğun olarak yer almaktadır. Teorik olarak, faya yaklaştıkça  $K_g$  değerlerinin ve hasar oranının artması beklenir. Ancak inceleme alanının bu kısımları volkanik kaya birimlerden oluştuğu için düşük büyütme ve  $K_g$  değerleri elde edilmiştir. Bu sonuçlar,  $K_g$  hesaplamaları için faya uzaklık, zemin sınıfı, fay tipi gibi parametrelerin son derece önemli ve etkili olduğunu göstermektedir.

Çalışma kapsamında yapılan jeofizik ölçümlerin veri işleme sonucunda elde edilen iki boyutlu derinlik kesitleri ile Çaldıran yerleşim alanı ve çevresinin yatay ve düşey yönde mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen kesitlerde alüvyon kalınlıklarının değişkenliği, zemin-kaya ayrımı ve bölgedeki en etkili sismik kaynak olan Çaldıran fayı ve segmentleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların jeolojik yapı ile uyumlu olduğu görülmüştür. İnceleme alanında kaya birimler (Andezit-Bazalt) yer yer yüzeyden itibaren yer yer de alüvyon örtü altında farklı derinliklerde yer almaktadır. Çevrede yer alan volkanlardan kaynaklanan farklı zamanlarda farklı seviyelerde lav akışları, bölgenin jeolojik ve tektonik koşulları bu kaya seviyesi değişimlerinde etkili olmuştur.

Çalışma alanında yerleşim ve yapı stoğunun yoğun olarak bulunduğu kesimlerde periyot, büyütme ve sismik zayıflık indisinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Çaldıran yerleşim alanının bu kesimlerinde çok katlı yapılaşma artma eğilimindedir. Yine aynı alanlardaki yüksek periyot ve büyütme değerleride göz önünde tutularak çok katlı yapıların rezonansa girme olasılığı söz konusu olabilir. Bu olasılık çalışma alanı için büyük depremlerde hasar oranlarını arttırıcı bir etken olarak değerlendirilmiştir. Bölgenin depremselliği ve 1976 Çaldıran ( $M_s=7.5$ ,  $M_w=7.1$ ) depremi gibi yıkıcı depremler üretme kapasitesi göz önüne alındığında, olası büyük bir depremde yapıların hasar oranının  $K_g$  değerine göre artabileceği öngörülmüştür. Olası hasar değerlendirmesini daha doğru bir şekilde ortaya koyabilmek için hem zemin hem de yapılar için sismik zayıflık indisinin belirlenmesi önem arz etmektedir.

#### **Yazarların Katkısı**

Yazarların makaleye olan katkıları eşit düzeydedir.

#### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### **Kaynaklar**

- [1] Akkaya İ., Özvan A., Tapan M., Şengül M.A. 2015. Determining the site effects of 23 October 2011 earthquake (Van province, Turkey) on the rural areas using HVSR microtremor method. *Journal of Earth System Science*, 124 (7): 1429-1443.
- [2] Akkaya İ., Özvan A., Akın M., Akın M.K., Övün U. 2018. Comparison of SPT and Vs-Based Liquefaction Analyses: A Case Study in Erciş (Van,Turkey). *Acta Geophysica*, 66, 21-38. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0103-0>.
- [3] Akkaya İ., Özvan A. 2019. Site characterization in the Van settlement (Eastern Turkey) using surface waves and HVSR microtremor methods. *Journal of Applied Geophysics*, 160: 157-170.
- [4] Akkaya İ. 2020a. Availability of seismic vulnerability index ( $K_g$ ) in the assessment of building damage in Van, Eastern Turkey. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 19 (1): 189-204.
- [5] Akkaya İ. 2020b. Jeofizik verilerinden elde edilen sismik zayıflık indisinin yapısal hasar değerlendirmesinde kullanılabilirliği. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (4): 1711-1723.
- [6] Alkan A. 2021. Çaldıran (Van) Yerleşim Alanı Zemin Özelliklerinin Yüzey Dalgası Yöntemleri ile İncelenmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans tezi*, Van, 1-111.

- [7] Nakamura Y. 1989. A method for dynamic characteristics estimation of sub-surface using microtremor on the ground surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute, 30: 25-33.
- [8] Nakamura Y. 2000. Clear Identification of the Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. In: 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zealand (CD-ROM) : 2656
- [9] Lermo J., Chavez-Garcia F.J. 1994. Are microtremors useful in site response evaluation?. Bulletin of the Seismological Society of America, 84: 1350-1364.
- [10] Park C.B., Miller R.D., Xia J. 1999. Multichannel analysis of surface waves. Geophysics, 64: 800-808.
- [11] Bard P. 1999. Microtremor measurements: a tool for site effect estimation. The Effects of Surface Geology on Seismic Motion. 3: 1251-1279.
- [12] Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., 2000. Advantages of calculating shear-wave velocity from surface waves with higher modes. The Society of Exploration Geophysicists, Expanded Abstracts, 1295-1298.
- [13] Louie J.N. 2001. Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays. Bulletin of the Seismological Society of America, 91 (2): 347-364.
- [14] Okada H. 2003. The microtremor survey method. Geophysical Monograph, No. 12, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa.
- [15] SESAME. 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation SESAME European Research Project P12-Deliverable. D23.12 [ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/Software/Sesame/Userguidelines/Sesame-HV-UserGuide lines.doc](ftp://ftp.geo.uib.no/pub/seismo/Software/Sesame/Userguidelines/Sesame-HV-UserGuide%20lines.doc)
- [16] Pamuk E., Akgün M., Özdağ Ö.C., Gönenç T. 2017. 2D soil and engineering-seismic bedrock modeling of eastern part of Izmir inner bay/Turkey. Journal of Applied Geophysics, 137: 104-117.
- [17] Ólafsdóttir E.Á., Erlingsson S., Bessason B. 2018. Tool for analysis of multichannel analysis of surface waves (MASW) field data and evaluation of shear wave velocity profiles of soils. Canadian Geotechnical Journal, 55 (2): 217-233.
- [18] Şaroğlu F., Yılmaz Y. 1986. Doğu Anadolu'da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri, MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- [19] Erkanol D., Avşar M., Aslan Ö., Burçak M., Kurtman T., Şener S., Çakır Y., Kocaman H. 1991. Çaldıran-Muradiye (Van)-Doğubayazıt (Ağrı) İran sınırı Arasında Kalan Alanın Genel Jeolojisi. MTA Rap. No: 9733, Ankara.
- [20] Koçyiğit A., Yılmaz A., Adamia S., Kulashvili S. 2001. Neotectonics of East Anatolian plateau (Turkey) and lesser caucasus: Implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. Geodinamica Acta, 14: 177-195.
- [21] Koçyiğit A. 2013. New field and seismic data about the intraplate strike-slip deformation in Van region, East Anatolian plateau, Turkey. Journal of Asian Earth Sciences, 62: 586-605.
- [22] Selçuk A.S., Erturaç M.K., Nomade S. 2016. Geology of the Çaldıran Fault, Eastern Turkey: Age, slip rate and implications on the characteristic slip behaviour. Tectonophysics, 680: 155-173.
- [23] Şengül M.A., Gürboğa Ş., Akkaya İ., Özvan A. 2019. Deformation patterns in the Van region (Eastern TURKEY) and their significance for the tectonic framework. Geologica Carpathica, 70 (3): 193-208.
- [24] Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F. 2013. 1/1.250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara, Türkiye.
- [25] KOERI. 2021. Bogazici University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center (KOERI) website. Available: <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/en/>
- [26] Arpat E., Şaroğlu F., İz H.B. 1977. Çaldıran depremi. Yeryuvarı ve İnsan, 2: 29-41.
- [27] GEOPSY. 1997. Geophysical Signal Database for Noise Array Processing. [www.geopsy.org](http://www.geopsy.org). Erişim tarihi: Şubat 2021.
- [28] Bard P. 1998. Microtremor measurements: A tool for site effect estimation? Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion, eds. K. Irikura, K. Kudo, H.

- Okada and T. Sasatani (Balkema, Rotterdam), Vol III, Yokohama, Japan, 1251–1279, ISBN:9058090302.
- [29] Asten W.M. 2006. On bias and noise in passive seismic data from finite circular array data processed using SPAC methods. *Geophysics*, 71 (6): V153-V162.
- [30] Nakamura Y. 1997. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. World Congress on Railway Research, Florence.
- [31] Xia J., Miller R.D., Park C.B., Hunter J.A., Harris J.B., Ivanov J. 2002. Comparing shear-wave velocity profiles inverted from multichannel surface wave with borehole measurements. *Soil Dyn Earthq Eng*, 22: 181-190
- [32] Miller R.D., Xia J., Park C.B., Ivanov J. 1999. Using MASW to map bedrock in Olathe, Kansas. *Exp Abstrs Soc Explor Geophys*, 433-436. doi:10.1190/1.1821045
- [33] Foti S. 2000. Multistation Methods for Geotechnical Characterization using Surface Waves, Ph.D. Diss., Politecnico di Torino, 1-230, Milano.
- [34] Park C.B., Miller R.D. 2005. Seismic Characterization of Wind Turbine Sites in Kansas by the MASW Method, Kansas Geological Survey Open-file Report, 2005-23.
- [35] Dikmen Ü., Arısoy M.Ö., Akkaya İ. 2010a. Offset and linear spread geometry in the MASW method. *Journal of Geophysics and Engineering*, 7: 211-222.
- [36] Dikmen Ü., Başokur A.T., Akkaya İ., Arısoy M.Ö. 2010b. Yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi. *Yerbilimleri*, 31 (1): 23-32.
- [37] Tün M., Pekkan E., Özel O., Güney Y. 2016. An investigation into the bedrock depth in the Eskisehir Quaternary Basin (Turkey) using the microtremor method. *Geophys. J. Int.*, 207: 589-607.
- [38] Silahtar A., Budakoğlu E., Horasan G., Yıldırım E., Küyük H.S., Yavuz E., Çaka D. 2016. Investigation of site properties in Adapazarı, Turkey, using microtremors and surface waves. *Environ Earth Sci*, 75: 1354. DOI 10.1007/s12665-016-6151-y
- [39] SeisImager/SW, 2005. Manual V 1.4 Windows™ software for analysis of surface waves (Pickwin v. 3.14; WaveEq v. 2.07), including explanation of Geometrics Seismodule Controller Software Surface Wave Data Acquisition Wizards. <ftp://geom.geometrics.com/pub/seismic/SeisImager>
- [40] TBDY, 2019. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Resmi Gazete, Tarih: 18 Mart 2018, Sayı: 30364.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Van İli Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme Sorunları ve Çözüm Önerileri

Ahmet DURAK<sup>1</sup>, Ayşe ÖZGÜVEN<sup>2\*</sup>, Ayşegül DEMİR YETİŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>VASKİ Genel Müdürlüğü Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı Atıksu Arıtma Şube Müdürlüğü

<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü

<sup>3</sup>Bitlis Eren Üniversitesi Sağlık Bilimleri MYO, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Çevre Sağlığı Programı  
(ORCID: [0000-0003-1497-8387](https://orcid.org/0000-0003-1497-8387)) (ORCID: [0000-0003-1071-2813](https://orcid.org/0000-0003-1071-2813)) (ORCID: [0000-0003-4745-2445](https://orcid.org/0000-0003-4745-2445))

---

### Öz

Kullanılmış suların çevreye olan zararlarını azaltmak ve su kaynaklarımızın devamlılığını sağlamak için atıksu arıtma tesisleri kurulmaktadır. Evsel nitelikli atıksular farklı proses ve teknolojiler kullanılarak arıtılmaktadır. Günümüzde evsel atıksu arıtımında kullanılan en yaygın sistemler stabilizasyon havuzları, damlatmalı filtre, aktif çamur ve aneorobik arıtma gibi biyolojik sistemlerdir. Karakterizasyon bakımından farklı özelliğe sahip olan evsel atıksular için mevcut proseslerin optimize edilmesi veya bölge koşulları dikkate alınarak uygun arıtma teknolojilerinin kullanılması önem arz etmektedir. Fizibilite çalışmalarının yetersizliği, tip proje uygulamaları ve proje hataları ile birlikte, mekanik, elektrik, inşaat kaynaklı sorunlar, atıksu arıtma tesisleri problemlerini oluşturmaktadır. Çıkış suyunda istenilen kalitenin elde edilmesi ve tesiste işletme maliyetlerinin azaltılması için projelendirme, inşaat ve işletme aşamalarında yapılan hatalar en aza indirilmelidir. Bu çalışmada Van iline hizmet eden ve işletmede olan 6 adet atıksu arıtma tesisinin (İskele, Edremit, Gevaş, Başkale, Çelebibağ ve Gölağzı) genel özellikleri de dikkate alınarak ilk kez il özelinde tesis bazlı olarak işletme problemleri araştırılmış ve bunlara yönelik çözüm önerileri değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Atıksu arıtımı, çözüm önerileri, işletme problemleri, Van.

---

## Operational Problems and Solution Suggestions of Van Province Wastewater Treatment Plants

---

### Abstract

Wastewater treatment plants are established in order to reduce the damage of wastewater to the environment and to ensure the continuity of water resources. Domestic wastewater is treated using different processes and technologies. The most common systems currently used in domestic wastewater treatment are biological systems such as stabilization pools, trickling filters, activated sludge and anaerobic treatment. It is important to optimize the existing processes for domestic wastewater, which has different characteristics in terms of characterization, or to use appropriate treatment technologies, taking into account the regional conditions. Inadequate feasibility studies, type project applications and project errors, together with mechanical, electrical, construction-related problems, constitute the problems of wastewater treatment plants. In order to obtain the desired quality in the effluent and to reduce the operating costs in the facility, the mistakes made during the projecting, construction and operation stages should be minimized. In this study, considering the general characteristics of 6 wastewater treatment plants (Iskele, Edremit, Gevaş, Başkale, Çelebibağ and Gölağzı) that are in operation and serving the province of Van, for the first time, plant-based operational problems were investigated and solution proposals for them were evaluated.

**Keywords:** Wastewater treatment, solution proposals, operational problems, Van

---

### 1. Giriş

Nüfus artışı, teknolojinin gelişmesi ve hayat standartlarının yükselmesi gibi nedenlerle dünyada ve ülkemizde atıksu üretimi artmıştır [1-3]. Üretilen bu atıksuların alıcı ortamlara kontrolsüz bir şekilde

---

\*Sorumlu yazar: [ayseozguven@yyu.edu.tr](mailto:ayseozguven@yyu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 01.07.2021, Kabul Tarihi: 07.10.2021

verilmesi büyük çevre sorunlarına yol açmaktadır [4-6]. Toprak ve su kaynaklarımızın kirlenmesini önlemek ve çevre sağlığını korumak için evsel atıksuların arıtılmasında fiziksel ve kimyasal proseslerden daha çok biyolojik arıtım prosesleri tercih edilmektedir [7-8]. Atıksu arıtma tesislerinde (AAT) kullanılan prosesler, atıksularda bulunan patojen (hastalık yapıcı) mikroorganizmaların olumsuz etkilerini en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır. [9]. Evsel atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan biyolojik prosesler arasında; aerobik oksidasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve fosfor giderimi gibi prosesler yer almaktadır. Evsel atıksulardan karbon, fosfor ve azot gideriminin ekonomik olması ve daha az atık çamur oluşumu gibi nedenlerden dolayı aktif çamur sistemleri kullanılmaktadır [10].

AAT'lerinin tasarımı, inşaatı ve işletilmesinin temel amacı, atıksu kalitesinin iyileştirilerek mevzuatla belirlenen parametrelere ait değerlerin karşılanmasını sağlamaktır. İşletme faaliyetleri, AAT'nin istenen kalitede atıksu üretmesi ve mevzuatta verilen değerleri sağlaması için yeterli olmalıdır. AAT bakım faaliyetleri ise, sürdürülebilir işletme hedeflerine ulaşmak için ekipmanın düzenli ve verimli çalışmasını sağlamaya yönelik faaliyetler olmalıdır. Örneğin düşük sermaye maliyetine sahip küçük ve basit bir arıtma tesisi, yüksek işletme giderlerine sahip olabilir. Bu nedenle alternatif bir teknolojiye kıyasla toplam maliyeti daha yüksektir. Arıtma tesisinin tasarım kriterleri göz önünde bulundurularak daha iyi yönetilmesi ve işletilmesi için izleme ve bakım faaliyetleri yürütülmeli ve arıtma tesisinin bakımını yapan işletmeci, bu ünitelerin arızalanması durumunda ünite proseslerinden haberdar olmalıdır [11]. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki AAT'ler, genellikle su dağıtım süreçleri esnasında yüksek işletme maliyetlerini karşılamak için yeterli bütçeyi sağlamada eksik kalmakta ve işletme ve bakımda bazı sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle, operasyonel işgücünü sağlamak ve etkili bir işletme performansı için atıksu arıtma tesisinden sorumlu yönetici personelin tesis performansını hızlı bir şekilde gözden geçirmesi gerekmektedir [12]. Çünkü AAT'ler farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma mekanizmalarına sahip değişken debi ve yükler alan karmaşık sistemlerdir [13]. Bu nedenle işletme sorunlarını en aza indirmek için Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen deşarj suyu kalite standartlarını karşılamaları gerekmektedir [14-15]. Su kalite parametrelerinin kontrolü, arıtma tesisi giriş ve çıkış sularının sürekli analizlerinin yapılması, atıksu debisinin kontrolü ve mekanik ekipmanların kontrollerinin ve bakımlarının düzenli aralıklarla yapılması sorunsuz bir işletme için gereklidir [16]. Mekanik ekipmanların bakımı, yağlanması, eskimiş parçaların yenisiyle değiştirilmesi ve yedek parçaların sağlanması gerekmektedir. Ayrıca arıtma tesislerinin sorunsuz bir şekilde işletilmesi için eğitim programları düzenlenmeli, toplantılar yapılmalı ve yeterli bilgi ve deneyime sahip kalifiye eleman yetiştirilmelidir. Su kalitesini tehdit eden operasyonel problemler meydana geldiğinde, herhangi bir sorunu azaltmaya veya hafifletmeye yardımcı olmak için ilgili tüm tarafları bilgilendirmek gereklidir.

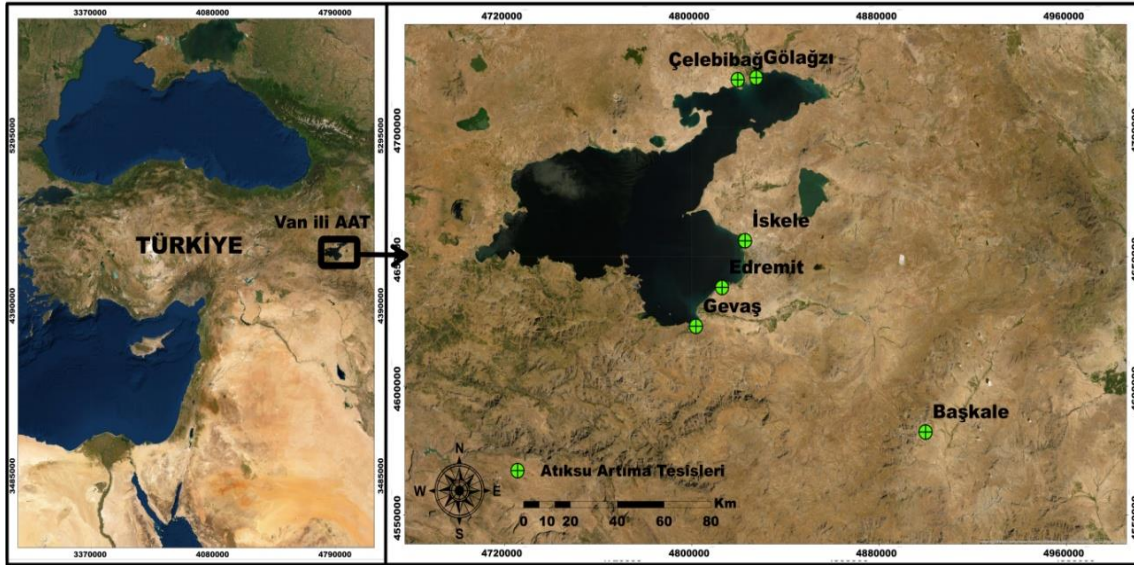
Operasyonel problemler genellikle atıksu arıtma performansını ve atıksu çıkış kalitesini etkileyecek olaylar olarak tanımlanır. Potansiyel operasyonel problemleri mümkün olduğunca azaltmak için planlama ve tasarım sırasında bu problemleri önceden tahmin etmek gereklidir. Bunun için çoklu tasarımlar ve güvenilir ekipman kullanmak, iyi eğitilmiş ve motive olmuş personel sağlamak önemlidir. İyi tasarlanmış ve bakımı sürekli yapılan arıtma tesisleri aşırı yüklenmedikleri sürece normal koşullar altında iyi derecede arıtma performansı sağlayacaktır. Arıtma tesisinin performansında önem arz eden diğer bir husus atıksu kalite parametreleridir. Bu parametreler AAT'nin sorunsuz olarak işletilmesinde son derece önemlidir. Örneğin, bir arıtma tesisi çıkış suyunun 70 mg/L–90 mg/L'lik KOİ konsantrasyonu, bir tesiste kararlı performansı temsil edebilirken bir başka tesiste 30 mg/L– 50 mg/L arasında bulunan KOİ değerleri bu tesis için kararlı performansı temsil edebilir. Atıksuyun tipik KOİ konsantrasyonu, öncelikle giriş suyu bileşimine bağlıdır [17]. Arıtma tesisi performansının kontrolü için gerekli olan parametrelerin analizi yapılmalı ve periyodik olarak izlenmelidir.

Bu çalışma il özelinde olmak koşuluyla Van İli'ne hizmet eden ve işletmede olan atıksu arıtma tesisleri ile ilgili işletme sorunları ve tesislere ait genel sorunların detaylarını içermektedir. Bununla birlikte incelenen 6 atıksu arıtma tesisi (İskele, Edremit, Gevaş, Başkale, Çelebibağ ve Gölağzı atıksu arıtma tesisleri) için bu sorunlara dair detaylı çözüm önerileri detaylarıyla birlikte sunulmuştur. Ayrıca mevcut çalışma il bazında birden fazla tesise ait sorunları ve çözüm önerilerini detaylarıyla birlikte sunması bakımından bir ilk olma özelliği taşımaktadır.

## 2. Materyal ve Metod

Van İli dünya üzerinde,  $42^{\circ} 40'$  -  $44^{\circ} 30'$  doğu boylamları ile  $37^{\circ} 43'$  -  $39^{\circ} 26'$  kuzey enlemleri arasındadır. Türkiye üzerinde ise Doğu Anadolu Bölgesinin Yukarı Murat-Van Bölümündeki Van Gölü kapalı havzasındadır. Van ili Doğu Anadolu Bölgesinin volkanik dağlarla kaplı çukur kesiminde bulunan Van Gölü'nün doğu kıyısına 5 km uzaklıkta çok az meyilli bir arazi üzerine kurulmuştur. Bitlis ve Van illeri sınırında yer alan Nemrut Dağı'nın volkanik patlaması sonrasında kalan kraterde su birikmesiyle oluşan volkanik bir göldür [18] Van Gölü dünyanın en büyük sodalı gölüdür ve ayrıca tuzlu su özelliği de bulunmaktadır [19]. Rakım yüksekliği yaklaşık 1725 m'dir. Gölün yüzölçümü  $3764 \text{ km}^2$ 'dir [20]. Van Gölü kapalı havzası, Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği-Hassas ve Az Hassas Su Alanları Tebliğinde belirtilen beş hassas havzadan biridir. Bu havzanın kapalı havza olması ve dolayısıyla dışarıya herhangi bir akışının olmaması kirlenme potansiyelini arttırmaktadır. Havzanın kirlenmesindeki başlıca etkenler göl çevresindeki yerleşimlerden gelen atıksuların yeterli arıtma olmadan alıcı ortama deşarj edilmesidir [21].

Van Büyükşehir Belediyesi VASKİ Genel Müdürlüğü'nce yürütülen çalışmalar kapsamında atıksu kaynaklı kirliliğin önüne geçilmesi amacıyla bazı ilçelerde mevcut olan atıksu arıtma tesislerinin işletim çalışmaları yapılmaktadır. Van ilinin merkez ilçeleri olan İpekyolu ve Tuşba'nın tüm atıksuları, Edremit ilçesine ait atıksuların ise bir bölümü Tuşba ilçesinde bulunan İskele Atıksu Arıtma Tesisi'ne verilmektedir. Bunun yanında Başkale, Edremit, Gevaş ve Erciş ilçesinde Çelebibağı ve Gölağzı mahallelerinde de ileri biyolojik atıksu arıtma tesisleri bulunmakta ve aktif olarak işletilmektedir. Bu çalışmada tesisler hakkında birtakım bilgilere mevcut ve yenilenmiş proje dosyalarından ulaşılmıştır. Ayrıca tesislerdeki sorunlar ve bunlara dair çözüm önerileri hakkında bilgiler için tesis özelinde uzun süreli yapılan gözlemlerle elde edilen bilgilerden faydalanılmıştır. Van İli Eysel Atıksu Arıtma tesislerinin coğrafik konumu Şekil 1'de sunulmuş olup, işletmede olan tesislere ait bilgiler ise Tablo 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Van İli Eysel Atıksu Arıtma tesislerinin coğrafik konumu

**Tablo 1.** Van İli evsel atıksu arıtma tesislerine ait genel bilgiler

İlçe	AAT Adı	Eş Değer Nüfus (kişi)	Kapasite max.debi (m <sup>3</sup> /gün)	Arıtma Türü	Alıcı Ortam	Koordinat	
						X (Enlem)	Y (Boylam)
Merkez	İskele A.A.T.	320.000	103.680	Biyolojik arıtma (Klasik aktif çamur)	Van Gölü	353887	4267225
Edremit	Edremit A.A.T.	100.000	21.840	İleri biyolojik arıtma (Uzun havalandırmalı aktif çamur)	Van Gölü	345904	4253273
Gevaş	Gevaş A.A.T.	22.000	7.607,00	İleri biyolojik arıtma (Uzun havalandırmalı aktif çamur)	Van Gölü	336948	4241694
Başkale	Başkale A.A.T.	21.000	4.442,24	İleri biyolojik arıtma (Uzun havalandırmalı aktif çamur)	Değir Dere	413621	4208443
Erciş	Çelebibağ A.A.T.	40.000	4.361,52	İleri biyolojik arıtma (Uzun havalandırmalı aktif çamur)	Van Gölü	352329	4315704
Erciş	Gölağzı A.A.T.	205.000	72.372,00	İleri biyolojik arıtma (Uzun havalandırmalı aktif çamur)	Van Gölü	358494	4316250

### 2.1. İskele Atıksu Arıtma Tesisi

İskele AAT projesi 1988 yılında yapılmış ve inşaatı 1992’de tamamlanarak hizmete alınmıştır. 320.000 eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere inşa edilen ve  $Q_{max}=1200$  L/sn debiye sahip İskele AAT klasik aktif çamur prosesi uygulanan bir biyolojik arıtma tesisidir. Izgaralardan sonra, atıksu, paralel olarak devreye alınan 3 adet havalandırmalı kum tutucuya (uzunluk: 28,5 m; genişlik: 2,2 m; derinlik: 3 m; toplam hacim: 414 m<sup>3</sup>) doğru akmaktadır. Her bir kum tutucunun tabanına çökelen kum, hareketli bir köprüye monte edilmiş olan sıyırıcı ile kum tutucu membasında yer alan kum haznesine ulaşmaktadır. Her bir arıtma ünitesinde, birbirine paralel iki adet havalandırma havuzu bulunmaktadır; her birinin hacmi 2.600 m<sup>3</sup> ve derinliği 4,0 metredir. Toplam havalandırma havuzu hacmi ise 20.800 m<sup>3</sup>’dür. Aktif çamurun arıtılmış atık sudan ayrılması için her üniteye ikişer adet dairesel yatay akışlı son çökeltme havuzu (her birinin çapı: 36 m, derinliği 3,03 m, yüzey alanı: 1,011 m<sup>2</sup>) bulunmaktadır. Son çökeltme havuzlarından sonra atıksu üç adet cazibeli yoğunlaştırıcıya ulaşır. Dairesel olan yoğunlaştırıcıların her birinin çapı 12 m, yüzey alanı 113 m<sup>2</sup> ve hacmi 452 m<sup>3</sup>’dür. Yoğunlaştırılan stabilize çamur, 4 adet bant filtre pres ile mekanik olarak susuzlaştırılabilmektedir. Filtre preslerin her biri 15 m<sup>3</sup>/saat arıtma kapasitesine sahip olup yoğun çamur pompaları ile beslenmektedir. Alternatif olarak yoğun çamur, doğrudan çamur kurutma yataklarına pompalanmaktadır. Her birinin yüzey alanı 300 m<sup>2</sup> olan (toplam yüzey alanı: 16.800 m<sup>2</sup>) çamur kurutma yatakları atıksu arıtma tesisinin kuzey-batısına inşa edilmiştir.

### 2.2. Edremit Atıksu Arıtma Tesisi

Edremit ileri biyolojik AAT’nin yapımı 2011-2013 yılları arasında tamamlanmıştır. Edremit ileri biyolojik AAT kapasite olarak 100.000 kişilik eşdeğer nüfus ve maksimum 21.840 m<sup>3</sup>/gün debi ile hizmet verecek şekilde tasarlanmıştır. Arıtma tesisinde biyolojik fosfor havuzları ve uzun havalandırmalı aktif çamur prosesi kullanılarak azot, fosfor ve karbon giderimi yapılmaktadır. Atıksu izgaralardan sonra giriş pompa istasyonuna gönderilmekte ve dalgiç pompa ile tesisin birinci arıtma

kademisine iletilmektedir. Kum tutucular hidrolik olarak 918 m<sup>3</sup>/saat debiye göre projelendirilmiştir. Havalandırmalı kum ve yağ tutucudan çıkan atıksu, geri devirden çıkan aktif çamurla karıştırılarak anaerobik havuza girmektedir. Atıksu, biyolojik fosfor giderme havuzlarından havalandırma ünitelerine alınmaktadır. Havalandırma havuzlarından çıkan aktif çamur dağıtım yapısından sonra çökeltme havuzlarına gelmekte ve yerçekimi etkisiyle çöktürülerek arıtılmış sudan ayrılmaktadır. Son çökeltme havuzundan çıkan ve içeriği büyük oranda biyolojik olan arıtma çamurları katyonik polielektrolit kullanarak santrifüj dekantörler yardımı ile susuzlaştırma işleminden geçirilmektedir. Katı madde oranı %25'e çıkarılan arıtma çamuru kekler halinde traktör ve römorklar yardımı ile arıtma tesisinden uzaklaştırılmaktadır. Tesiste günlük olarak 8 ton arıtma çamuru oluşmaktadır [22].

### 2.3. Gevaş Atıksu Arıtma Tesisi

Gevaş ilçesi Selimbey mahallesinde kurulu bulunan tesis 2013 yılında İller Bankası Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılmış ve 2015 yılında işletmeye alınmıştır. Proje kapsamında deşarj yeri Van Gölü olarak belirlenmiştir. Proses seçiminde yürürlükte bulunan yönetmelik ve mevzuat gereğince 22.000 eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere inşa edilen Gevaş AAT uzun havalandırmalı aktif çamur prosesine sahip 7.607 m<sup>3</sup>/gün kapasitelidir. Kaba atıklardan temizlenen atıksu kum, çakıl ve yağ gibi maddelerin atıksudan uzaklaştırılması amacı ile kum ve yağ tutucu ünitesine geçmektedir. Trapez yapılı kum tutucu, mekanik temizlemeli olarak tasarlanmıştır. Kum tutucular hidrolik olarak 316 m<sup>3</sup>/saat debiye göre projelendirilmiştir. Geri devirden gelen aktif çamur ve kum-yağ tutucu ünitesinden çıkan atıksu anaerobik havuzun toplama haznesinde karışarak havuzlara geçmektedir. Havalandırma havuzlarının şekli "Carousel Hendeği" şeklinde seçilmiştir. Böylece havuz içerisinde bulunan difüzörler ve mikserler yardımıyla havuzda oksik ve anoksik bölümler oluşturularak atıksu içerisinde bulunan organik maddelerin giderim prosesi gerçekleştirilmektedir. Çökeltme havuzunda döner köprüye bağlı üst sıyrıcı havuz yüzeyinde yüzen maddeleri ayırmaktadır. Çamur susuzlaştırma ekipmanı olarak dekantörler kullanılmaktadır. Çökeltme havuzlarında, aktif çamur yerçekim etkisi ile çöktürüldükten sonra çamurdan ayrılan su savaklanmaktadır. Son çökeltmeden gelen arıtma çamuru katyonik polielektrolit kullanarak dekantörler yardımı ile susuzlaştırılmaktadır. Tesiste günlük olarak 4 ton arıtma çamuru oluşmaktadır [23].

### 2.4. Başkale Atıksu Arıtma Tesisi

Başkale ilçesi Tepebaşı Mahallesi bölgesinde kurulu bulunan Başkale AAT 2029 ve 2049 yılları olmak üzere yaklaşık 21.000 eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere 2 kademe inşa edilmiştir. Başkale AAT'de kum tutucu sonrasında biyolojik fosfor gideriminin yapıldığı anaerobik havuzlar bulunmaktadır. Anaerobik ortam şartlarında sadece organizmaların atıksu ile homojen olarak karışmasının sağlanması ve tabanda çökeltmenin önlenmesi için karıştırma yapılmaktadır. Tesiste tıkanma problemlerini engellemek için tesise gelen atıksu kaba ve ince ızgaralardan geçirilmektedir. Trapez yapılı kum tutucu, mekanik temizlemeli olarak tasarlanmıştır. Kum tutucular hidrolik olarak 185,1 m<sup>3</sup>/saat debiye göre projelendirilmiştir. Atıksu kum tutuculardan sonra giriş pompa istasyonuna gönderilmekte ve dalğış pompayla tesisin biyolojik arıtma kademesine iletilmektedir. Oksidasyon havuzları şeklinde projelendirilen havalandırma havuzlarında nitrifikasyon-denitrifikasyon reaksiyonları ile azotlu bileşiklerin nitrit ve nitrate son olarak da azot gazına (N<sub>2</sub>) dönüştürülmesi sağlanarak azot giderimi gerçekleştirilmektedir. Çökeltme havuzlarında, aktif çamur yer çekimi etkisi ile çöktürüldükten sonra çamurdan ayrılan su savaklanmaktadır. Çökeltme havuzlarının tabanından toplanan çamur, geri devir pompa odasına gönderilmektedir. Çamur susuzlaştırma ekipmanı olarak beltfiltre kullanılmaktadır. Beltfiltre %0,8-1 kuru madde içeren çamurun içeriğini %18 kuru maddeye çıkaracak özelliindedir [24].

### 2.5. Çelebibağı Atıksu Arıtma Tesisi

40.000 kişilik eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere 2014 tarihinde Van ili Erciş İlçesi 2,14 hektar alan üzerinde kurulan Çelebibağı İleri Biyolojik AAT 2023, Van gölü Tabiat Varlıkları Koruma Genel Müdürlüğü tarafından hassas alan olarak belirlenmiştir. Çelebibağı İleri Biyolojik AAT 2023 ve 2043 yılları olmak üzere iki kademe tasarlanmıştır ve uzun havalandırmalı aktif çamur prosesine sahip maksimum 4361,52 m<sup>3</sup>/gün kapasitelidir. Iızgaralar zaman ve seviye ayarlı olarak çalışmaktadır. Atıksu



içinde bulunan kum, çakıl gibi inert maddelerin sonraki ünitelere ve mekanik aksama zarar vermesini önlemek için tesiste 2 adet parabolik kesitli yatay akışlı havalandırılmalı kum tutucu projelendirilmiştir. Kaba ve ince ızgaralardan geçirilen atıksu ilk olarak havalandırılmalı kum ve yağ tutucuya gelmektedir. Havalandırılmalı kum ve yağ tutucudan çıkan atıksu, geri devirden çıkan aktif çamurla karışarak anaerobik havuza girmektedir. Atıksu, biyolojik fosfor giderme havuzlarından havalandırma ünitelerine alınmaktadır. Azot giderimi, organik azotun nitrit ve nitrate ve son olarak da azot gazına dönüştürülmesini sağlayan nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonlarıyla gerçekleştirilmektedir. Çökeltme havuzlarında, aktif çamur yer çekimi etkisi ile çöktürüldükten sonra çamurdan ayrılan su savaklanmaktadır. Çökeltme havuzlarının tabanından toplanan çamur, geri devir pompa odasına gönderilmektedir. Son çökeltme havuzundaki arıtma çamuru kimyasal şartlandırıcı kullanılarak beltfiltre yardımı ile susuzlaştırma işleminden geçirilmektedir. Böylece katı madde oranı %18'e çıkarılan arıtma çamuru, çamur kekleri halinde traktör ve römorklar yardımı ile arıtma tesisinden uzaklaştırılmaktadır. Susuzlaştırılan çamur, beltfiltrelerin altında bulunan burğu konveyör vasıtasıyla bina dışında bulunan kamyonlara yüklenerek tesisten uzaklaştırılmaktadır. Belt filtrelerden çıkan süzüntü suyu ise tesisin başına iletilmektedir. Tesisten günlük olarak 4 ton arıtma çamuru çıkmaktadır [25].

## 2.6. Gölağzı Atıksu Arıtma Tesisi

Erciş ilçesi Gölağzı mahallesinde kurulu bulunan yaklaşık 205.000 eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere inşa edilen maksimum 72.372 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Gölağzı AAT iki kademeli olarak tasarlanmıştır. Bu proses birbirini sırayla takip eden birer anaerobik, anoksik ve oksik bölümden sonra çökeltme havuzundan ve anaerobik havuz girişinde bulunan çamur geri dönüş bağlantısından oluşmaktadır. Tesis ünitelerini tıkanma problemlerinden korumak amacıyla tesise iletilen atıksu kaba ve ince ızgaralardan geçirilmektedir. Atıksu içinde bulunan kum, çakıl gibi inert maddelerin sonraki ünitelere ve mekanik aksama zarar vermesini önlemek için tesiste 2 adet parabolik kesitli yatay akışlı havalandırılmalı kum tutucu bulunmaktadır. Arıtma tesisi ünitelerinde istenmeyen kirletici parametrelerin mekanik aksamalarının aşınmalarını önlemek amacıyla atıksuyun içindeki kum ve benzeri parametreler giderilmektedir. Havalandırılmalı kum ve yağ tutucudan çıkan atıksu, geri devirden çıkan aktif çamurla birlikte anaerobik havuza girmektedir. Havalandırma havuzları için Carrousel tipi havuzlar seçilmiştir. Atıksudaki fosforun giderilmesi için havalandırma havuzu girişinde anaerobik bir tank tasarlanmıştır. Havalandırma havuzlarında hava ihtiyacı ince kabarcıklı difüzörler ile karşılanmaktadır. Difüzörlere hava blower tarafından temin edilmektedir. Blower havalandırma bölgesindeki çözünmüş oksijen konsantrasyonunu 2 mg/L değerinde tutacak şekilde değişken devirli çalışmaktadır. Çökeltme havuzlarında, aktif çamur yer çekimi etkisi ile çöktürüldükten sonra çamurdan ayrılan su savaklanmaktadır. Çöktürme havuzlarının tabanından toplanan çamur, geri devir pompa odasına gönderilmektedir. Çamur susuzlaştırma işleminde şartlandırıcı olarak katyonik polielektrolit kullanılmaktadır. Polielektrolit çözeltisi bir adet paket sistemde hazırlanmakta ve dozlama sistemi ile dekantörlere iletilmektedir. Çamur %20-25 katı madde içeriğine getirildikten sonra kek halinde römorklar yardımıyla tesisten uzaklaştırılmaktadır [26].

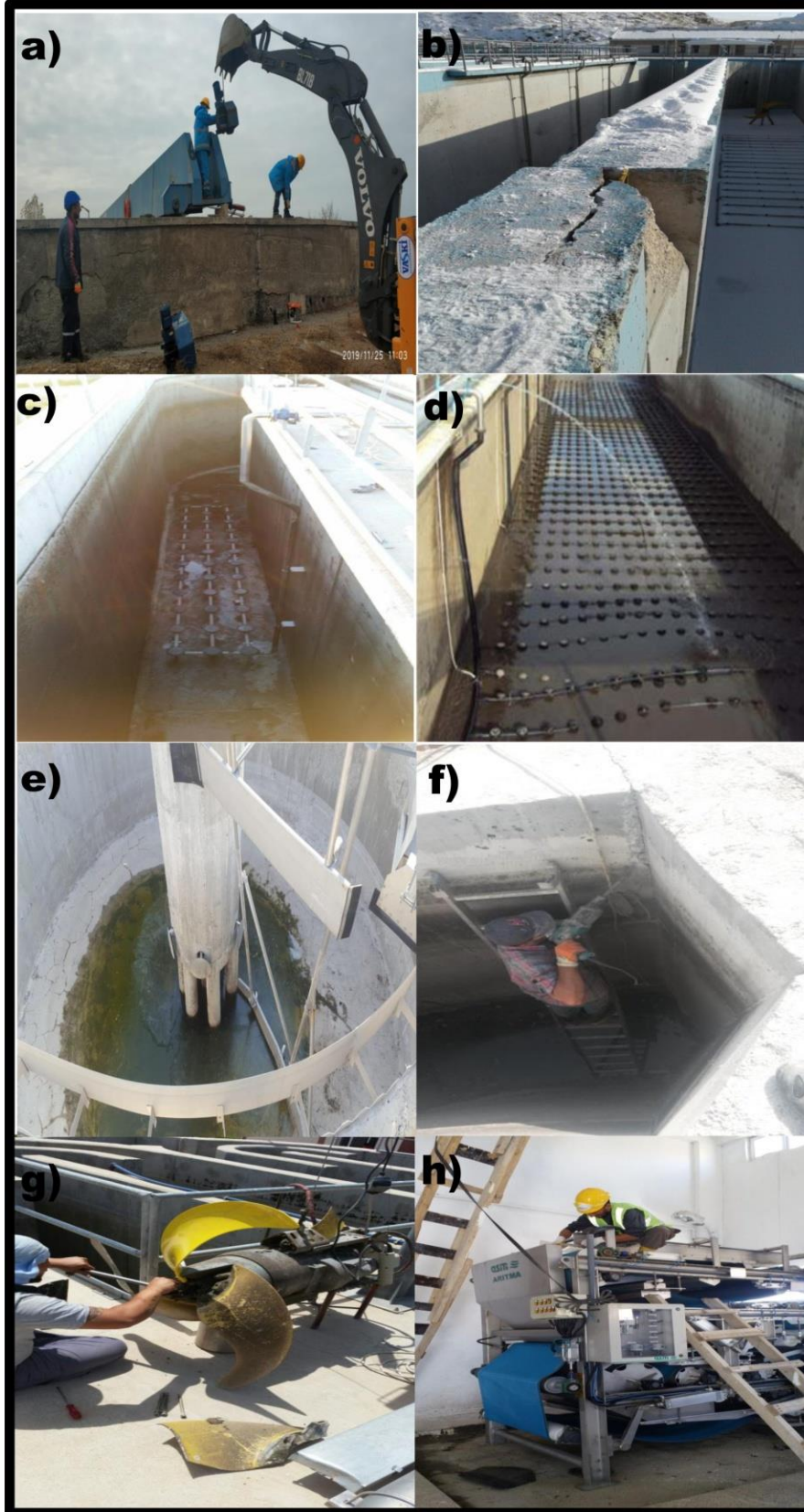
Van Büyükşehir Belediyesi VASKİ Genel Müdürlüğü bünyesinde işletmeye alınmış olan atıksu arıtma tesislerinin işletmesi sırasında meydana gelen işletme problemleri tespit edilmesi ön görülmüştür. Bu tespitleri belirlerken izlenecek yöntem; arıtma tesislerinin bulunduğu yöreye, iklime, nüfusa, tesis için yer seçimine bağlı olarak atıksu arıtma tesislerinin planlanması aşamasındaki proseslerin uygunluğunun araştırılmasını içermektedir. Atıksu arıtma tesisleri 2 kademeli olarak 15-35 yıl arası hizmet verecek şekilde planlanarak tasarlanmıştır. Tesislerde zamanla bölgenin durumu veya hızlı nüfus artışlarından dolayı debi artışları ve atıksu karakterinde bazı değişimler gibi sorunlar meydana gelmiştir. Bu sıkıntıların tesisleri nasıl etkilediği ve hangi önlemler alınması gerektiği araştırılmıştır. Ayrıca atıksu arıtma tesislerinin yapılması ve işletmeye alınması ile şimdiye kadar geçen zaman dilimi içerisinde meydana gelen yapım ve işletme problemlerine değinilmiştir. Çalışma sonunda bulunan ve tespit edilen işletme problemlerinin nedenleri ve çözüm önerileri irdelenerek değerlendirilmiştir

### 3. Van İli Atıksu Arıtma Tesisleri İşletme Sorunları ve Çözüm Önerileri

Bu çalışma kapsamında Van iline hizmet veren İskele, Edremit, Gevaş, Başkale, Çelebibağ ve Gölağzı Atıksu Arıtma Tesisleri için proje ve işletmeden kaynaklanan sorunlar tesis özelinde tespit edilip, bu sorunların olumsuz etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Dolayısıyla tespit edilen gözlemlerle her tesisteki ünitelere ve tesisin geneline ait belirlenen sorunlar ve bunların çözümüne yönelik iyileştirme önerileri detaylı olarak sunulmuştur. Şekil 2’de arıtma tesislerine ait görüntülere yer verilmiştir. Şekil 3’de ise arıtma tesislerinde karşılaşılan bazı problemlerle ilgili görüntüler sunulmuştur.



Şekil 2. Van İli evsel atıksu arıtma tesislerine ait görüntüler [27]



**Şekil 3.** Van ili evsel atıksu arıtma tesislerinde karşılaşılan sorunlarla ilgili görüntüler  
a) ve b) beton yapılarıdaki çatlaklarla ilgili problemler  
c) ve d) difüzörlerle ilgili problemler  
e) ve f) mekanik aksamlarla ilgili problemler  
g) ve h) çamur uzaklaştırma sistemleriyle ilgili problemler [27]



### 3.1. İskele Atıksu Arıtma Tesisi

İskele AAT; 320.000 eşdeğer nüfusa göre tasarlanmış olup 2015 yılına kadar yeterli olacağı düşünülmüştür. Ancak şu anda tesise bağlı olan nüfus TÜİK-2018 verilerine göre 597.964 kişidir [28]. Dolayısı ile tesis tam kapasite çalışmasına rağmen gelen atıksu arıtılamamakta, bu nedenle atıksuyun %70'i by-pass edilmektedir. Bu durum yeni bir arıtma tesisi ihtiyacını doğurmaktadır. Bu kapsamda İskele AAT için sorunlar ve çözüm önerileri aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

- ✓ Sorun 1: İskele AAT'nin proje ömrünü tamamlamış olması; çözüm önerisi ise yeni bir tesisin inşa edilmesi.
- ✓ Sorun 2: Giriş terfi ünitesinde kullanılan burgulu (arimed vidası) pompaların tonlarca ağırlıkta ve çok büyük olmaları nedeniyle atıksuyu sağa sola sıçratması; çözüm önerisi ise mekanik ve elektrik aksamların yeni teknoloji ile değiştirilmesinin hem çok maliyetli olması hem de betonarme ömrünü tamamlamış yapının bu aksamları taşıyamayacağından dolayı daha ekonomik olması bakımından yeni bir tesisin inşa edilmesi.
- ✓ Sorun 3: Mevcut tesisin proje sahası incelendiğinde kanalların çökmüş ve havuzların beton duvarlarının ise kullanılamaz durumda olması; çözüm önerisi ise bakım-onarım çalışmasından ziyade betonarme yapıların yeniden yapılması.
- ✓ Sorun 4: Yağmurlu havalarda tesise aşırı miktarda kum-çakıl malzemenin gelmesi; çözüm önerisi ise tesiste kum tutucu mevcut olmasına rağmen ilave olarak tesis girişinde ana kolektör üzerine uygun ebatlarda iki bölmeden oluşan ön kum tutucu havuzların yapılması, mevcut kum tutucuların periyodik olarak temizlenmesi aksi takdirde kum ve çakılın tesisin her kademesine taşınarak tesisin verimini düşürmektedir.
- ✓ Sorun 5: Yerleşim alanına 50 m mesafede hakim rüzgar yönünde kurulmuş olan AAT'de ön arıtma üniteleri ( kaba ızgara, ince ızgara, kum tutucular), tesiste kapasite yetersizliğinden dolayı fazla bekletilen kaba malzeme (kâğıt, poşet, tahta vs.), çamur susuzlaştırma ünitesi olarak kullanılan belt preslerde ve çamur lagünlerinde özellikle yaz aylarında koku ve sinek probleminin yaşanması ve bu durumun çevre halkını rahatsız etmesi; çözüm önerisi ise AAT'de özellikle koku çıkan ünitelere koku giderme proseslerinin entegre edilmesi.
- ✓ Sorun 6: Havalandırma havuzlarında kullanılan yüzey aeratörlerinin yetersiz ve ölü nokta havalandırma yapması ve aynı zamanda yine boyut olarak büyük ve ağır olmalarının bakım ve onarım çalışmalarını zorlaştırması; çözüm önerisi ise mekanik ve elektrik aksamların yeni teknoloji ile değiştirilmesinin hem çok maliyetli olması hem de betonarme ömrünü tamamlamış yapının bu aksamları taşıyamayacağından ötürü daha ekonomik olması bakımından yeni bir tesisin inşa edilmesi.
- ✓ Sorun 7: Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliğinin hassas alan ilan edilen alıcı ortamlarda azot ve fosfor gideriminde yapılması gerekliliği belirtilmiş olmasına rağmen karbon giderimi yapan biyolojik prosese sahip İskele AAT çıkış suyu değerlerinin mevzuatta belirtilen sınır değerleri sağlıyor olsa da azot ve fosfor giderimi yapan özelliğe sahip olmaması; çözüm önerisi ise Van ilinin azot, fosfor ve karbon giderimi yapan yeni bir arıtma tesisine ihtiyaç duyması.
- ✓ Sorun 8: Çamur susuzlaştırma ünitesi olarak kullanılan belt presinin hem düşük oranda çamur kuruluk oranına sebep olması hem de koku ve sineklenme problemine sebep olması gibi tesis içindeki mekanik ve elektrik aksamının eski teknoloji olması ve proje ömürlerini tamamlamış durumda olması; çözüm önerisi ise mekanik ve elektrik aksamların yeni teknoloji ile değiştirilmesinin hem çok maliyetli olması hem de betonarme ömrünü tamamlamış yapının bu aksamları taşıyamayacağından ötürü daha ekonomik olması bakımından yeni bir tesisin inşa edilmesi.
- ✓ Sorun 9: Beltpress filtre ile %18 katı madde içerikli susuzlaştırılmış çamur elde edilen İskele AAT'de çamurun nihai bir bertarafı için çamur lagünleri tasarlanmıştır. Ancak yerleşim alanının içinde kalan tesiste koku ve sinek problemlerinden dolayı âtil durumda olan çamur lagünlerinde çamur bertarafının yapılamaması; çözüm önerisi ise atık çamurların yerleşim yerine uzak bir mesafede bulunan bir alanda bertaraf edilmesi.
- ✓ Sorun 10: Yerleşim yeri içinde kalan İskele AAT'nin tesis sahasına, etrafında bulunan tel örgülerinin kesilerek kaçak geçişlerin olması ve kesilen tellerin onarılmasına rağmen izinsiz geçişlerin devam etmesi; çözüm önerisi ise hem tesisin ve hem de çevre halkının güvenliği için tesisin etrafına en az 2 m yüksekliğinde çevre duvarının örülmesi.

- ✓ Sorun 11: İskele AAT'nin çıkış suyunun deşarj öncesinde dezenfeksiyon işleminden geçirilmemesi; çözüm önerisi ise arıtma tesisi çıkış suyunun alıcı ortamı olarak rekreasyonel amaçlı kullanılan Van Gölü'ne deşarj edilmeden önce çevre sağlığı ve halk sağlığını korumak amacıyla dezenfeksiyon işleminden geçirilmesi [27].

### 3.2. Edremit Atıksu Arıtma Tesisi

Edremit AAT; 21.840 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli olup, başlangıçta 40.000 kişilik eşdeğer nüfus verisi dikkate alınarak tasarlanmış ve belirlenen kapasitenin yetmeyeceği düşünülerek uygulama aşamasında 100.000 kişilik eşdeğer nüfus verisi baz alınıp proje revize edilerek yeniden tasarlanmıştır. Ancak, yapılan teknik inceleme neticesinde revize edilen projede imalat eksiklikleri ve bazı uygulama hataları tespit edilmiş ve sorunlar ilgili birimin teknik çalışması sonucu giderilmeye çalışılmıştır. Bunun yanında Edremit AAT için diğer sorunlar ve çözüm önerileri aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir [27, 29].

- ✓ Sorun 1: Edremit AAT'nin, ilgili mevzuat hükümlerini yerine getirecek şekilde dizayn edilmiş olmasına rağmen, projede tasarım hatası olarak kademelendirme yıl bazında yapılmamış ve gelecekteki nüfus için projeksiyon hesabı veya proje ömrüne bağlı olarak kapasite artışı için ek alan tahsisinin planlanmamış olması; çözüm önerisi ise tesis sahası yakınındaki arazilerde fizibilite çalışması sonrasında gelecek nüfus oranı dikkate alınarak ek alan tahsis çalışmalarının başlatılması.
- ✓ Sorun 2: Arıtma tesisinin yer seçimi olarak yüksek kotta ve hâkim rüzgâr yönünde kurulmuş olması nedeniyle özellikle havalarda sıcak ve rüzgârlı olduğu dönemlerde kötü kokunun çevre halkını rahatsız etmesi; çözüm önerisi ise yüksek maliyetle kurulan tesisin taşınması veya başka yeni bir tesisin inşasının maliyet açısından mümkün olmaması nedeniyle arıtma tesisine koku giderme ünitelerinin kurularak çıkan kokuların minimize edilmesi.
- ✓ Sorun 3: Tesisteki çoğu üniteye ait betonarme duvarlarda, segregasyonlar, soğuk dezler ve sızma oluşan bölgelerde çalışmalar yapılması; çözüm önerisi ise gelecekte eklenecek hidrolik yüklemenin kontrol edilerek bir takım izolasyon çalışmalarının yapılması, ayrıca bu yönde sızma yapan tayrot deliklerinin uygun malzeme ile kapatılması, uygun bir yalıtım malzemesi ile kaplanması, segregasyonlar ve soğuk derzlerin onarılması.
- ✓ Sorun 4: İmalat eksiklikleri olarak projede olmasına rağmen uygulama sahasında olmayan çalışma sırasında tespit edilen eksiklerin giderilmesi; çözüm önerisi ise 1 adet giriş terfi pompası, 1 adet hava üfleyici ve 1 adet çözünmüş oksijen setinin yerine montajlanarak eksikler giderilmiştir.
- ✓ Sorun 5: Tesisin havalandırılmalı kum ve yağ tutucu ünitesindeki hatalı ve işlevsiz yağ alma yapısı nedeniyle kanalda birikmiş olan yağların giderilmesini sağlayabilmek için betonarme duvar üzerinde açılan deliklerden yağların yere dökülmesi ve tesiste istenmeyen kokulara sebebiyet vermesi; çözüm önerisi ise kanalda biriken yağlar için bantlı ve helezon konveyör veya borulama yapısı gibi kapalı bir sistem kurularak uygun yağ alma prosesinin teşkil edilmesi.
- ✓ Sorun 6: Uygulama hatası olarak; çalışma sırasında tespit edilen tesisin havalandırma havuzlarında 9" (dokuz inç) disk tipi difüzörlerin anoksik ve oksik zonları oluşturacak şekilde yerleştirilmemesi; çözüm önerisi ise havalandırma havuzunda yanlış yerleştirilen difüzörler sökülerek anoksik ve oksik bölgeler oluşturularak sorun giderilmiştir.
- ✓ Sorun 7: Uygulama hatası olarak; çalışma sırasında tespit edilen son çökeltme havuzlarında kullanılan V savaklarının aynı kotta olmaması sebebi ile çıkış suyunun eşit savaklanmadığının tespit edilmesi; çözüm önerisi ise savakların aynı kota getirilerek çıkış suyunun eşit savaklanması sağlanarak sorun giderilmiştir.
- ✓ Sorun 8: Uygulama hatası olarak; çalışma sırasında tespit edilen son çökeltme havuzunda döner köprü yolunun aşırı pürüzlü olması ve aynı eksende olmaması, döner köprü tekerini sürekli bir şekilde deforme etmesi ve dinamoyu zorlayarak kullanım verimini düşürmesi ve döner köprünün aşırı vibrasyonla hareket etmesi sonucu çamurun çökebilirliğini engellemesi; çözüm önerisi ise son çökeltme ünitesinde döner köprünün tek kotta ve pürüzsüz olması için minimum 3 cm'lik mozaik malzemedan kaplama yapılması.
- ✓ Sorun 9: Çökeltme ünitesinde havuzdaki oturmadan kaynaklı dengeli bir savaklama işlemi yapılamaması; çözüm önerisi ise, savaklarda onarım yapılarak sorunun giderilmesi.
- ✓ Sorun 10: Dekantör ve çamur yoğunlaştırma ünitelerinden ayrılan çözünmüş polielektrolit içeren faz suyunun cazibesıyla tesiste kaba ızgaranın öncesine devredilmesi ve polielektrolitin yapışkan

özelliği dolayısıyla boru ve pompa gibi aksamalarda tıkanmalara yol açması, ayrıca özellikle de yağmurlu günlerde tesise gelen atıksu debisinin fazla olmasından kaynaklı geri tepmeler ve giriş bacasında taşmalar görülmesi; çözüm önerisi ise çamurdan ayrılan faz suyunun projeye uygun olarak anaerobik ünitenin başına geri devrettirilmesi [29].

- ✓ Sorun 11: Arıtma tesisine ait projede üretilen çamur için %25 kuru madde oranına getirildikten sonra yapılması gereken herhangi bir çözüm önerisi mevcut değildir. Atık çamur için her ne kadar yeni bir alan arayışı söz konusu olsa da tesisin yakınında bulunan bir alana gelişi güzel bir şekilde depolanmaktadır. Yapılan bu işlem sonucu meydana gelen kötü kokuların çevre halkını rahatsız etmesi; çözüm önerisi olarak sunulacak farklı alternatifler söz konusudur. Bunlardan biri açık ya da kapalı tip olacak şekilde solar ısıtım çamur kurutma yatağının kurulması ve çamur kuru madde oranının %50'ye getirilip, katı atık depolama tesisine gönderilmesidir. İkinci alternatif çamur kuru madde oranını %90 düzeyine getirecek endüstriyel tip çamur kurutma sistemi ile kuru maddenin çimento fabrikası gibi bazı fabrikalarda yakıt olarak değerlendirilmesi ki tesisin hemen yakınında Çimento Fabrikası mevcuttur. Ayrıca kuru maddenin gübre olarak da kullanılması düşünülebilir. Üçüncü alternatif ise çamur kurutma merkezi kurularak tesislerde oluşan çamurların bu merkeze nakledilmesi ve kurutulduktan sonra yakıt veya gübre amaçlı kullanılmasıdır. Son alternatif çözüm önerisi ise mevzuatta istenen uygun kuru madde oranı sağlanan çamurun doğrudan ya da pamuk sapı ve fıstık kabuğu gibi benzeri maddeler ile karıştırıldıktan sonra tarımsal faaliyetlerde gübre amaçlı kullanılması.
- ✓ Sorun 12: Edremit AAT çıkış suyuna herhangi bir dezenfeksiyon işleminin uygulanmaması; çözüm önerisi ise arıtma tesisi çıkış suyunun alıcı ortamı olarak Van Gölü'nün rekreasyon ve yüzme amaçlı kullanımından dolayı çevre sağlığı ve en önemlisi de halk sağlığını korumak amacıyla tesis çıkış suyunun göle deşarjından önce dezenfeksiyon işlemine tabi tutulması.

### 3.3. Gevaş Atıksu Arıtma Tesisi

Gevaş AAT 22.000 eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere inşa edilmiş olup, 7.607 m<sup>3</sup>/gün kapasitelidir. Tesise ait sorunlar ve çözüm önerileri aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

- ✓ Sorun 1: Gevaş Atıksu Arıtma Tesisinin uzun havalandırmalı aktif çamur ünitesinde, havuzun tabanına yerleştirilen disk tipi difüzörler havuz tabanına homojen olarak yerleştirilmediği için oksik ve anoksik bölgeler uygun bir şekilde oluşmadığından dolayı aktif çamur işletme sorunları ile karşılaşılması; çözüm önerisi ise havalandırma ünitesinde difüzörlerin havuz tabanına homojen olacak şekilde döşenmesi.
- ✓ Sorun 2: Havalandırma ünitesinde işletme parametrelerinin en önemlilerinden biri olan çözünmüş oksijen konsantrasyonunu ölçen oksijenmetrenin havuz içinde özellikle çıkış bölmesine montajının yapılmaması; çözüm önerisi ise havalandırma ünitesinde özellikle de anaerobik koşulların oluşmaması ve yüksek kaliteli bir çıkış suyu elde edebilmek için havuz genelinde çözünmüş oksijen konsantrasyonunun ortalama 2 ila 4 mg/L arasında olacak şekilde takibinin yapılması [25-26]. Bu kapsamda havuz içinde oksijenmetrelerin uygun yer ve eksene montajının yapılması ile sorun önemli bir şekilde giderilmiştir.
- ✓ Sorun 3: Havalandırma işleminin özellikle havuzun çıkış bölmesinde istenenden fazla olduğundan hidrolik türbülansın meydana gelerek biyolojik yumakların parçalanmasına ve çıkış suyunda flokların oluşması ile bakteri kaçaklarına neden olması. Ayrıca bu durumun son çökeltme ünitesinde, çamur kabarmasına, iğne uçlu flokların oluşmasına ve çıkış suyunun bulanık ve kötü kokulu olmasına neden olması [27]; çözüm önerisi olarak havuzun çıkış bölmesi boyunca döşenen difüzörlerin bir kısmının difüzör montajı yapılmayan bölmeye aktarılarak yerleştirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Beşkat, [15], tarafından Siverek Atıksu Arıtma Tesisi özelinde işletme problemlerinin tespitine yönelik yapılan çalışmada havalandırma havuzunda meydana gelen türbülansın tıkalı difüzörlerden ve buna bağlı olarak havuz için homojen bir dağılım olmamasından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Çözüm önerisi olarak da difüzörlerin temizlenmesi veya değiştirilmesi neticesinde havuz içinde homojen bir oksijen dağılımının sağlanacağı ifade edilmiştir. Gevaş AAT için de bu durumun benzer şekilde farklı ve fazla havalandırma neticesinde meydana geldiği ifade edilebilir. Benzer sorunlar ve çözümlere Yıldız ve Çekim, [30], tarafından yapılan çalışmada da değinilmiştir.

- ✓ Sorun 4: Biyolojik fosfor giderme ve uzun havalandırmalı aktif çamur ünitelerinde homojen karışım sağlamak, çökmeyi engellemek ve iç resirkülasyon amacı ile kullanılan dalgıç mikserlerin yer ve yön aktarımı için doğru seçim yapılmaması; çözüm önerisi ise mevcut dalgıç mikserlerin, yer ve yön seçimi doğru olacak şekilde amacına uygun yerlere montajı ile ilgili çalışma yapılmış ve sorun giderilmiştir [27-29].
- ✓ Sorun 5: Çamur susuzlaştırma mevcut bir adet dekantörün kullanılması ve olası teknik bir arıza neticesinde çamur çekme işleminin tehlikeye düşmesi; çözüm önerisi ise ciddi işletme sorunu ile karşılaşılması için dekantörün 1 asıl ile birlikte 1 yedeğinin tedarik edilmesi.
- ✓ Sorun 6: Tesiste %25 katı madde içerikli susuzlaştırılmış çamur için nihai bir bertaraf tesisi tasarlanmamış olması; çözüm önerisi ise bu konuyla ilgili çamur yönetim planının hızlı bir şekilde hazırlanması.

### 3.4. Başkale Atıksu Arıtma Tesisi

Yaklaşık 21.000 eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere inşa edilen Başkale AAT kum tutucular sonrasında biyolojik fosfor giderimi yapan anaerobik havuzlar şeklinde tasarlanmıştır. Tesise ait sorunlar ve çözüm önerileri aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

- ✓ Sorun 1: Başkale AAT'nin mevcut durumda projelendirme yapılırken tasarım debilerinin ve diğer tüm hesaplamalarının doğru yapılmasına rağmen kişi başı su tüketim miktarı düşük alındığı için kapasitesinin yetersiz kalması. Bu nedenle tesise beklenenden daha fazla atıksu geldiği için atıksuyun %20'sinin arıtılmaması; çözüm önerisi ise ön arıtma ünite sayılarının artırılması ve ikinci kademe biyolojik arıtma ünitelerinin kademe yılını beklemeden inşa edilmesi.
- ✓ Sorun 2: Kum tutucu ve son çökeltme havuzlarının köprü yollarında kış mevsiminde yaşanan donma nedeniyle köprünün görevini yerine getirememesi nedeniyle önlem amaçlı tuzlama işleminin yapılması ve bundan kaynaklı beton kısımların zamanla zarar görmesi; çözüm önerisi ise döner köprü tekerlerinin önüne kar paletlerinin eklenmesi ve uygun yöntemler kullanılarak ısıtma sistemlerinin kurulması [27].
- ✓ Sorun 3: Tesiste çamur susuzlaştırma ünitesinde çamur hatları ile polielektrolit dozlama hatlarının kış mevsiminde yaşanan soğuk hava koşulları nedeniyle donması ve buna bağlı olarak kış aylarında çamur çekiminin yapılamayarak arıtma verimini aşırı düşürmesi ve aktif çamur işletme problemleri ile karşılaşılması; çözüm önerisi olarak çamur susuzlaştırma binasına ısıtma sisteminin kurulması, bina içi ve dışındaki boru hatlarının uygun izolasyon malzemesi ile kaplanması ve böylece ısı kaybının önlenmesi.
- ✓ Sorun 4: Başkale AAT'de çamur susuzlaştırma prosesi olarak kullanılan beltfiltrenin teknolojisinin eski olması ve yavaş çalışması gibi nedenlerle daha fazla miktarlarda polielektrolit kullanımı, beltfiltrelerin geri yıkanması esnasında aşırı zaman ve su kaybının meydana gelmesi ve teknik bir arıza çıkması durumunda arızanın tespiti ve onarımının oldukça zor ve uzun zaman alması gibi işletme zorluklarına sebep olması; çözüm önerisi ise beltfiltre yerine işletme maliyeti, kolaylığı ve verim açısından daha elverişli bir sistem olarak mekanik çamur susuzlaştırma ünitelerinden biri olan dekantörlerin kullanılması. Dekantörler yüksek yoğunluklu atık çamur oluşturan en verimli proseslerden biridir. En büyük avantajı ise ünite içine sürekli bir çamur girişi sayesinde tam ve sürekli bir işletme sağlanmasıdır. Ayrıca kapalı tasarımları sayesinde koku problemini de engellemeleri başka bir avantajı olarak ifade edilebilir.
- ✓ Sorun 5: Tesiste beltpress filtre ile %18 katı madde içerikli susuzlaştırılmış çamur için nihai bir bertaraf tesisinin tasarlanmamış olması; çözüm önerisi ise çamur yönetim planının hızlı bir şekilde hazırlanması.
- ✓ Sorun 6: Atıksu arıtma tesisine ait projelendirmede açığa çıkan çamurun %18 kuru madde oranına getirildikten sonra bertarafına dair öneri niteliğinde bir bilgi mevcut olmaması; çözüm önerisi olarak ilk alternatif; kurulacak olan açık ya da kapalı tip solar ısıtmalı çamur kurutma yatağında %50 çamur kuru madde oranına ulaşıldıktan sonra katı atık depolama tesisine gönderilmesi. İkinci alternatif; çamur kuru madde oranını %90'lara çıkaracak endüstriyel tip çamur kurutma sistemi kurulması ile elde edilen kuru maddenin tarımsal faaliyetlerde gübre olarak kullanımı ya da Çimento Fabrikası ve benzeri fabrikalara göndererek yakıt olarak kullanılması. Üçüncü alternatif; uygun bir alanda çamur kurutma merkezinin kurulması ve çamurların buraya nakledilip kurutulduktan sonra yakıt veya gübre olarak kullanılması. Son alternatif olarak ise mevzuat

çerçevesinde çamurun istenen kuru madde oranına getirildikten sonra doğrudan veya pamuk sapı, fıstık kabuğu ve benzeri maddelerle karıştırıldıktan sonra tarımsal faaliyetlerde gübre olarak kullanılması şeklinde sıralamak mümkündür [29].

- ✓ Sorun 7: Tesise ait çıkış sularının dezenfeksiyon işlemine tabi tutulmadan Dicle Nehri'ni besleyen bir dereye deşarj edilmesi; çözüm önerisi ise alıcı ortamın aynı zamanda hassas alan niteliğinden dolayı atıksuların dezenfeksiyon işlemine tabi tutulduktan sonra deşarj edilmesi.

### 3.5. Çelebibağı Atıksu Arıtma Tesisi

Çelebibağ AAT 40.000 kişilik eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere maksimum 4361,52 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli olacak şekilde tasarlanmıştır. Tesise ait sorunlar ve çözüm önerileri aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

- ✓ Sorun 1: Havalandırma ünitelerinde kullanılan disk tipi plastik malzemeden yapılmış delikli borulardan oluşan difüzörlerin monte edilmesi sırasında yapılan hatalar arasında havuz içinde atıksuya yön veren mikserlere difüzörlerin çok yakın yerleştirilmesi ve kalitesiz malzeme tercihi sonucunda sık sık arıza yapması, ayrıca hava borularındaki bağlantı noktalarından içeri doğru çamurun girmesiyle hava verme yeteneğini kaybeden difüzörlerin deforme olması; çözüm önerisi ise mikser ile difüzör hava hatları arasındaki mesafenin çok iyi ayarlanması, ayrıca su altında kalan hava iletim hatlarının paslanmaz çelik malzemeden tercih edilmesi.
- ✓ Sorun 2: Çelebibağ AAT'de çamur susuzlaştırma prosesi olarak kullanılan beltfiltrenin eski olması ve yavaş çalışması gibi nedenlerden dolayı daha fazla miktarlarda polielektrolit kullanımı, beltfiltrelerin geri yıkanması esnasında aşırı zaman ve su kaybının meydana gelmesi ve teknik bir arıza çıkması durumunda arızanın tespiti ve onarımının oldukça zor ve uzun zaman alması gibi işletme zorluklarına sebep olması; aynı soruna ait çözüm önerisi olarak Başkale AAT için önerilen alternatiflerin sunulması.
- ✓ Sorun 3: Çelebibağ Atıksu Arıtma Tesisine ait projelendirmede açığa çıkan çamurun %18 kuru madde oranına getirildikten sonra bertarafına dair öneri niteliğinde herhangi bir bilginin mevcut olmaması; aynı soruna ait çözüm önerisi olarak Başkale AAT için önerilen alternatiflerin sunulması [29].

### 3.6. Gölağzı Atıksu Arıtma Tesisi

Gölağzı AAT 205.000 eşdeğer nüfusa hizmet vermek üzere inşa edilmiş olup, maksimum 72.372 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli ve iki kademeli olarak tasarlanmıştır. Tesise ait sorunlar ve çözüm önerileri aşağıda detaylı bir şekilde incelenmiştir.

- ✓ Sorun 1: Gölağzı AAT için fizibilite çalışmalarının iyi yapılmamış olmasının yanında tesise gelen atıksu içerisinde tesisteki ızgaraların, pompa ünitelerinin, kum ayırma ünitesi gibi ekipmanların tıkanmasına sebep olan büyük miktarlarda saman bulunması büyük sorun teşkil etmektedir; çözüm önerisi ise fizibilite çalışmalarının gerçeği yansıtacak şekilde ve doğru bir planlama ile gerçekleştirilerek ek filtreleme prosesleri sayesinde saman probleminin ortadan kaldırılması. Beşkat [15], tarafından yapılan çalışmada Siverek AAT'nin konumu itibarıyla hayvancılıkla uğraşıldığı için benzer şekilde arıtma tesisine gelen atıksular içerisinde fazla miktarda saman olduğu ve bunun da tesis içerisinde bulunan ekipmanların tıkanmasına ve bozulmasına sebep olduğu ifade edilmiştir [27].
- ✓ Sorun 2: Tesiste santrifüj dekantörlerle %25 katı madde içerikli susuzlaştırılmış çamur için nihai bir bertaraf tesisi tasarlanmamış olması; çözüm önerisi ise çamur yönetim planının hızlı bir şekilde hazırlanması.

## 4. Sonuçlar ve Öneriler

Van ilinde işletmede olan atıksu arıtma tesislerinde en çok karşılaşılan problemler; fizibilite, etüt ve proje çalışmalarındaki eksiklik ve hatalar, betonarme yapılarda sorunlar, iklim koşullarına uygun olmayan proses seçimi, yanlış veri kullanımı, kapasite yetersizliği gibi işletme problemlerinin çoğunun tip proje uygulamalarından ötürü yanlış projelendirilmeden kaynaklandığı tespit edilmiştir.

Van ili atıksu arıtma tesislerinde karşılaşılan problemlerin sebepleri detaylandırıldığında;



- Tesis tasarımında proses, ekipman ve enstrümantasyon açısından hatalı seçimlerin yapılması ve inşaat aşamasında yanlış uygulamaların yapılması.
- Mevcut atıksu arıtma tesislerinde, tesisi işletecek bilgiye sahip donanımlı personelin olmaması ve belediye imkanlarının yetersiz kalması.
- Van ilinde işletilen atıksu arıtma tesislerinden çıkan ve belediyeler açısından büyük bir problem olan arıtma çamurları hakkında genel bir çamur yönetim planı oluşturulmamış olması.
- Atıksu arıtma tesislerinin gerek yapımı, gerekse işletimi için yüksek maliyetler gerekmektedir. Belediyeler genelde bu maliyeti karşılamakta zorluk çektiklerinden dolayı bu tesislerin inşaatını Bakanlık, İller Bankası gibi başka kurumlara yaptırmaktadır. Bu kurumlar ise; işletme konusunda çok tecrübeli olmadıklarından ve yerel bölgeye fazla hakim olamadıklarından, bölgeye tam uyumlu olmayan ve işletme bakımından problem çıkartacak tip projeleri uygulamaya almaktadırlar.

Mevcut atıksu arıtma tesislerinin çıkış sularının alıcı ortama deşarj edilmeden önce dezenfeksiyon işlemine tabi tutulması gereklidir. Evsel atıksular biyolojik arıtma süreçlerinden sonra bile yüksek miktarda patojen mikroorganizma içermektedir. Bu nedenle, Van ilindeki arıtılmış atıksuların dezenfekte edildikten sonra alıcı ortama deşarj edilmesi önem arz etmektedir. Atıksu arıtma tesislerinde kaliteli bir çıkış suyu elde etmek için proses seçimi, planlama ve projelendirme süreçlerine büyük bir önem verilmeli ve bu süreçte yeterli sayıda çalışmalar gerçekleştirilmelidir. Düzenli bakım planları yapılmalı ve bunların tarihli olarak kayıtları alınmalıdır. Bakım planında görünen fakat bakımları yapılamamış olanlara öncelik verilmelidir. Bu problemlerle karşılaşmamak için gerek tesisleri dizayn edenlerin gerekse işletenlerin deneyimli kişi ya da kuruluşlarla birlikte çalışılması, ihtiyaç duyulan ekipmanların temin edilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Arıtma tesislerinde karşılaşılan bir çok problemin çözümü bu çalışma kapsamında belirtilmiştir. Sorun yaşanan atıksu arıtma tesislerinde bahsedilen çözüm önerilerinin uygulanması durumunda tesislerin çoğunun istenilen verimde çalışması sağlanacaktır. Ancak, bu çözüm önerilerinin uygulanabilmesi için, yaşanan sorunlara çözümleri uygulayabilecek kapasitede kalifiye personelin bulundurulması veya mevcut personele özel bir eğitim verilmesi gerektiği düşünülmektedir.

### **Yazarların Katkısı**

Yazarlar makaleye eşit oranda 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] Yetiş R., Atasoy A.D., Demir Yetiş A., Yeşilnacar M.I. 2018. Balıklıgöl havzası su kaynaklarının nitrat ve nitrit seviyelerinin belirlenmesi. Çukurova Üniveristesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 33 (1): 47–54.
- [2] Yetiş R., Atasoy A.D., Demir Yetiş A., Yeşilnacar M.I. 2019. Hydrogeochemical characteristics and quality assessment of groundwater in Balıklıgöl basin, Sanliurfa, Turkey. Environmental Earth Sciences, 78: 1–17.
- [3] Demir Yetiş A., Selek Z., Selek B. 2019. Ecosystem Based Water Quality Management. In: Wetlands and Their Interaction with Water Resources in Terms of Water Quality, 1st edn., Edited by Selek Z., Karaaslan Y., Republic of Turkey Ministry of Agriculture and Forestry, Ankara, 345–372.
- [4] Selek Z., Demir Yetiş A. 2017. Assessment of nitrate contamination in a transnational groundwater basin: A case study in the Ceylanpınar plain, Turkey. Environmental Earth Sciences, 76 (20): 1-11.

- [5] Bayhan İ., Yeşilnacar M.I., Demir Yetiş A., Tutkun E. 2020. An evaluation of drinking-usage water quality in terms of environmental health: A case study of Siverek (Sanlıurfa). Turkey. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 77: 107-120.
- [6] Demir Yetiş A., Kahraman N., Yesilnacar M.I., Kara H. 2021. Groundwater quality assessment using GIS based on some pollution indicators over the past 10 years (2005–2015): A case study from semi-arid Harran plain, Turkey. *Water Air Soil Pollution*, 232: 1-17.
- [7] Chen Y., Peng C., Wang J., Ye L., Zhang L., Peng Y. 2011. Effect of nitrate recycling ratio on simultaneous biological nutrient removal in a novel anaerobic/anoxic/oxic (A2/O)-biological aerated filter (BAF) system. *Bioresource Technology*, 102: 5722-5727.
- [8] Erkuş A., Başibüyük M., Erkuş F.Ş. 2015. The examination of paracetamol and diclofenac removal in activated sludge systems under different operating conditions. *International Journal of Ecosystems and Ecology Science-IJEES*, 5: 315-320.
- [9] Saatçı Y., Özgüven A., Demirci Y. 2007. The Promotion UV Disinfection efficiency in treating secondary effluent by expandedperlite filter. *Manas Journal of Natural Sciences*, 1 (8), 55-65.
- [10] Vaiopoulou E., Aivasidis A. 2008. A modified UCT method for biological nutrient removal: Configuration and performance. *Chemosphere*, 72: 1062-1068.
- [11] Jasim N.A. 2020. The design for wastewater treatment plant (WWTP) with GPS X modelling. *Cogent Engineering*, 7 (1), 1723782.
- [12] Serdarevic A., Dzibur A. 2019. Importance and Practice of Operation and Maintenance of Wastewater Treatment Plants, *Proceedings of the International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies (IAT)*. Springer Publishing, [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-02577-9\\_14](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-02577-9_14).
- [13] Holloway T.G., Williams J.B., Ouelhadj D., Cleasby B. 2019. Process stress in municipal wastewater treatment processes: A new model for monitoring resilience. *Process Safety and Environmental Protection*, 132: 169-181.
- [14] SKKY, (2004). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 31.12.2004 Tarih ve 25687 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.
- [15] Beşkat M.E. 2009. Eysel Atık su Arıtma Tesisleri İşletim Problemleri Siverek Atık su Arıtma Tesisi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 1-85.
- [16] Turan, G. 2013. Kentsel Atıksu Arıtma Tesisleri ve İşletme Sorunları. Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nevşehir, 1-109.
- [17] Baumann P., Krauth KH., Maier W., Roth M. 2012. Operational Problems in Wastewater Treatment Plants. Vol. 3. DWA Landesverband, Stuttgart.
- [18] Özalp S., Aydemir B.S., Olgun Ş., Şimşek B., Elmacı H., Evren M., Emre Ö., Aydın M.B., Kurtuluş O., Öcal F., Can A.Z., Yanmaz M.N., Apa R., Duman T.Y. 2016. Van Gölü (Edremit Körfezi) kuyaterner çökellerinde tektonik deformasyonlar. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 153: 45-61.
- [19] Yiğit A., İrak Z.T., Öztürk D., Öztürk E., Alpaslan D., Şahan T., Aktaş N. 2017. Van gölü suyunun iyon karakterizasyonu ile su kalitesinin belirlenmesi. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (4): 169-179.
- [20] Ozguven, A., Demir Yetiş A. 2020. Assessment of spatiotemporal water quality variations, impact analysis and trophic status of big soda lake Van, Turkey. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231: 1-17.
- [21] Demir Yetiş A., Özgüven A. 2020. Van gölü Edremit kıyısı yüzey sularında ağır metal kirliliğinin araştırılması. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 25 (2): 831-848.
- [22] Anonim, 2011. Edremit Atıksu Arıtma Tesisi Proje Raporu, Van.
- [23] Anonim, 2013a. İller Bankası Gevaş Atık Su Arıtma Tesisi Kesin Projesi Açıklama Raporu, Van.
- [24] Anonim, 2013b. İller Bankası Başkale Atık Su Arıtma Tesisi Proje Raporu, Van.
- [25] Anonim, 2014a. İller Bankası Çelebibağı Atık Su Arıtma Tesisi Poreses Raporu, Van.
- [26] Anonim, 2014b. İller Bankası Erçiş Atık Su Arıtma Tesisi ve Kanalizasyon İnşaatı Proje Açıklama Raporu, Van.
- [27] Durak A. 2020. Eysel Atık Suların Arıtılmasında Biyolojik Arıtma Yönteminin Uygulanması ve İşletme Sorunlarının İncelenmesi Van İli Örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van 1-140.
- [28] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), 2018. Sağlık Kuruluşları Atık İstatistikleri, 18781.
- [29] Anonim, 2009. Van Atık Su Arıtma Tesisi Teknik Değerlendirme Raporu, Van.

- [30] Yıldız S., Çekim M. 2016. Paket/Küçük Kapasiteli Atıksu Arıtma Sistemlerindeki İşletme Problemleri ve Çözüm Önerileri. International Symposium of Water and Wastewater Management October 26-28, Malatya.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Hesitant Fuzzy Linguistic Decision Approach for Stroller Selection

Billur Ecer\*

*Ankara Yıldırım Beyazıt University, Department of Industrial Engineering, Ankara, Turkey  
(ORCID: [0000-0001-9692-1450](https://orcid.org/0000-0001-9692-1450))*

---

### Abstract

Having a baby brings new changes and challenges in parents' life. There is a list of things which are required in order to provide a comfortable life for the baby. Since most of the people have limited economic resources, determination of the things to be bought becomes an important decision for parents. Moreover, the number of alternatives for the items in shopping list (bed, clothes, feeding equipment, stroller, etc.) is very much. Therefore, making a choice among alternative items is necessary. For each item, different alternatives have several advantages over another in views of different aspects. Consideration of several aspects of items would lead to good decisions, and parents must evaluate things in this way. It is aimed in this research to develop an analytic decision-making approach for stroller selection decision of parents. Hesitant fuzzy linguistic terms set (HFLTS) approach was presented in order to model the uncertain situations that the decision makers feel hesitant over various values of a linguistic variable. By using this pattern, elicitation of linguistic information is improved and thoughts of decision makers are represented better in decision models. Under the consideration of hesitant feelings of parents, HFLTS based group decision making approach is utilized to determine the optimum stroller. A practice of the presented model is presented to indicate its applicability and the presented decision approach seems useful for stroller selection.

**Keywords:** Hesitant fuzzy sets, Multi-criteria decision making, Stroller selection, Group decision making, Hesitant fuzzy linguistic terms set.

---

## Bebek Arabası Seçimi İçin Tereddütlü Bulanık Dilsel Karar Yaklaşımı

---

### Özet

Bebek sahibi olmak ebeveynlerin yaşamına yeni değişimler ve zorlukları da beraberinde getirir. Bebeğe rahat bir yaşam sunabilmek için gereken pek çok şey vardır. Çoğu insanın sınırlı ekonomik kaynakları olmasından ötürü, satın alınacak nesnelerin belirlenmesi ebeveynler için önemli bir karar haline gelmektedir. Ayrıca, alınması gereken her bir nesne (yatak, kıyafet, besleme ekipmanları, bebek arabası, vb.) için çok sayıda seçenek vardır. Bu nedenle, seçenekler arasında bir seçim yapmak gereklidir. Farklı seçeneklerin diğerleri üzerinde farklı yönlerden üstünlükleri söz konusudur. Farklı yönleri dikkate almak iyi bir karar vermeyi sağlayacaktır, ebeveynlerin de bu yönde hareket etmelidir. Bu çalışmada, ebeveynlerin bebek arabası seçimi kararı için analitik bir karar modeli geliştirmek amaçlanmıştır. Tereddütlü bulanık dilsel terimler kümesi (Hesitant Fuzzy Linguistic Terms Set = HFLTS) yaklaşımı, karar vericilerin dilsel bir değişkenin çeşitli değerleri arasında kararsız kaldığı kesin olmayan durumları modellemek için geliştirilmiştir. Bu yaklaşım kullanılarak dilsel bilginin çıkarımı iyileştirilmekte ve karar vericilerin düşünceleri karar modellerinde daha iyi temsil edilebilmektedir. Ebeveynlerin kararsız hislere sahip olacağı düşüncesi altında HFLTS temelli grup karar verme yaklaşımı en iyi bebek arabasını bulmak için kullanılmıştır. Yaklaşımın uygulanabilirliğini göstermek üzere bir uygulama çalışması sunulmuş ve önerilen modelin bebek arabası seçiminde kullanışlı olduğu görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Tereddütlü bulanık kümeler, Çok kriterli karar verme, Bebek arabası seçimi, Grup karar verme, Tereddütlü bulanık dilsel terimler kümesi.

---

---

\*Corresponding author: [becer@ybu.edu.tr](mailto:becer@ybu.edu.tr)

Received: 01.07.2021, Accepted: 25.08.2021

## 1. Introduction

Decision making is a common activity of daily lives of people. Some examples of everyday life decisions are choosing a variety of products for shopping, determination a table to sit in a restaurant, or setting a driving route from start to destination. There must be a selection process between at least two options in order to talk about making a decision. It is not possible to talk about a decision if the decision maker has only one alternative. Also, making a decision by considering one criterion is simple. The option close to the best value is chosen. However, decision-making in general requires considering several criteria at the same time.

In such cases, the decision-making problem turns into a more complex structure. Because in these situations the decision criteria are often contradictory. For example, the decision to buy a car requires considering several criteria simultaneously. Comfort, fuel consumption, power, safety, selling price, etc. can be considered as several aspects of this decision. Cars providing more comfort are generally expensive, on the other hand cars with less selling prices generally generate less power. So, making a decision that satisfy all aspects of the decision is mostly impracticable. Hence, decision maker must make a good decision by considering all criteria.

Decision problems with a limited number of criteria and a limited number of alternatives to evaluate are described as multi-criteria decision making (MCDM) problems. Besides they have similar steps, there are too many different MCDM methods proposed and applied on several decision problems by researchers so far. Some of the most common MCDM techniques can be listed as Analytic Hierarchy Process (AHP), Analytic Network Process (ANP) and Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). MCDM techniques can be easily used on any decision problems to obtain solution, without considering they have qualitative or quantitative criteria.

In some cases, decision elements can be defined using linguistic variables. Usage of linguistic variables may cause uncertainty about decision elements, because different experts can define dissimilar values by using identical linguistic terms. For example, height of a man can be indicated by using “short”, “medium” and “tall” words. One person can describe a man with 180 cm height with “tall” word and another person can define a man with 190 cm height as “tall”. Fuzzy set theory is used to evaluate such uncertainties caused by linguistic expressions. Zadeh [1] introduced fuzzy set theory into literature and Bellmann and Zadeh [2] integrated fuzzy logic into decision-making problems.

Several weaknesses and shortages of ordinal fuzzy set (FS) theory of Zadeh has been improved by researchers based on the methodological progresses. Most common extensions of FS theory are type-II FSs [3], intuitionistic FSs [4], neutrosophic FSs [5] and hesitant FSs [6].

Hesitant FSs were introduced into the literature to define hesitant feelings several values of an element that people face during the evaluation process. The ability to model hesitant emotions using hesitant fuzzy sets has caught the attention of researchers to integrate the concept into decision-making practices. Rodriguez et al. [7] developed an approach named hesitant fuzzy linguistic term sets (HFLTS). HFLTS concept helps decision makers to express their hesitant feelings using a context-free grammar.

HFLTS provides the opportunity to use compound terms defined by context-independent grammar, where fuzzy linguistic approach restricts experts to express their thoughts in a single term. The opportunity to use multiple linguistic terms for expressions is the main advantage over other fuzzy approaches.

Decision making models based on HFLTS have been developed to find solutions to a wide variety of problem areas, so far. Yavuz et al. [8] developed a group decision making (GDM) based on HFLTS to evaluate alternative fuel buses. A likelihood-based TODIM approach based on multi-hesitant fuzzy linguistic (HFL) information was used to assess third party logistics service providers [9]. Prioritization of patients in a hospital of China was made by using a HFL Projection-Based MABAC approach [10]. Feasibility of application of HFLTS based TOPSIS and VIKOR methods on healthcare waste disposal management evaluation was illustrated on an example [11]. Assessment of alternative hotel locations was evaluated by using a HFLTS based ELECTRE-III method [12]. Extension of ORESTE method with HFL elements was presented as a way to obtain solution of supplier selection problem [13]. Hesitant 2-tuple linguistic term sets based QUALIFLEX method was used to evaluate alternative robots in manufacturing systems [14]. Social sustainability assessment of small hydro power plants was made using ANP and HFLTS based PROMETHEE method [15]. Risks of urban rooftop distributed photovoltaics in energy performance contracting (EPC) projects were evaluated by using the

HFLTS based DEMATEL approach [16]. Hesitant fuzzy linguistic extension of BWM was proposed by Liao et al. [17] and tested on a case study on hospital performance evaluation. Websites of 70 Industrial Engineering departments in Turkey was evaluated in views of search engine optimization criteria by using a HFLTS based approach to determine criteria weights and a TOPSIS application to evaluate websites [18]. Weights of selection criteria of the eco-friendly cities were determined by using a HFLTS based approach and 81 cities in Turkey were evaluated by using ARAS method [19]. Readers may refer to review studies conducted by Hai et al. [20] and Liao et al. [21] for developments and applications of hesitant fuzzy linguistic decision-making applications.

The GDM methodology based on HFLTS of Yavuz et al. [8] was applied in this study on stroller selection decision of parents for a new-born baby. Parents may hesitate to express their opinion on selection criteria and alternative features. The HFLTS based group decision making approach provides the ability to evaluate decision elements by pairwise comparisons and to express hesitant feeling of decision makers. In this way, it becomes easier to obtain solutions from many alternatives by considering conflicting criteria, without the need for numerical data for criteria and alternatives.

The remainder of this paper is as follows: A summary of HFLTS based decision making applications was presented in the second part. Third part consists of a short description of methodology. Application of stroller selection with the method was presented in the fourth part. Finally, conclusion of the study by providing comments and suggestions for further research was given in the fifth part.

## 2. Material and Methods

Decision making is an ordinary activity of everyday life. A simple definition of decision making can be made as choosing an alternative from a set of possible options. In most cases, making a decision involves considering several criteria simultaneously. In such conditions, the decision problem gets a more complicated structure; because the existence of several criteria makes the decision problem contradictory. Some of the alternatives may be better in views of some criteria, while others may be better for other criteria. At this point, making a decision becomes more difficult. Decision problems with a limited number of alternatives and many criteria are named as multiple criteria decision making problems. There are several methods have been proposed in the literature to model and solve multiple criteria decision making problems.

There are three groups of decision making problems related to the structure of problem data:

- i. decision making under certainty,
- ii. decision making under risk,
- iii. decision making under uncertainty.

The first group refers to decision problem having certain data. The second group defines the situations that the problem data is expressed by some probability distributions. The group of decision making by considering uncertainty consists the decision problems with uncertain data which cannot be expressed by statistical distributions. Fuzzy logic is commonly used for decision making under uncertainty, because fuzzy logic is appropriate for dealing with uncertain or linguistic terms having no past data or probability distributions.

In this study, the GDM approach based on HFLTS proposed by Yavuz et al. [8] was used for selection of the best stroller for a new-born baby. HFLTS is used in this study, because this approach gives the opportunity to model hesitant feelings of decision makers in rating of criteria and alternatives. The algorithm steps are as follows:

- Step 1: Determine the problem goal, criteria and alternatives.
- Step 2: Determine the linguistic terms and context – free grammar.
- Step 3: Collect users' opinions for criteria and decision options.
- Step 4: Convert users' opinions into HFLTS.
- Step 5: Obtain the collective preferences.
- Step 6: Build the vector of intervals for collective preferences.
- Step 7: Obtain the priority values after normalization of intervals.
- Step 8: Select the best stroller

These steps of the algorithm were given in detail in the next section of the study.

### 3. Results and Discussion

This part presents the application steps in detail for stroller selection. Parents of the baby (mother and father) and grandmother were considered as the user group of the stroller. Thoughts and feelings of 3 users were collected for evaluation of criteria and alternatives. Mother is expected to be the user for 50% of time, while father is expected to use the stroller 30% of time and the rest 20% is considered for grandmother. The usage rates given here were used for opinion aggregation weights. Details for steps of the decision approach are explained as follows:

Step 1: Determine the goal, criteria and alternatives: The goal of the problem is determination of the best stroller among four alternatives (A1 – A4). Weight (C1), ease of use (C2), dimensions (C3), price (C4) and comfort of baby (C5) were taken into account as evaluation criteria. Decision hierarchy of stroller selection was presented in Figure 1.

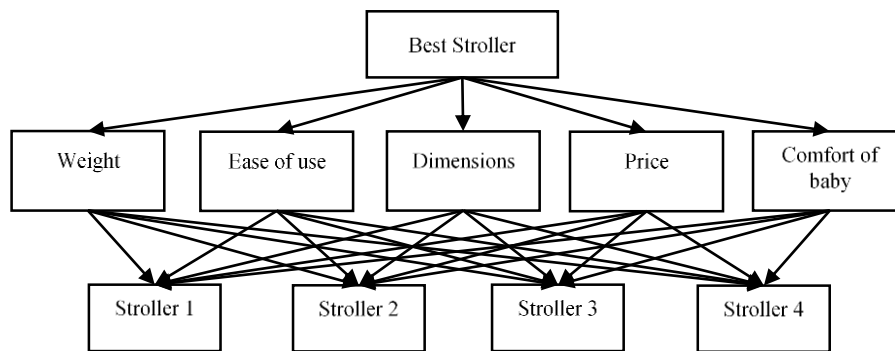


Figure 1. Structure of the decision problem

Step 2: Determine the linguistic terms and context – free grammar: Linguistic terms for importance degrees used in the study are given in Table 1. Linguistic terms are connected to the others by using an appropriate relation term from the set of “at most”, “at least”, “greater than”, “lower than”, “is” and “between” or defined as single linguistic terms as it is described in [7] and [8].

Importance Degree	Linguistic Term
0	Not important (ni)
1	Very lowly important (vli)
2	Lowly important (li)
3	Moderately important (mi)
4	Highly important (hi)
5	Very highly important (vhi)
6	Absolutely important (ai)

Step 3: Collect users’ opinions for criteria and alternatives: User preferences for evaluation criteria with respect to goal were given in Table 2 and alternative evaluation matrices according to evaluation criteria were given in Table 3 – 7, respectively.

**Table 2.** User preferences on evaluation criteria with respect to goal

User		C1	C2	C3	C4	C5
1	C1	-	between li and mi	between vli and mi	li	ni
	C2	between mi and hi	-	at least mi	mi	at most li
	C3	between mi and vhi	at most mi	-	between mi and hi	ni
	C4	hi	mi	between li and mi	-	li
	C5	ai	at least hi	ai	hi	-
2	C1	-	between li and mi	mi	between li and mi	at most vli
	C2	between mi and hi	-	between m and h	m	at most vli
	C3	mi	between li and mi	-	at most li	at most vli
	C4	between mi and hi	mi	at least hi	-	between li and mi
	C5	at least vhi	at least vhi	at least vhi	between mi and hi	-
3	C1	-	li	between h and vh	li	at most li
	C2	hi	-	h	li	at most li
	C3	between vli and li	li	-	between li and mi	li
	C4	hi	hi	between mi and hi	-	between vli and li
	C5	at least hi	at least hi	hi	between hi and vhi	-

**Table 3.** User preferences on stroller alternatives with respect to C1

User		A1	A2	A3	A4
1	A1	-	li	ni	li
	A2	hi	-	ni	li
	A3	ai	ai	-	between mi and hi
	A4	hi	hi	between li and mi	-
2	A1	-	mi	at most vli	between li and mi
	A2	mi	-	at most li	mi
	A3	at least vhi	at least hi	-	vhi
	A4	between mi and hi	mi	vli	-
3	A1	-	vli	ni	li
	A2	vhi	-	between vli and mi	between li and mi
	A3	ai	-	-	hi
	A4	hi	between mi and hi	li	-



**Table 4.** User preferences on stroller alternatives with respect to C2

User		A1	A2	A3	A4
1	A1	-	mi	between mi and hi	hi
	A2	mi	-	at least mi	mi
	A3	between li and mi	at most mi	-	at least hi
	A4	li	mi	at most li	-
2	A1	-	between mi and hi	hi	mi
	A2	between li and mi	-	hi	mi
	A3	li	li	-	mi
	A4	mi	mi	mi	-
3	A1	-	between mi and hi	hi	between mi and hi
	A2	between li and mi	-	at least hi	at least hi
	A3	li	at most li	-	between vli and li
	A4	between li and mi	at most li	between hi and vhi	-

**Table 5.** User preferences on stroller alternatives with respect to C3

User		A1	A2	A3	A4
1	A1	-	between li and mi	vli	between li and mi
	A2	between mi and hi	-	between li and mi	between li and mi
	A3	vhi	between mi and hi	-	at least hi
	A4	between mi and hi	between mi and hi	at most li	-
2	A1	-	mi	between vli and mi	mi
	A2	mi	-	li	mi
	A3	between mi and vhi	hi	-	hi
	A4	mi	mi	li	-
3	A1	-	between mi and hi	vli	at most li
	A2	between li and mi	-	vli	between mi and hi
	A3	vhi	vhi	-	ai
	A4	at least hi	between li and mi	ni	-

**Table 6.**User preferences on stroller alternatives with respect to C4

User		A1	A2	A3	A4
1	A1	-	li	vli	between li and mi
	A2	hi	-	li	mi
	A3	vhi	hi	-	at least hi
	A4	between mi and hi	mi	at most li	-
2	A1	-	vli	at most vli	li
	A2	vhi	-	at most li	mi
	A3	at least vhi	at least hi	-	vhi
	A4	hi	mi	vli	-
3	A1	-	li	ni	between li and mi
	A2	hi	-	vli	mi
	A3	ai	between mi and hi	-	at least hi
	A4	between mi and hi	mi	at most li	-

**Table 7.** User preferences on stroller alternatives with respect to C5

User		A1	A2	A3	A4
1	A1	-	at least hi	ai	between mi and hi
	A2	at most li	-	at least hi	mi
	A3	ni	at most li	-	between li and mi
	A4	between li and mi	mi	between mi and hi	-
2	A1	-	at least mi	at least hi	between mi and vhi
	A2	at most mi	-	at least hi	mi
	A3	at most li	at most li	-	at most li
	A4	between vli and mi	mi	at least hi	-
3	A1	-	between mi and hi	hi	between hi and vhi
	A2	between li and mi	-	ai	at least mi
	A3	li	ni	-	between vli and li
	A4	between vli and li	at most mi	between hi and vhi	-

Step 4: Transform users' opinions into HFLTS: Applying grammar rules, experts' preferences are transformed into HFLTSs. A HFLTS is represented by the terms with lowest and highest importance linguistic evaluation of user. An example of this transformation was given for the HFLTS equivalents of user preferences on criteria in Table 8.

**Table 8.** HFLTS equivalents of criteria evaluation

User		C1	C2	C3	C4	C5
1	C1	[-, -]	[li, mi]	[vli, mi]	[li, li]	[ni, ni]
	C2	[mi, hi]	[-, -]	[mi, ai]	[mi, mi]	[ni, li]
	C3	[mi, vhi]	[ni, mi]	[-, -]	[mi, hi]	[ni, ni]
	C4	[hi, hi]	[mi, mi]	[li, mi]	[-, -]	[li, li]
	C5	[ai, ai]	[hi, ai]	[ai, ai]	[hi, hi]	[-, -]
2	C1	[-, -]	[li, mi]	[mi, mi]	[li, mi]	[ni, vli]
	C2	[mi, hi]	[-, -]	[mi, hi]	[mi, mi]	[ni, vli]
	C3	[mi, mi]	[li, mi]	[-, -]	[ni, li]	[ni, vli]
	C4	[mi, hi]	[mi, mi]	[hi, ai]	[-, -]	[li, mi]
	C5	[vhi, ai]	[vhi, ai]	[vhi, ai]	[mi, hi]	[-, -]
3	C1	[-, -]	[li, li]	[hi, vhi]	[li, li]	[ni, li]
	C2	[hi, hi]	[-, -]	[hi, hi]	[li, li]	[ni, li]
	C3	[vli, li]	[li, li]	[-, -]	[li, mi]	[li, li]
	C4	[hi, hi]	[hi, hi]	[mi, hi]	[-, -]	[vli, li]
	C5	[hi, ai]	[hi, ai]	[hi, hi]	[hi, vhi]	[-, -]

Step 5: Obtain the collective preferences: Optimistic and pessimistic corporate preferences are obtained by collecting of users' opinions via weighted sum operator. Weights of users are determined 0.5, 0.3 and 0.2, respectively. Numerical values for optimistic and pessimistic collective preferences for criteria are given in Table 9.

**Table 9.** Collective preferences for criteria

	Optimistic Preferences					Pessimistic Preferences				
	C1	C2	C3	C4	C5	C1	C2	C3	C4	C5
C1	-	2.80	3.40	2.30	0.70	-	3.70	4.60	3.70	0.30
C2	4.00	-	5.00	2.80	1.70	5.60	-	5.60	5.20	0.30
C3	3.80	2.80	-	3.20	0.70	5.00	2.70	-	2.20	0.70
C4	4.00	3.20	4.10	-	2.30	6.10	5.60	5.90	-	3.50
C5	6.00	6.00	5.60	4.20	-	9.10	8.10	9.10	6.10	-

Step 6: Build the vector of intervals: Arithmetic mean operator used for calculation of vector of intervals. In pessimistic and optimistic corporate preference matrices, arithmetic mean of each row gives the corresponding lower and upper bound value for elements of vector of intervals.

Step 7: Obtain the priority values: Midpoints of intervals were calculated, then they are normalized. Obtained normalized values show the priority values. Computations in Step 6 and Step 7 for priority values (weights) of criteria in Table 10.

**Table 10.** Calculation of priority values

	Interval Utilities	Midpoints	Weights
C1	3.075	2.300	0.133
C2	4.175	3.375	0.187
C3	2.650	2.625	0.130
C4	5.275	3.400	0.215
C5	8.100	5.450	0.335

Step 8: Selection of the best stroller: The best stroller was determined by multiplication of alternative priorities in views of each criteria and criteria weights. Priority values of alternatives can also be calculated by following application steps. Priority values of alternatives were calculated and given here and the final evaluation scores of alternatives calculated as given in Eq. (1) as follows:

$$\begin{bmatrix} 0.135 & 0.291 & 0.189 & 0.126 & 0.379 \\ 0.195 & 0.284 & 0.227 & 0.244 & 0.276 \\ 0.419 & 0.208 & 0.359 & 0.409 & 0.082 \\ 0.251 & 0.218 & 0.224 & 0.221 & 0.263 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0.133 \\ 0.187 \\ 0.130 \\ 0.215 \\ 0.335 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2509 \\ 0.2535 \\ 0.2566 \\ 0.2389 \end{bmatrix} \tag{1}$$

The alternative with the highest score in the equation above is the best stroller. So, the parents should buy A3. A2 follows A3 with a small difference. A1 and A4 is the priority order of other alternatives.

#### 4. Summary and Conclusions

Fuzzy MCDM applications have an extensive application area in the literature. Since these approaches helps modelling linguistic and uncertain feelings of decision makers, they are very useful to cope with uncertainty faced in decision problems.

Parent candidate are generally excited about having a new baby. They are also feel hesitant about the things required for the baby, because there too many alternatives for each item in their shopping list. Alternatives for each item have different advantages over another one. So, making a clear expression about their opinions is commonly hard.

HFLTS approach makes it possible for decision makers to indicate their feelings by using different linguistic terms. By the way, uncertainty and hesitant feelings can be defined in decision models.

In this study, HFLTS based GDM was used for determination of the best stroller for a family, who will have a new baby. Opinions of three users defined by hesitant fuzzy linguistic statements were

aggregated by weighted sum operator and four alternatives were determined by considering five evaluation criteria. A3 is determined as the best stroller.

Applications of decision making are not very similar for this kind of decisions. So, this study can be extended with proposing an optimization model that contains selection of different items needed for a baby under a budget limitation. A very promising extension way to this study can be made by consideration of different criteria in the evaluation process. Hybrid decision making methods, which integrate different approaches such as TOPSIS, VIKOR, ELECTRE, etc. can be utilized to obtain solution to the problem. Different fuzzy sets i.e. intuitionistic, neutrosophic, type-II, etc. can also be taken into consideration.

### Statement of Research and Publication Ethics

The authors declare that this study complies with Research and Publication Ethics.

### References

- [1] Zadeh L.A. 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8: 338-353.
- [2] Bellman R.E., Zadeh L.A. 1970. Decision-making in a fuzzy environment. *Management Science Series B-Application*, 17: B141-B164.
- [3] Zadeh L.A. 1975. Concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-1. *Information Sciences*, 8: 199-249.
- [4] Atanassov K.T. 1986. Intuitionistic fuzzy-sets. *Fuzzy Sets and Systems*, 20: 87-96.
- [5] Smaradache F. 2002. A unifying field in logics: Neutrosophic logic. *Multiple-Valued Logic*, 8: 385-438.
- [6] Torra V. 2010. Hesitant fuzzy sets. *International Journal of Intelligent Systems*, 25: 529-539.
- [7] Rodriguez R.M., Martinez L. Herrera F. 2012. Hesitant fuzzy linguistic term sets for decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20: 109-119.
- [8] Yavuz M., Oztaysi B., Onar, S.C., Kahraman C. 2015. Multi-criteria evaluation of alternative fuel vehicles via a hierarchical hesitant fuzzy linguistic model. *Expert Systems with Applications*, 42: 2835-2848.
- [9] Wang J., Wang J.Q., Zhang H.Y. 2016. A likelihood-based TODIM approach based on multi hesitant fuzzy linguistic information for evaluation in logistics outsourcing. *Computers & Industrial Engineering*, 99: 287-299.
- [10] Sun, R.X., Hu J.H., Zhou J.D., Chen X.H. 2018. A hesitant fuzzy linguistic projection based mabac method for patients' prioritization. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20: 2144-2160.
- [11] Wu Z.B., Xu J.P., Jiang X.L., Zhong L. 2019. Two MAGDM models based on hesitant fuzzy linguistic term sets with possibility distributions: VIKOR and TOPSIS. *Information Sciences*, 473: 101-120.
- [12] Ji P., Zhang H.Y., Wang J.Q. 2018. A projection-based outranking method with multi hesitant fuzzy linguistic term sets for hotel location selection. *Cognitive Computation*, 10: 737-751.
- [13] Liao H.C., Wu X.L., Liang X.D., Xu J.P., Herrera F. 2018. A new hesitant fuzzy linguistic ORESTE method for hybrid multicriteria decision making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 26: 3793-3807.
- [14] Xue Y.X., You J.X., Zhao X.F., Liu H.C. 2016. An integrated linguistic MCDM approach for robot evaluation and selection with incomplete weight information. *International Journal of Production Research*, 54: 5452-5467.
- [15] Wu Y.N., Wang Y., Chen K. F., Xu C. B., Li L.W.Y. 2017. Social sustainability assessment of small hydropower with hesitant PROMETHEE method. *Sustainable Cities and Society*, 35: 522-537.
- [16] Wu Y.N., Zhou, J.L. 2019. Risk assessment of urban rooftop distributed PV in energy performance contracting (EPC) projects: An extended HFLTS-DEMATEL fuzzy synthetic evaluation analysis. *Sustainable Cities and Society*, 47: 101524.
- [17] Liao H.C., Mi, X.M., Yu Q., Luo L. 2019. Hospital performance evaluation by a hesitant fuzzy linguistic best worst method with inconsistency repairing. *Journal of Cleaner Production*, 232: 657-671.

- [18] Ozkan B., Ozceylan E., Kabak M. Dagdeviren M. 2020. Evaluating the websites of academic departments through SEO criteria: a hesitant fuzzy linguistic MCDM approach. *Artificial Intelligence Review*, 53: 875-905.
- [19] Boyaci A.C. 2020. Selection of eco-friendly cities in Turkey via a hybrid hesitant fuzzy decision making approach. *Applied Soft Computing*, 89: 106090.
- [20] Hai W., Xu Z.S., Zeng X.J. 2018. Hesitant fuzzy linguistic term sets for linguistic decision making: Current developments, issues and challenges. *Information Fusion*, 43: 1-12.
- [21] Liao H.C., Xu Z.S., Herrera-Viedma E., Herrera F. 2018. Hesitant fuzzy linguistic term set and its application in decision making: A state-of-the-art survey. *International Journal of Fuzzy Systems*, 20: 2084-2110.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Yerel (Artvin-Şavşat) ve Tescilli Domates Çeşitlerinde Kuraklık Stresine Karşı Tolerans Seviyelerinin Araştırılması**

Mehmet DEMİRALAY\*

*Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 0800, Artvin, Türkiye  
(ORCID: [0000-0001-6528-4591](https://orcid.org/0000-0001-6528-4591))*

---

### **Öz**

Kuraklığın artmasıyla birlikte domates ürün kalitesinde ve ürün veriminde ciddi düşüşler meydana gelmektedir. Stresin sebep olduğu verim ve kalitedeki düşüşleri azaltmanın en önemli yollarından biri de bitkilerin kuraklıktan etkilenme şeklinin bilinmesi ve kuraklığa toleranslı çeşitlerin belirlenmesidir. Bu nedenle mevcut çalışmada Artvin-Şavşat (yerel) ve SC2121 (tescilli) domates çeşitlerinin farklı kuraklık uygulamalarına karşı oluşturdukları toleranslarının yanıtlarının araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, domates çeşitlerinde çimlenme oranı, kök uzunluğu, nispi su içeriği (NSİ), lipid peroksidasyonu (TBARS), hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), prolin, toplam klorofil ve karotenoid içerikleri gibi temel stres parametreleri incelenmiştir. Bulgulara göre, Şavşat ve SC2121 çeşitlerinde çimlenme oranı, kök boyu ve NSİ tüm polietilen glikol 6000 (PEG<sub>6000</sub>) uygulamalarıyla birlikte kontrole kıyasla önemli derecede azaldığı ve bu azalışın Şavşat çeşidinde daha düşük olduğu saptanmıştır. Şavşat ve SC2121'in TBARS ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriklerinin artan PEG konsantrasyonuna bağlı olarak önemli derecede arttığı, bu artışın Şavşat çeşidinde daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Prolin içeriği tüm PEG uygulamalarıyla birlikte her iki domates çeşidinde kontrole göre arttığı görülmüştür. Bu artışın ise Şavşat çeşidinde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Domates çeşitlerinin toplam klorofil ve karotenoid içerikleri %10 PEG uygulamasıyla önemli derecede azaldığı ve bu azalışın Şavşat çeşidinde daha düşük olduğu görülmüştür. Elde edilen veriler ışığında, Artvin-Şavşat domates çeşidinin kuraklığa daha toleranslı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler** Kuraklık stresi, *Solanum lycopersicum*, SC2121

---

## **Investigation of Tolerance Levels Against Drought Stress in Local (Artvin-Şavşat) and Registered Tomato Varieties**

### **Abstract**

Remarkable decreases perform in tomato product quality and product yield with the increasing of drought. One of the most important way to reduce the decreases in yield and quality caused by stress is to know the plants are affected by drought and to determine drought-tolerant cultivars. Therefore, in the present study, it was aimed to investigate the tolerances of Artvin-Şavşat (landrace) and SC2121 (commercial) tomato cultivars in different drought applications. For this purpose, changes in basic stress parameters such as germination rate, root length, relative water content (RWC), lipid peroxidation (TBARS), hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), proline, total chlorophyll and carotenoid contents were determined in tomato cultivars. According to the findings, it was determined that the germination rate, root length and RWC significantly decreased with all polyethylene glycol 6000 (PEG<sub>6000</sub>) applications in Şavşat and SC2121 cultivars compared to the control, and the decrease was lower in Şavşat cultivar. It was detected that TBARS and H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> contents of Şavşat and SC2121 significantly increased due to increasing PEG concentration, and the increase was lower in Şavşat cultivar. It was observed that the proline content increased with all PEG applications in both tomato cultivars compared to the control. It was determined that the increase was lower in Şavşat cultivar. In the light of the obtained data, it was determined that SC2121 was drought-sensitive and Artvin-Şavşat tomato cultivar was more drought-tolerant.

**Keywords:** Drought stress, *Solanum lycopersicum*, SC2121

---

\*Sorumlu yazar: [mdemiralay@artvin.edu.tr](mailto:mdemiralay@artvin.edu.tr)

Geliş Tarihi: 01.07.2021, Kabul Tarihi: 01.07.2021

## 1. Giriş

Sürdürülebilir tarım, artan insan nüfusu için gıda sağlamada en önemli küresel hedefdir [1]. Yakın bir gelecekte dünyanın çoğu bölgesinde tarım doğal kaynakların bilinçsiz kullanımı, küresel ısınmanın etkileri ve bunu izleyen iklim değişiklikleri ve artan nüfus nedeniyle daha fazla etkilenecektir [2]. Bu yüzden insanlık için yeterli miktarda gıda tedariği giderek zorlaşabilir [3, 4]. Kuraklık, büyük mahsullerin küresel üretkenliğini sınırlayan ana abiyotik faktördür ve bu nedenle bitki araştırmalarının ana hedefi haline gelmiştir [5, 6, 7]. Nihai hedef, kuraklığın neden olduğu verim kayıplarının en aza indirilebilmesi için suyu etkili bir şekilde kullanan ekin bitkileri geliştirmektir. Bu durumda öncelikle bitkilerin kuraklık stresine karşı verecekleri cevapları anlamak ve kuraklığa toleranslı çeşitleri belirlemek, sürdürülebilir bir tarım için oldukça önemlidir [8].

Kuraklık stresi, bitkilerin büyümesini, üretkenliğini ve mahsul verimini sınırlayan en önemli abiyotik stres faktörlerinden biridir. Kuraklık bitkinin morfolojik, metabolik ve fizyolojik işlevlerinde çeşitli değişikliklere neden olur. Bitki büyümesinin ve oluşumunun ilk aşamasında kuraklık stresi tohum çimlenmesini olumsuz yönden etkilemektedir [9]. Tohum çimlenmesi, fide oluşumunda başarılı mahsul üretimini belirleyen en kritik aşamadır [10]. Bitkilerde tohum çimlenmesinden hasada kadar tüm aşamalar kuraklık stresine karşı oldukça hassastır ve kuraklık koşullarında bitki tohumlarının çimlenmesi etkilenmektedir [11, 12]. Dahası, kuraklık stresi bitkilerin klorofil içeriğinde önemli bir azalma meydana getirmektedir ve kloroplast hasarına bağlı olarak meydana gelen oksidatif stres reaktif oksijen türlerinin (ROT) artışı tetiklemektedir [13]. Süperoksit ( $O_2^-$ ), hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) ve hidroksil radikali ( $\cdot OH$ ) gibi ROT'lar, doğrudan membran lipidlerine saldırabilir, metabolik enzimleri inaktive edebilir ve hücre ölümüne yol açan nükleik asitlere zarar verebilir [14].

Bitkiler, kuraklık stresini önlemek veya tolere etmek için bir dizi strateji geliştirmiştir. Kuraklığa dayanıklı bitkiler, ozmolitlerin veya uyumlu çözünenlerin senteziyle düşük su potansiyelinde bile turgoru korur ve metabolizmanın devam etmesini sağlar. Bitkiler kuraklığın neden olduğu oksidatif stresi temizlemek için prolin, glisin betain vb. gibi ozmoprotektanları biriktirir [15]. Birçok bitkide, biyotik ve abiyotik strese yanıt olarak serbest prolin birikir. Prolin kuraklık stresinin neden olduğu su eksikliğine karşı bitki stres toleransını artırmada etkili bir bileşiktir [16, 17].

Solanaceae ailesinin bir üyesi olan domates (*Solanum lycopersicum* L.), endüstriyel ürünleri ve besin içeriği nedeniyle dünya çapında en önemli tarım bitkilerinden biridir [18, 19]. Ülkemizde de üretimiyle ilk sıralarda yer alan ve ihracatı ile ülke ekonomisine büyük katkı sağlayan domatesin hem vejetatif ve hem de üreme süreçlerinde özellikle kuraklık, tuzluluk ve aşırı sıcaklıklar gibi çevresel strese karşı oldukça hassastır [18]. Vejetatif büyüme sırasında kuraklık stresine maruz kalmış domates bitkileri kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında, yaprak sayısında azalma, bitki boyunda kısalma ile ilişkili biyokütlede bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Sadece yaprak sayısının azalması değil, aynı zamanda yaprak alanındaki azalma da fotosentez verimini düşürebilmektedir [20]. Ayrıca, tohum gelişimi sırasında kuraklık stresi tohum doldurma sürelerini kısaltarak tohum verimini azaltmaktadır. Bu durum, fide kuvvetinin azalmasına ve tohum çimlenmesinin düşmesine neden olmaktadır. Verime ek olarak, kuraklık stresi domates meyvelerinin hacmini, çapını ve bileşimini de (likopen ve toplam çözünür şekerler) etkilemektedir [21]. Tüm bu parametreler kuraklığa toleransın ya da duyarlılığın önemli göstergeleridir.

En önemli abiyotik stres olan kuraklık stresi, bitkiler üzerinde zararlı etkilere sahiptir; bu nedenle kuraklığa dayanıklı çeşitlerin geliştirilmesi, sürdürülebilir üretimlerine yardımcı olacaktır. Bugüne kadar farklı domates çeşitlerinin kuraklığa tolerans cevapları ile ilgili araştırmalar literatürde mevcuttur [22, 23, 24]. Fakat Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin kuraklık toleranslarının belirlenmesine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada, farklı kuraklık (%5 ve %10) uygulamalarına karşı Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin kuraklığa tolerans cevaplarının araştırılması amaçlanmıştır. Kuraklığa toleransı yüksek bir bitki çeşidi geliştirmek ancak bitkinin kuraklığa toleransının yüksek olmasına neden olan faktörlerin ortaya konması ile mümkündür. Bu nedenle Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin kuraklığa tolerans cevaplarını belirlemek için çimlenme oranı, kök uzunluğu, nispi su içeriği, lipid peroksidasyonu, hidrojen peroksit, prolin, toplam klorofil ve karotenoid içeriği gibi temel stres parametrelerindeki değişimler ortaya koyulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Tohum Materyalinin Temin Edilmesi ve Deney Tasarımı

Kuraklık stresine karşı tolerans cevaplarının karşılaştırılmasında Şavşat (yerel) ve SC2121 (tescilli) domates tohumları kullanılmıştır. Şavşat domatesi aynı atadan yetiştiriciliği yapılan, hibridize edilmemiş ve tescilli olmayan bir çeşit olup, tohumları Artvin Şavşat ilçesinde yetiştiricilik yapan bir çiftçiden temin edilmiştir. SC2121 domates çeşidi ise ithal menşeli olup, tohumları zirai tohum satan ticari işletmelerden temin edilmiştir. Ekim işleminden önce tohumların yüzey sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bunun için tohumlar, %5'lik sodyum hipoklorit (NaOCl) ile 3 dakika boyunca muamele edilmiştir. Yüzey sterilizasyonundan sonra tohumlar steril distile su ile 3-4 kez yıkanmıştır. Her bir domates çeşidi için elli tohum, içerisinde filtre kağıdı bulunan steril petri kaplarında sırasıyla: %0 (saf su, kontrol), %5 polietilen glikol 6000 (PEG<sub>6000</sub>) ve %10 PEG<sub>6000</sub> ile muamele edilerek çimlendirilmiştir. Tohumlar, 24±2 °C'de, ışık yoğunluğu 400-430 µmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> olan, 16 saat gündüz /8 saat gece fotoperiyotta yaklaşık %60 nem içeren bitki büyütme kabini içinde 10 gün boyunca inkübe edilerek deney düzeneği 10 gün sonra fidelerin toplanmasıyla sona erdirilmiş ve planlanan analizler için kullanılacak örnekler sıvı azottan geçirildikten sonra -20°C'de saklanmıştır.

### 2.2. Çimlenme Oranının (%) Belirlenmesi

Çimlenme yüzdesi, normal fidan sayısına göre hesaplanmıştır [25]. On gün sonra Şavşat ve SC2121 domates çeşitleri çimlenme yüzdeleri açısından 50'şer tohum üzerinden analiz edilmiştir. Radikula uzunluğu 2 mm'den fazla olan tohumlar çimlenmiş kabul edilmiş ve analize dâhil edilmiştir.

### 2.3. Kök Uzunluğunun Belirlenmesi

Şavşat ve SC2121 çeşitlerinde çimlenen tohumlarda kök boyu ölçümleri dijital kumpas ile gerçekleştirilmiştir ve çimlenme kriteri olarak radikula uzunluğunun en az 2 mm olmasına dikkat edilmiştir [26].

### 2.4. Nispi Su İçeriğinin (NSİ) Belirlenmesi

Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin sürgün taze ağırlıkları tartılarak veriler kaydedilmiştir. Daha sonra turgit ağırlık ölçümü için saf su içeren tüplerde örnekler 16 saat boyunca +4 °C'de bekletilmiştir ve örneklerin turgit ağırlıkları kaydedilmiştir. Kuru ağırlık hesabı için de turgit ağırlıkları belirlenen örnekler 70 °C'de 48 saat boyunca etüvde bekletilmiştir ve aşağıda belirtilen formüle göre tüm sayısal veriler yerine koyularak örneklerin NSİ'si hesaplanmıştır [27].

Nispi Su İçeriği (%) = (Taze ağırlık-Kuru ağırlık/Turgid ağırlık-Kuru ağırlık) x100

### 2.5. Tiobarbitürik Asit Reaktif Maddeler (TBARS) İçeriğinin Belirlenmesi

Lipid peroksidasyon seviyesi tiobarbitürik asit reaktif maddelerin (TBARS) içerikleri cinsinden ölçülmüştür [28]. Örnekler (0,1 g) %0,1 (w/v) trikloro asetik asit (TCA) ile homojenize edilmiştir ve homojenat +4°C'de 15000 g'de 10 dakika ile santrifüj edilmiştir. Süpernatant 1ml'sine %20 TCA içinde % 5 tiobarbitürik asit (TBA) içeren çözeltiden 4 ml eklenmiştir. Elde edilen karışım 95°C de 30 dakika inkübe edilmiştir. Süpernatantların absorpsiyonları 532 nm (spesifik) ve 600 nm (spesifik olmayan) dalga boylarında ölçümler yapılmıştır. Delta absorpsiyon (spesifik – spesifik olmayan ölçümler) değerleri;  $\Delta = \epsilon \cdot c \cdot l$  formülünde kullanılarak TBARS yani MDA değerleri hesaplandı ( $\Delta = A_{532} - A_{600}$ ,  $\epsilon$ : Absorpsiyon katsayısı = 155 mmol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>, c: konsantrasyon)

### 2.6. Hidrojen Peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) içeriğinin belirlenmesi

Hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) içeriği modifiye method kullanılarak belirlenmiştir [29]. Şavşat ve SC2121 domates örnekleri (0,1 g) örnekleri sıvı azot ile homojenize edilmiştir. Örnekler %0,1 TCA eklenerek



15000 g'de +4°C'de 10 dakika boyunca santrifüj edilmiştir. Süpernatanttan 1 ml alınarak üzerine 1 ml 10 mM potasyum fosfat tamponu (pH 7.0) ve 1,5 ml 1 M potasyum iyodür eklenmiştir. Karışım spektrofotometrede 0-100 µmol arasında değişen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyon aralığında hazırlanan standartlara karşı 390 nm'de ölçülmüştür.

## 2.7. Prolin İçeriğinin Belirlenmesi

Prolin içeriği modifiye method kullanılarak belirlenmiştir [30]. Örneklerden 0,1 g taze numune alınmıştır ve 1,8 ml %40'lık etanolde homojenize edilmiştir. Homojenat +4°C'de 1 gece boyunca inkübasyona bırakılmıştır. Ertesi gün 15000 g'de 15 dakika süre ile santrifüj edilmiştir. Örneklerden 1 ml süpernatant alınmıştır ve üzerine asit ninhidrin çözeltisinden 2 ml eklenmiştir. Elde edilen karışım 95°C'de 20 dakika inkübe edilmiştir. İnkübasyondan sonra soğutulan örnekler spektrofotometrede 520 nm dalga boyunda absorbans olarak okutulmuştur. Sonuçlar önceden okutulmuş standartlara göre hesaplanarak mg ml<sup>-1</sup> olarak verilmiştir.

## 2.8. Toplam Klorofil ve Karotenoid İçeriklerinin Belirlenmesi

Şavşat ve SC2121 örneklerinden toplam klorofil ve karotenoid içeriğinin belirlenmesi için gruplardan 0,1 g numune alınmıştır ve %80 soğuk aseton ile homojenize edilmiştir. Homojenatlar +4°C'de 10 dakika süre ile 3000 rpm'de santrifüj edilmiştir. Süpernatantların absorbans değerleri spektrofotometrede 450, 645 ve 663 nm dalga boylarında ölçülmüştür [30]. Toplam klorofil ve karotenoid miktarının ölçümü [32] metoduna göre belirlenmiştir.

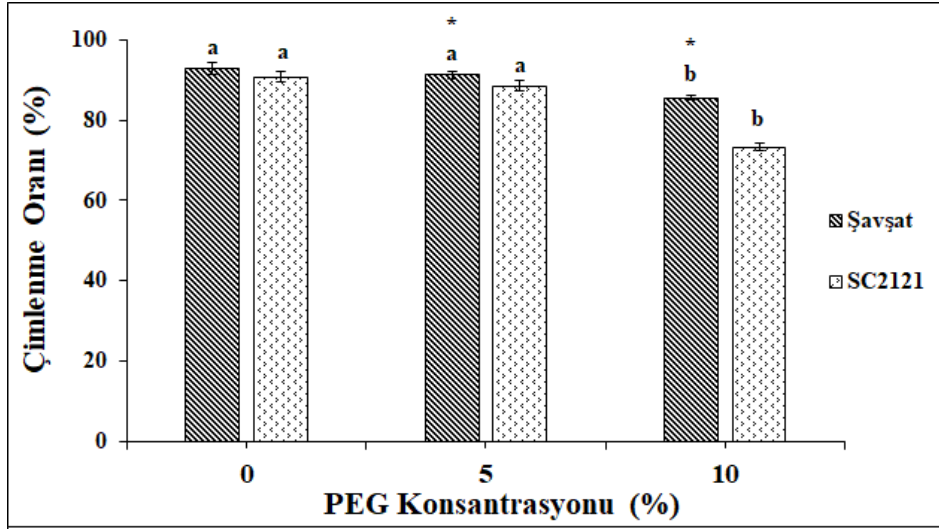
## 2.9. İstatistiksel Analizler

Her bir deneme en az 3 kez tekrar edilmiştir. Uygulamalara bağlı olarak yapılan örnekleme ve ekstraksiyonlar sonucu elde edilen veriler, Windows tabanlı, lisanslı bir paket program olan Statistic Package for Social Sciences (SPSS) ile bilgisayar ortamında one-way ANOVA varyans analiz testleri (Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi) ile değerlendirilmiştir. p≤0.05 olan değerler istatistiksel bakımdan anlamlı kabul edilmiştir. Bütün şekillerdeki hata çubukları ortalama ± standart sapma (S.S.)'yi göstermektedir ve çizelgelerdeki değerler ortalama ± S.S. şeklinde verilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Kuraklık Stresinin Çimlenme Oranı (%) Üzerine Etkisi

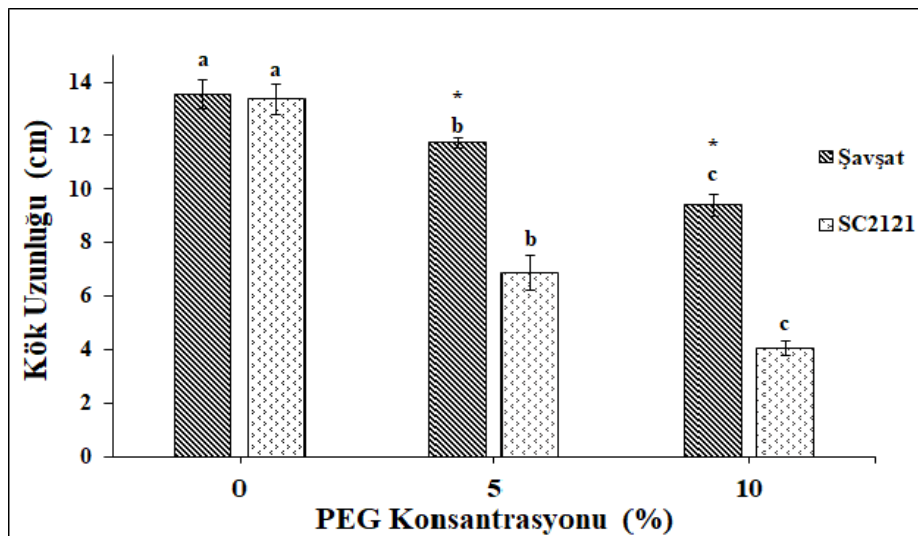
Kuraklık stresi, tohum çimlenmesini, mahsul büyümesini ve gelişimini etkileyen en ciddi çevresel faktörlerden biridir [33,26]. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin çimlenme oranı %5 PEG uygulamasıyla birlikte kontrole kıyasla anlamlı bir fark olmadığı, ancak %10 PEG uygulamasıyla birlikte çimlenme oranının azaldığı görülmüştür. Bununla birlikte, %10 PEG uygulamalarıyla Şavşat ve SC2121 çeşidinde çimlenme oranlarında sırasıyla % 7.8 kat ve % 19.3 kat azalışlar belirlenmiştir (Şekil 1.). Yapılan çalışmada, çimlenme aşamasındaki kuraklık stresinin çimlenmeyi geciktirdiğini, azalttığını veya tamamen engellediğini rapor edilmiştir [34]. Kuraklık stresi altında Şavşat ile ilgili verilerimizle benzer olarak, *Vigna aconitifolia*'nın kuraklığa toleranslı olmasından dolayı daha yüksek oranda çimlenme gösterdiği rapor edilmiştir [35]. Verilere göre, Şavşat çeşidinin kuraklığa toleransının daha yüksek olmasından dolayı yüksek çimlenme oranına sahip olduğunu söylemek mümkündür.



**Şekil 1.** Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının çimlenme oranı üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ( $p \leq 0.05$ ). (\*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir

### 3.2. Kuraklık Stresinin Kök Uzunluğu Üzerine Etkisi

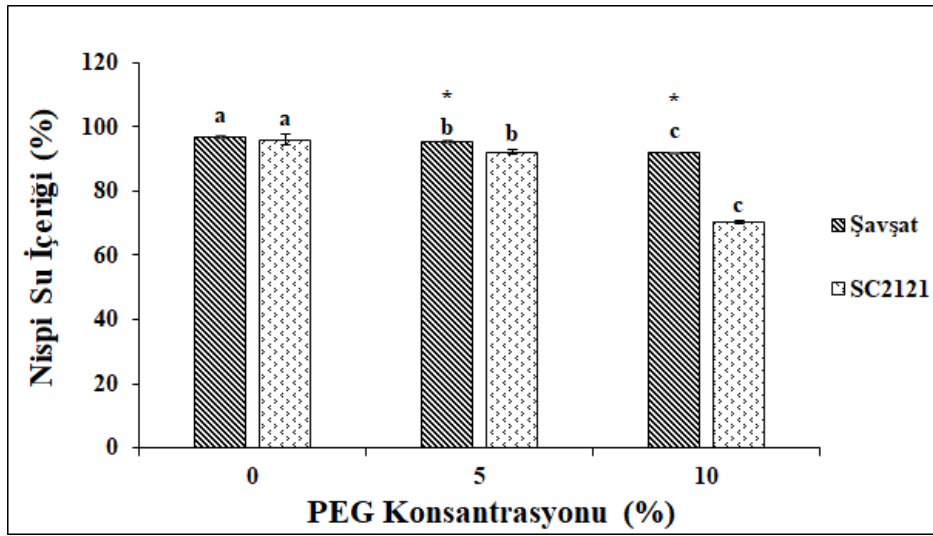
Kuraklık stresi altında genellikle önce kökler daha sonra bitkinin diğer kısımları etkilenir [36]. Artan kuraklık stresine bağlı olarak Şavşat ve SC2121’de kök uzunluğu kademeli olarak azalmıştır. Bununla birlikte, SC2121’de gözlenen azalış oranları Şavşat çeşidine göre daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Örneğin, kontrole kıyasla %5 PEG uygulanmış Şavşat çeşidinde 1.2 kat ve SC2121’de ise 1.9 kat azalış gözlenmiştir. Benzer şekilde %10 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121 çeşitlerinin kök boyunda sırasıyla 1.4 kat ve 3.3 kat azalışlar kaydedilmiştir (Şekil 2.). Sonuçlarımıza benzer olarak yapılan bir çalışmada, farklı domates çeşitlerinin kök uzunluklarının farklı PEG uygulamalarıyla birlikte önemli derecede azaldığını belirtmiştir [26]. Dahası, diğer domates çeşitlerine göre PEG uygulamasıyla birlikte Arka Rakshak (AR) domates çeşidinin kök uzunluğunda daha düşük bir azalma meydana geldiği ve AR’nin kuraklık stresine daha toleranslı olduğu gösterilmiştir. Mevcut çalışmada ortaya çıkan durum Şavşat’ın PEG stresine karşı daha iyi direnç gösterdiği yönündedir.



**Şekil 2.** Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının kök boyu üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ( $p \leq 0.05$ ). (\*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir

### 3.3 Kuraklık Stresinin Nispi Su İçeriği Üzerine Etkisi

Fizyolojik özellikler, özellikle nispi su içeriği bitkilerdeki metabolik aktivitenin bir göstergesidir ve kuraklık dahil farklı abiyotik streslere karşı bitki toleransının değerlendirilmesi için kullanılmaktadır [37]. Mevcut çalışmada, hem Şavşat hem de SC2121'in nispi su içeriği kontrole kıyasla tüm PEG uygulamalarıyla birlikte azaldığı belirlenmiştir. Her iki çeşitte nispi su içeriğinin azalış oranları, % 5 PEG uygulamalarıyla aynı olduğu görülmüştür (1 kat). Ancak %10 PEG uygulamasıyla SC2121'de gözlenen nispi su içeriğindeki azalış oranı Şavşat çeşidine göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Örneğin kontrole kıyasla Şavşat ve SC2121'de sırasıyla 1.1 kat ve 1.4 katlık azalışlar kaydedilmiştir (Şekil 3.). Benzer şekilde yapılan bir çalışmada 5MX12956 (kuraklığa toleranslı) ve X5671R (kuraklığa hassas) domates çeşitlerinin nispi su içeriklerinin PEG uygulamasıyla birlikte önemli derecede azaldığını, bu düşüşün 5MX12956 çeşidinde daha az olduğunu rapor edilmiştir [24].



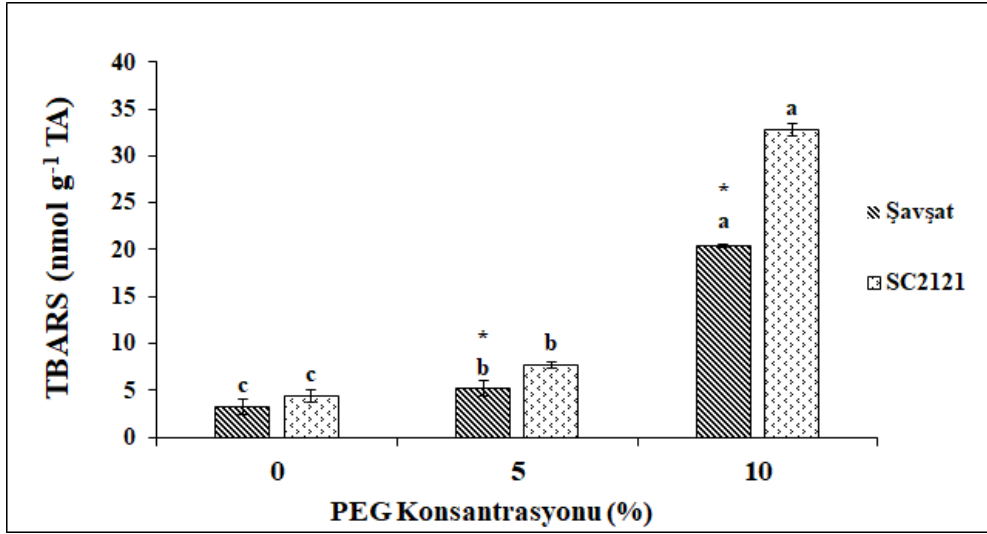
**Şekil 3.** Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının NSİ üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ( $p \leq 0.05$ ). (\*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir

### 3.4. Kuraklık Stresinin TBARS ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> İçeriği Üzerine Etkisi

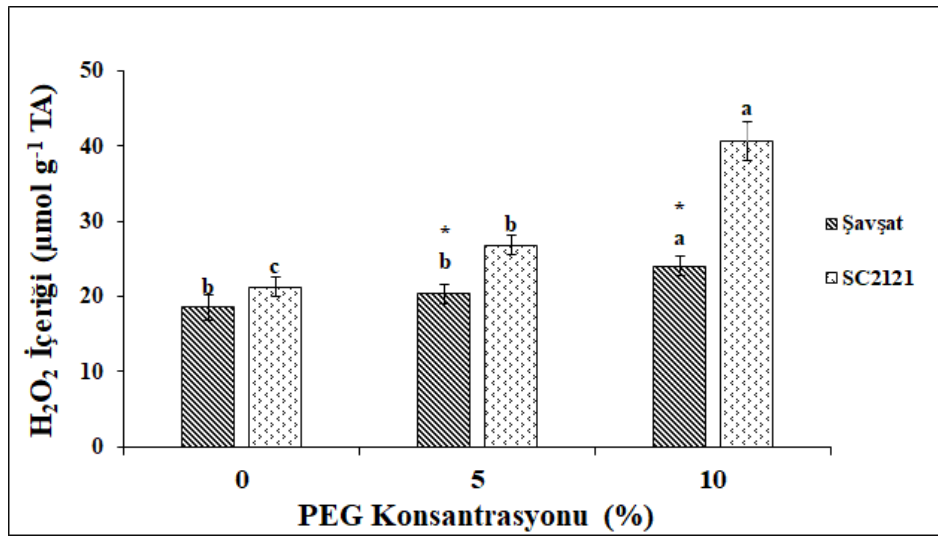
Lipid peroksidasyon ürünü olan tiyobarbitürik asit reaktif maddelerin (TBARS) miktarı ve bitki dokularındaki ROT içeriği, bitkilerin stres hasarını gösteren önemli parametrelerdir [38]. Mevcut çalışmada Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinin TBARS içeriği tüm PEG uygulamalarıyla birlikte kontrole kıyasla arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, TBARS içeriğindeki artış oranlarının Şavşat'a göre SC2121'de daha fazla olduğu görülmüştür. Örneğin, kontrol grubuna göre %5 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121'in TBARS içeriğinde sırasıyla 1.6 kat ve 1.8 kat artışlar kaydedilmiştir. Benzer şekilde %10 PEG uygulanmış SC2121 ve Şavşat çeşitlerinde sırasıyla 8 kat ve 6,3 kat artışlar kaydedilmiştir (Şekil 4.). Stres koşulları altında TBARS içeriğindeki artış, kuraklık stresinin ROT aracılığıyla membran lipid peroksidasyonunu indükleyebileceğini göstermektedir [39].

Hidrojen peroksit içeriği ise, tüm PEG uygulamalarıyla birlikte Şavşat ve SC2121 çeşitlerinde kontrole göre arttığı belirlenmiştir. % 5 PEG uygulanmış Şavşat çeşidinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> içeriği kontrole kıyasla değişmediği, ancak SC2121'de ise 1.2 kat bir artış görülmüştür. Özellikle %10 PEG uygulanmış SC2121 fidelerinde bu artış oranı Şavşat'a göre önemli derecede olduğu kaydedilmiştir. Örneğin, kontrol grubuna kıyasla %10 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121 çeşitlerindeki artış oranları sırasıyla 1.3 kat ve 2 kat olarak tespit edilmiştir (Şekil 5.). Çalışmamıza benzer şekilde, kuraklık koşullarında iki farklı endüstriyel domates çeşidinde (*Solanum lycopersicum*) yapılan bir çalışmada, toleranslı olan çeşidin (5MX12956) hassas olana göre (X5671R) TBARS içeriğinin daha düşük olduğu rapor edilmiştir [23]. Kuraklık stresi altında iki farklı mısır genotipinde yapılan bir çalışmada, Giza 2 çeşidinin

(kuraklığa toleranslı) Trihibrit 321 (kuraklığa hassas) çeşidine göre  $H_2O_2$  seviyesinin daha düşük olduğu belirlenmiştir [40]. Verilere göre, bu çalışmada Şavşat domates çeşidinde TBARS ve  $H_2O_2$ 'nin daha düşük değerleri, hücresel düzeyde bu çeşidin oksidatif strese karşı koruma sağlayan serbest radikal temizleme sistemi ile daha donanımlı olduğunu göstermektedir.



**Şekil 4.** Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının TBARS içeriği üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ( $p \leq 0.05$ ). (\*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir.

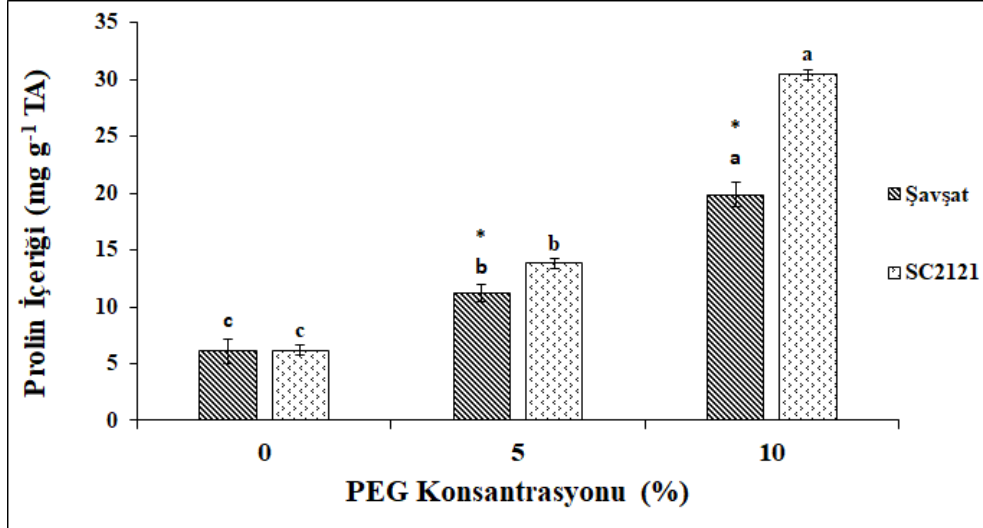


**Şekil 5.** Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının  $H_2O_2$  içeriği üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ( $p \leq 0.05$ ). (\*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir.

### 3.5. Kuraklık Stresinin Prolin Seviyesi Üzerine Etkisi

Bitkiler, stres koşulları altında ozmolit birikimi ile tolerans kazanır. Prolin su eksikliği sırasında ozmotik düzenleyici olarak bitkilerde rol oynayan uyumlu çözünenlerden biridir ve ayrıca diğer çevresel stres faktörlerine karşı savunma sistemlerinde yer alır [17]. Her iki domates çeşidinin prolin seviyesi tüm PEG uygulamalarıyla birlikte kontrol grubuna kıyasla arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte prolin içeriğindeki artış oranları SC2121'e göre Şavşat çeşidinde daha az olduğu görülmüştür. Örneğin, %5 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121'deki artış oranları sırasıyla 1.8 kat ve 2.2 kat olduğu,

uygulanmasıyla ile de 3.3 kat ve 5 kat artış oranı belirlenmiştir (Şekil 6.). Benzer şekilde birçok çalışma kuraklık sırasındaki ozmotik düzenleme işlevi nedeniyle, kuraklık kaynaklı prolin birikimini bildirmiştir [42,43]. Örneğin, kuraklığa cevapları farklı olan domates çeşitlerinde yapılan çalışmalarda, kuraklığa hassas çeşitlerin toleranslı olanlara göre içsel prolin seviyesi daha fazla olduğu rapor edilmiştir [43,44,24].

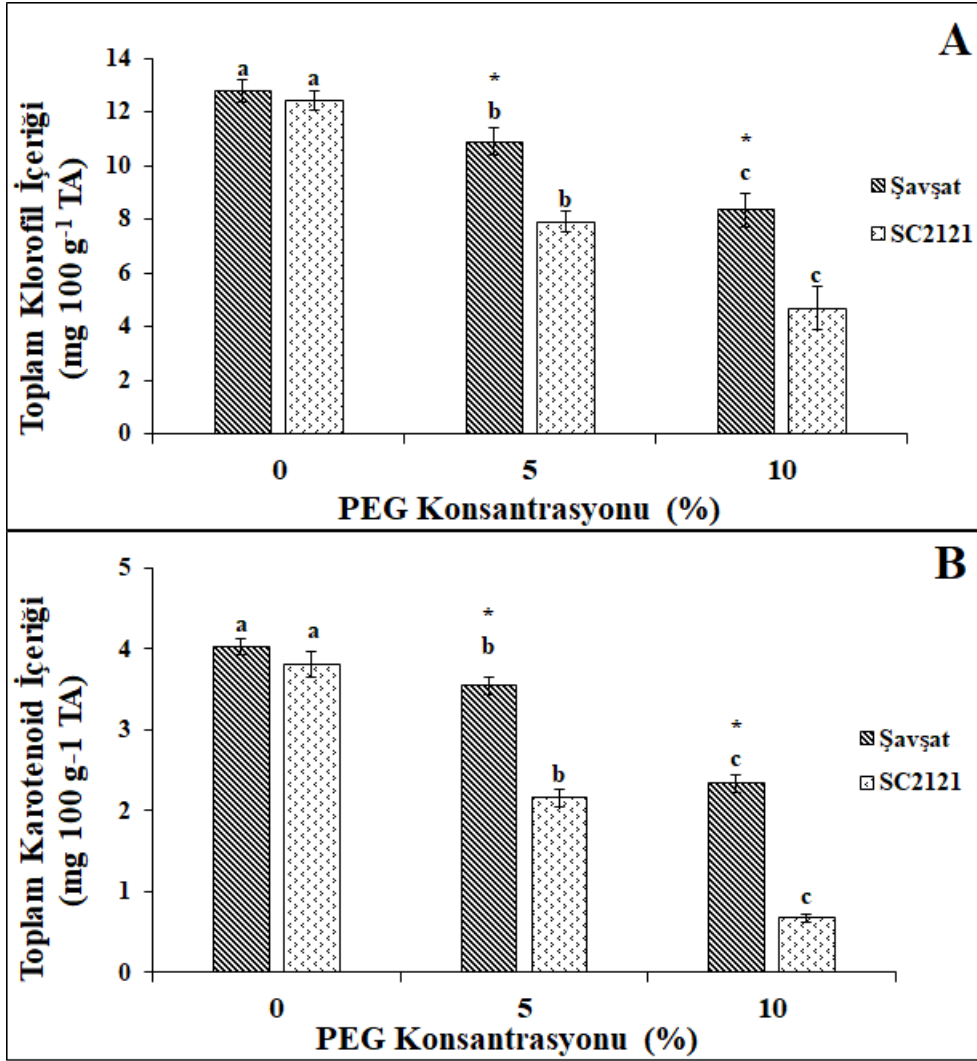


Şekil 6. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının prolin içeriği üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ( $p \leq 0.05$ ). (\*) Bitkiler arasında istatistiki açıdan önemli farklılıkları göstermektedir.

### 3.6. Kuraklık Stresinin Toplam Klorofil ve Karotenoid İçeriği Üzerine Etkisi

Her iki domates çeşidinin toplam klorofil ve karotenoid içerikleri tüm PEG uygulamalarıyla birlikte kontrole kıyasla kademeli olarak azaldığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, toplam klorofil içeriğindeki azalış oranları Şavşat'a göre SC2121'de daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Örneğin, kontrole göre %5 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121 çeşitlerinde azalış oranları sırasıyla 1.2 kat ve 1.6 kat iken, %10 PEG uygulamasıyla ise 1.5 kat ve 2.7 kat olduğu görülmüştür. En fazla azalış %10 PEG uygulanmış SC2121 çeşitlerinde görülmüştür (Şekil 7a.).

Benzer şekilde, toplam karotenoid içeriğindeki azalış oranları Şavşat çeşidine göre SC2121'de daha fazla olduğu kaydedilmiştir. Örneğin kontrole göre %5 PEG uygulanmış Şavşat ve SC2121 çeşitlerinin azalış oranları sırasıyla 1.1 kat ve 1.8 kat olduğu belirlenmiştir. %10 PEG uygulamasıyla Şavşat ve SC2121'de ki azalış oranlarının ise sırasıyla 1.7 kat ve 5.7 kat olduğu görülmüştür. Toplam karotenoid içeriğindeki en fazla düşüş % 10 PEG uygulanmış SC2121 fidelerinde kaydedilmiştir (Şekil 7b.). Sonuçlarla benzer olarak, kuraklığa tolerans cevapları farklı tüm domates genotiplerinde klorofil ve karotenoid miktarının düştüğü, ancak bu düşüşlerin toleranslı çeşitlerde daha az olduğu rapor edilmiştir [21, 24]. Veriler ışığında, fotosentetik pigmentlerin miktarındaki azalma, muhtemelen kuraklık stresi durumunda turgor kaybı nedeniyle hücrelerdeki büyüme ve metabolik sürecin yavaşlamasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 7. Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde farklı PEG uygulamalarının toplam klorofil (A) ve toplam karotenoid (B) içeriği üzerine etkisi. Barlar ortalamalara ait standart sapmayı göstermektedir. Sütunlar üzerindeki farklı harfler uygulamalar arasındaki önemli farkları göstermektedir ( $p \leq 0.05$ ). (\*) Bitkiler arasında istatistiksel açıdan önemli farklılıkları göstermektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak, Şavşat ve SC2121 domates çeşitlerinde kuraklığa tolerans cevaplarının araştırılmasında ölçülen tüm parametreler arasında ciddi farklar görüldü. Kuraklık stresindeki domates çeşitlerinde çimlenme oranı, kök boyu, RWC, klorofil ve karotenoid miktarlarında azalma olduğu görülmektedir. Ancak SC2121 domates çeşidindeki azalma Şavşat çeşidine göre daha fazla olduğu tespit edildi. Bununla birlikte, her iki domates çeşidinde TBARS, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve prolin içeriklerinin arttığı görülmektedir. Bu artışların SC2121 domates çeşidinde daha fazla olduğu belirlendi. Çalışmamızın sonunda, Şavşat domates çeşidinin kuraklığa toleranslı, SC2121 domates çeşidinin ise kuraklığa hassas olduğu sonucuna varıldı. Çalışmanın ilerleyen dönemlerde moleküler ve proteomik analizler ile daha ileri bir aşamaya taşınması bilimsel literatür açısından daha iyi bir altlık oluşturacaktır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



## Kaynaklar

- [1] Yordanov I., Velikova V., Tsonev, T. 2000. Plant responses of drought, acclimation, and stress tolerance. *Photosynthetica*, 38 (2): 71-186.
- [2] Saruhan Guler N., Ozturk K., Sezgin A., Altuntas C., Kadioglu A., Terzi, R. 2021. Alpha lipoic acid application promotes water-deficit tolerance by modulating osmoprotectant metabolism-related genes in maize. *Russian Journal of Plant Physiology*, DOI: 10.1134/S1021443721060042.
- [3] Talbi S., Romero-Puertas M.C., Hernandez A., Terron L., Ferchichi, A., Sandalio L.M. 2004. Drought tolerance in a saharian plant *Oudneya africana*: role of antioxidant defences. *Environmental and experimental botany*, 111: 114-126.
- [4] Jaleel C.A., Manivannan P., Lakshmanan G.M.A., Gomathinayagam M., Panneerselvam, R. 2008. Alterations in morphological parameters and photosynthetic pigment responses of *Catharanthus roseus* under soil water deficits. *Colloids and surfaces B: biointerfaces*, 61 (2): 298-303.
- [5] Chaves M.M., Oliveira M.M. 2004. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. *Journal of experimental botany*, 55 (407): 2365-2384.
- [6] Sofo A., Tuzio A.C., Dichio B., Xiloyannis C. 2005. Influence of water deficit and rewatering in the components of the ascorbate-glutathione cycle in four interspecific *Prunus* hybrids. *Plant science*, 169 (2): 403-412.
- [7] Morales C.G., Pino M.T., Del Pozo A. 2013. Phenological and physiological responses to drought stress and subsequent rehydration cycles in two raspberry cultivars. *Scientia Horticulturae*, 162: 234-241.
- [8] Reddy A.R., Chaitany K.V., Vivekanandan M. 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, 161 (11): 1189-1202.
- [9] Yordanov I., Velikova V., Tsonev T. 2003. Plant responses to drought and stress tolerance. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, (Special Issue), 187-206.
- [10] Almansouri M., Kinet J.M., Lutts S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Plant Soil*, 231 (2): 243-254.
- [11] Hsiao T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*, 24 (1): 519-570.
- [12] Foolad M.R., Lin G.Y. 1997. Genetic potential for salt tolerance during germination in *Lycopersicon* species. *HortScience*, 32 (2): 296-300.
- [13] Mohaewsh O. 2016. Utilizing deficit irrigation to enhance growth performance and water use efficiency of eggplant in arid environments. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18 (1): 265-276.
- [14] Gharibi S., Tabatabaei B.E.S., Saeid G., Goli S.A.H. 2016. Effect of drought stress on total phenolic, lipid peroxidation, and antioxidant activity of *Achillea* species. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178 (4): 796-809.
- [15] Altuntaş C., Terzi R. 2020. Dithiothreitol and PEG induced combined stress may affect the expressions of ABA aldehyde oxidase, sucrose synthase and proline metabolic genes in maize seedlings. *Phyton, International Journal of Experimental Botany*, DOI: 10.32604/phyton.2020.08919.
- [16] Moustakas M., Sperdouli I., Kouna T., Antonopoulou C.I., Therios I. 2011. Exogenous proline induces soluble sugar accumulation and alleviates drought stress effects on photosystem II functioning of *Arabidopsis thaliana* leaves. *Plant Growth Regulation*, 65 (2): 315-325.
- [17] Demiralay M., Altuntaş C., Sezgin A., Terzi R., Kadioğlu A. 2017. Application of proline to root medium is more effective for amelioration of photosynthetic damages as compared to foliar spraying or seed soaking in maize seedlings under short-term drought. *Turkish Journal of Botany*, 41: 649-660.
- [18] George S., Jato S.A., Siddiqui S.U. 2013. Genotypic differences against PEG simulated drought stress in tomato. *Pakistan Journal of Botany*, 45 (5): 1551-1556.
- [19] Zdravkovic J., Jovanovic Z., Djordjevic M., Girek Z., Zdravkovic M., Stikic R. 2013. Application of stress susceptibility index for drought tolerance screening of tomato populations. *Genetika*, 45 (3): 679-689.

- [20] Pervez M.A., Ayub C.M., Khan H.A., Shahid M.A., Ashraf I. 2009. Effect of drought stress on growth, yield and seed quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 46 (3): 174-178.
- [21] Sivakumar R., Srividhya S. 2016. Impact of drought on flowering, yield and quality parameters in diverse genotypes of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). Advances in Horticultural Science, 30 (1): 3-11.
- [22] Ghorbanli M., Bakhshi Khanik G., Zakeri A. 2012. Investigation on the effects of water stress on antioxidant compounds of *Linum usitatissimum* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 27 (4): 647-658.
- [23] Kabay T., Yekbun A.L.P. 2017. Kuraklık stresinin bazı yerli ve ticari domates çeşitlerinde bitki gelişimi üzerine etkileri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 27 (3): 387-395.
- [24] Çelik Ö., Aya A., Atak Ç. 2017. Enzymatic and non-enzymatic comparison of two different industrial tomato (*Solanum lycopersicum*) varieties against drought stress. Botanical Studies, 58 (1): 1-13.
- [25] Anonymous, 1993. "International Seed Testing Association. International Rules for Seed Testing", Seed Science and Technology, 21 supplement.
- [26] Basha P.O., Sudarsanam G., Reddy M.M.S., Sankar S. 2015. Effect of PEG induced water stress on germination and seedling development of tomato germplasm. International Journal of Recent Scientific Research, 6 (5): 4044-4049.
- [27] Castillo F.J. 1996. Antioxidative protection in the inducible CAM plant *Sedum album* L. following the imposition of severe water stress and recovery. Oecologia, 107 (4): 469-477.
- [28] Heath R.L., Packer L. 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplast. I.kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives of Biochemistry and Biophysics, 125 (1): 189-198.
- [29] Velikova V., Yordanov I., Edrev A. 2000. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain treated bean plants protective role of exogenous polyamines. Plant Science, 151 (1): 59-66.
- [30] Carillo P., Mastrolonardo G., Nacca F., Parisi D., Verlotta A., Fuggi A. 2008. Nitrogen metabolism in durum wheat under salinity: accumulation of proline and glycine betaine. Functional Plant Biology, 35 (5): 412-426.
- [31] Arnon D. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. Plant Physiology, 24 (1): 1-15.
- [32] Lichtenthaler H.K. 1987. Impacts of Global Change on Tree Physiology and Forest Ecosystems. Edited by Mohren, GMJ., Academic Press, 8: 350-382.
- [33] Lisar S.Y.S., Motafakkerzad R., Hossain M.M., Rahman I.M.M. 2012. Water Stress in Plants: Causes, Effects and Responses, in Water Stress, Edited by Ismail Md. Mofizur Rahman, Hasegawa H. InTech: New York, USA.
- [34] Turk M.A., Rahman A., Tawaha M., Lee K.D. 2004. Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. Asian Journal of Plant Sciences, 3 (3): 394-397.
- [35] Soni P., Rizwan M., Bhatt K.V., Mohapatra T., Singh G. 2011. In vitro response of *Vigna aconitifolia* to drought stress induced by PEG-6000. Journal of Stress Physiology and Biochemistry, 7 (3): 108-121.
- [36] Ghafoor A. 2013. Unveiling the mess of red pottage through gel electrophoresis: a robust and reliable method to identify *Vicia sativa* and *Lens culinaris* from a mixed lot of split "Red Dal". Pakistan Journal of Botany, 45 (3): 915-919.
- [37] Ullah U., Ashraf M., Shahzad S.M., Siddiqui A.R., Piracha M.A., Suleman, M. 2016. Growth behavior of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under drought stress in the presence of silicon and plant growth promoting Rhizobacteria. Soil and Environment, 35 (1): 65-75.
- [38] Altuntaş C., Terzi, R., 2021. Concomitant accumulations of ions, osmoprotectants and antioxidant system-related substances provide salt tolerance capability to succulent extreme-halophyte *Scorzonera hieraciifolia*. Turkish Journal of Botany, 45: 340-352.
- [39] Sairam R.K., Srivastava G.C., Saxena D.C. 2000. Increased antioxidant activity under elevated temperature: a mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. Biologia Plantarum, 43 (2): 245-251.
- [40] Moussa H.R., Abdel-Aziz S.M. 2008. Comparative response of drought tolerant and drought sensitive maize genotypes to water stress. Australian Journal of Crop Science, 1 (1): 31-36.



- [41] Hong-Bo S., Xiao-Yan C., Li-Ye C., Xi-Ning Z., Gang W., Yong-Bing Y., Chang-Xing Z., Zan-Min H. 2006. Investigation on the relationship of proline with wheat anti-drought under soil water deficits. *Colloids Surf B: Biointerfaces*, 53 (1): 113-119.
- [42] Mohammadkhani N., Heidari R. 2008. Drought induced accumulation of soluble sugar and proline in two maize varieties. *World Applied Sciences Journal*, 3 (3): 448-453.
- [43] Shtereva, L., Atanassova B., Karcheva T., Petkov V. 2008. The effect of water stress on the growth rate, water content and proline accumulation in tomato calli and seedlings. *Acta Horticulturae*, 789: 189-197.
- [44] Ghorbanli M., Gafarabad M., Amirkian T.A.N.N.A.Z., Allahverd M.B. 2013. Investigation of Proline, total protein, chlorophyll, ascorbate and dehydroascorbate changes under drought stress in Akria and Mobil tomato cultivars. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 3 (2): 651-658.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Havalimanı Çalışanlarının Acil Durumlara Yönelik Hazırlığı ve Kriz Yönetimi**

Cihan ÖNEN<sup>1\*</sup>, Yılmaz ÇİFTÇİ<sup>2</sup>, Sedat KAYAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Yüksekokulu, Hemşirelik Bölümü, Bitlis, Türkiye

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Acil Durum ve Afet Yönetimi ABD, Bitlis, Türkiye  
(ORCID: [0000-0002-9159-7396](https://orcid.org/0000-0002-9159-7396)) (ORCID: [0000-0001-6200-2835](https://orcid.org/0000-0001-6200-2835)) (ORCID: [0000-0002-8241-8798](https://orcid.org/0000-0002-8241-8798))

---

### **Öz**

Acil durum hadisesi herhangi bir zamanda herhangi bir yerde meydana gelen durumlardır. Önlenemeyen ya da kontrol altına alınamayan bu durum yolcu ölümleri, yaralanması, sakatlanması, hava taşımacılığının sekteye uğraması, kargoların zarar görmesi gibi pek çok olumsuz duruma sebebiyet verebilir. Havalimanında koruyucu tedbirler ve iyi bir acil durum hazırlığı ile bu problemlerin büyük kısmı önlenebilir. Bu çalışmanın amacı havalimanında çalışan personellerin meydana gelecek acil durumlara hazırlıklı olma durumları değerlendirmek ve kriz yönetimi ile karşılaştırmaktır. Kesitsel olarak planlanan çalışmanın kapsamını Batman Havalimanı ile Van Ferit Melen Havalimanı çalışanları oluşturmaktadır. Covid-19 pandemisinden dolayı araştırmaya katılmaya gönüllü kişilere internet ortamından ulaşılmıştır. Araştırmaya katılan bireylerin çoğunluğu acil duruma hazırlık çalışmalarının kapsamı, anlamı ile ilk yardıma dair içerikleri bilmektedir. Fakat ilk yardıma dair eğitim bilgisi daha kısıtlı kalmaktadır. Acil durum öncesi tatbikata katılanlar, acil duruma tanıklık edenler, acil durum ekibinde yer alma isteyenler, acil durumda soğuk kanlılığını koruma düşüncesinde olanlar, acil durum numarasını bilenler ve acil durum alarm anlamını bilenlerde kriz yönetimi puanı daha yüksektir. Fakat bu değişkenler ile kriz yönetimi arasında anlamlı fark yoktur. Acil duruma kendilerini hazır hissedenlerde kriz yönetimi puanı istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde daha yüksektir. Sonuç olarak acil duruma dair bilgi sahibi olanlar ve duyuşsal olarak kendini acil duruma hazır hissedenler daha iyi kriz yönetmektedir. Havalimanı gibi kritik yerlerde kriz yönetiminin sürdürülebilir ve sürekli olması açısından acil durum hazırlıklarına ağırlık verilmelidir. Katılımcıların ilk yardıma dair hizmet içi eğitim ihtiyacı giderilmelidir.

**Anahtar kelimeler:** Havalimanı çalışanları, Acil durum, Kriz yönetimi.

---

## **The Emergency Preparedness and Crisis Management of the Airport Staff**

---

### **Abstract**

An emergency event is a situation that occurs anywhere at any time. These events, which cannot be prevented or controlled, may cause many negative situations such as passenger deaths, injuries, injuries, disruption of air transport, and damage to cargo. Most of these problems can be avoided with protective measures and good emergency preparedness at the airport. The aim of this study is to evaluate the preparedness of the personnel working at the airport for emergencies and to compare them with crisis management. The scope of the cross-sectional study consists of Batman Airport and Van Ferit Melen Airport employees. Due to the Covid-19 pandemic, people who volunteered to participate in the research were reached via the internet. The majority of the individuals participating in the research know the scope and meaning of emergency preparedness studies and the contents of first aid. However, educational knowledge on first aid remains more limited. Crisis management score is higher for those who participated in the pre-emergency drill, witnessed the emergency, wanted to take part in the emergency team, who thought of keeping their cool in an emergency, who knew the emergency number and who knew the meaning of emergency alarm. However, there is no significant difference between these variables and crisis management. Crisis management score is statistically significantly higher in those who feel ready for an emergency. As a result, those who have knowledge of the emergency situation and feel emotionally ready for the emergency manage the crisis better. In critical places such as airports, emergency preparations should be

---

\*Sorumlu yazar: [conen@beu.edu.tr](mailto:conen@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 02.08.2021, Kabul Tarihi: 08.10.2021

emphasized in order to ensure the sustainability and continuity of crisis management. Participants' need for in-service training on first aid should be met.

**Keywords:** Airport Staff, Emergency, Crisis management.

## 1. Giriş

Acil durum, her an ve her yerde veya zamanda meydana gelebilecek hadisedir [1]. Bu durumun meydana gelmesi havalimanlarında havacılık faaliyetlerinin zarar görmesine, yolcu ölümlerine, kargoların ise büyük hasarlar görmesine neden olabilmektedir. Ayrıca havalimanı terminaleri de meydana gelebilecek bir acil durum ya da afette büyük hasarlar görerek işlevini kaybedebilmektedir [2]. Bu nedenle havalimanları kendi bünyelerinde meydana gelebilecek olaylara karşı acil durum hazırlık çalışmaları yapmaktadır. Havalimanlarında görev alan tüm personellerin oluşacak bir acil olaya nasıl yaklaşması gerektiği hususu önem arz etmektedir. Kurum içi verilen eğitimler ve kapsamlı tatbikatlar doğabilecek herhangi bir acil durumda doğru ve hızlı tepkilerin verilmesini sağlar [3].

Havalimanlarında acil durumlara yönelik hazırlanan planlama havalimanlarında oluşacak uçak kazası, doğal afet, meteorolojik hadiseler, toplu zehirlenme vakaları ve terminalde meydana gelebilecek acil durumlara karşı nasıl hareket edilmesi hususunda yol gösterici olmaktadır. Acil durum planı, olayın vuku bulmasıyla oluşan hasarın veya zararın azaltılması ve durumun normale dönmesi için gerekli olan tüm protokolleri içinde barındırmaktadır [4]. Olaylara ve oluşacak afetlere yönelik müdahale edecek olan personel ve liman birimlerinin sorumlulukları planlamada belirlenmektedir. Ayrıca acil duruma müdahale etmek için havalimanı dışında gelecek olan kurum-kuruluşlarda görev alacak personel ile kullanılacak tesis, ekipman ve malzemelerin miktarları da planlamada açıklanır [5].

Havalimanlarında acil duruma karşın ortaya çıkacak krizin en iyi şekilde yönetilmesi önem taşımaktadır. Kriz yönetimi, yapılması gereken çalışmaların plan ve program dâhilinde yönetilememesi durumunda işleme konulacak bir plan ve olası tehdiye karşın acil eylem planının devreye konulması durumudur [6]. Olayların her an yaşanabileceğini göz önüne alınarak kriz yönetiminin sürdürülebilir ve sürekli olmasında fayda vardır. Kriz yönetiminde amaç, olayların meydana gelmesiyle alakalı olarak daha etkin bir şekilde müdahale etmek ve yürütülmesi düşünülen stratejilerin hayata geçirilmesini sağlamaktır [7]. Acil durumun öncesinde kriz yönetim ekibinin organize edilmesi ve havalimanlarında meydana gelecek acil durumlarla alakalı farklı senaryoların havalimanlarında oluşturacağı zararlar karşısında hangi adımların atılacağını ana hatlarıyla önceden belirlenmesi hayati öneme sahiptir.

Krizin meydana geleceği zamanlarda emir komuta zincirini net ve anlaşılır bir şekilde yerine getirecek olan kriz yönetim ekibi, olayın başından sonuna kadar tüm aşamalarda işin başında olmalıdır. Kriz yönetim ekibi, belirli aşamalarda yahut gerekli olan ihtiyaca göre hareket etmeli, olayın doğuracağı krizleri doğru metotla tartışıp yapılması gereken çalışmaları planlamalıdır. Acil durumun vaziyetine göre doğru strateji yapılmalı, havalimanının kendi bünyesindeki ekip ile protokol yapılan kurumlar planın detaylarını paylaşmalıdır. Kriz yönetim planı muhtemel acil durumlara karşı güvenilir ve etkin müdahaleyi içermelidir [8].

Bu çalışmada havalimanında çalışan personellerin meydana gelecek acil durumlara hazırlıklı olma durumlarının değerlendirilmesi ve kriz yönetimiyle karşılaştırılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırmanın Kapsamı

Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ), Türk Hava Yolları (THY), Yer Hizmetleri (Havaş, Çelebi) ve THY-OPET Batman Havalimanı ile Van Ferit Melen Havalimanında hizmet veren kurum ve kuruluşlardır. Her iki havalimanında toplam 302 kişi çalışmaktadır. Evrendeki kişi sayısı bilinen formülden  $n = (N * t^2 * p * q) / (d^2 * (N - 1) + t^2 * p * q)$  örneklem sayısı 169 olarak belirlenmiştir. Örneklem alınıp çalışmaya katılmayı kabul edenlere Basit Rastgele Yöntem ile ulaşılmıştır. Covid 19 pandemi sürecinden dolayı çevrimiçi yolla örneklem alınan çalışanlara ulaşmada güçlük yaşanmış teşviklere rağmen 105 kişi verileri doldurmuştur. Bu açıdan kesitsel nitelikteki bu çalışmanın kapsamını Batman Havalimanı ile Van Ferit Melen Havalimanında görev yapan ve bu çalışmaya katılmayı kabul eden 105 çalışan oluşturmaktadır.

## 2.2. Verilerin Toplanması ve Değerlendirilmesi

Veri toplama aracı olarak araştırmacılar tarafından çalışmanın amacına uygun hazırlanmış anket ile geçerliliği Çalışkan A, 2020 tarafından yapılan Kriz Yönetimi ölçeği kullanılmıştır. Bu ölçek çalışanların kriz yönetimi uygulamalarına dair algılarını ölçmede kullanılmaktadır. Kriz Yönetimi Ölçeği 23 madden oluşmakta olup her bir maddesi “Kesinlikle katılmam 1, katılmam 2, kararsızım 3, katılıyorum 4, kesinlikle katılıyorum 5” beşli likert şeklindedir. Ölçekten düşük puan alınması kurum-kuruluşun mevcut yapısıyla kriz faaliyetlerine düşük reaksiyonda cevap verebileceğini göstermektedir. Ölçeğin; kriz öncesi faaliyetler, kriz esnasında faaliyetler ve kriz sonrası faaliyetler olmak üzere üç alt bileşeni vardır. Her bir alt bileşen ayrı ayrı değerlendirilebileceği gibi ölçek bir bütün olarak da değerlendirilebilmektedir. Kriz öncesi faaliyetler 9 maddeden, kriz esnası faaliyetler 10 maddeden ve kriz sonrası faaliyetler 4 maddeden oluşmaktadır. Güvenirliği açısından ölçek ile alt bileşenleri Cronbach Alfa testine tabi tutularak iç tutarlılığı hesaplanmış ve güvenilir bulunmuştur [9]. Katılımcılara Şubat 2021-Mayıs 2021 tarihleri arasında mail ile ulaşılmış olup gönüllük esasına göre “Google form” ile veriler toplanmıştır.

## 2.3. İstatistiksel Analizler

Tanımlayıcı veriler sayı, yüzde ve aritmetik ortalama şeklinde sunulmuştur. İstatistiksel anlamlılıkta  $p < 0.05$  kullanılmıştır. Verilerin normal dağılıma uyup uymadığı Kolmogorov-Smirnov testi ve histogram dağılım grafiği ile değerlendirilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler parametrik ve normal dağılım koşullarını sağladığından istatistiksel değerlendirmede Independent Sample T-Testi ve One Way Anova Testi kullanılmıştır. Bağımsız değişkenlerden puan ortalaması daha yüksek çıkan gruplar kriz yönetimi daha yüksek olarak kabul edilmiştir.

## 2.4. Etik Onay

Bitlis Eren Üniversitesi Etik İlkeleri ve Etik Kurulunun 29.01.2021 tarih ve 21/1-V sayılı kararıyla çalışmanın etik oluru alınmıştır.

## 2.5. Sınırlılıklar

Covid 19 pandemi sürecinden dolayı veriler çevrimiçi olarak toplanmıştır. Anket toplama yüz yüze yapılmaması neticesinde araştırmacıların teşvikine rağmen anket ve ölçek sınırlı sayıda kişi tarafından doldurulmuştur. Çalışanların bazılarının pandemiden dolayı idari izinde olması, online süreç ve pandeminin getirdiği olumsuzluklardan dolayı veri toplanmasında güçlükler yaşanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Katılımcıların sosyodemografik özellikleri tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Katılımcıların sosyo-demografik özellikleri ve kriz yönetimi karşılaştırılması

Değişkenler		n	%	Ortalama	<sup>b</sup> SS		p
Cinsiyet	Kadın	8	7,6	83,75	8,99	<sup>c</sup> t=-1,423	0,158
	Erkek	97	92,4	91,88	15,89		
Yaş	18-25	19	18,1	85,68	16,52	<sup>d</sup> f=1,583	0,210
	26-34	53	50,5	91,94	14,03		
	35+	33	31,4	93,36	17,13		
Medeni Durum	Evli	52	49,5	92,12	16,09	<sup>c</sup> t=0,557	0,579
	Bekar	53	50,5	90,42	15,21		
Eğitim Düzeyi	İlköğretim / lise	14	13,3	98,93	14,97	<sup>d</sup> f=3,399	0,037 <sup>a</sup>
	Önlisans	38	36,2	93,18	15,24		
	Üniversite	53	50,5	87,85	15,32		
Hizmet Süreniz	0-5 yıl	57	54,3	90,63	16,13	<sup>d</sup> f=0,154	0,857
	6-10 yıl	21	20,0	91,14	12,25		

	11+	27	25,7	92,67	17,16		
<b>Çalıştığı Havalimanı</b>	Batman	67	63,8	95,36	14,64	<sup>c</sup> t=3,802	0,000 <sup>a</sup>
	Van Ferit Melen	38	36,2	84,03	14,74		
	DHMİ	88	83,8	89,48	14,79	t=-2,743	0,007*
<b>Çalıştığı Birim</b>	Diğer	17	16,2	100,47	16,86		

<sup>a</sup>p<0.05, <sup>b</sup>SS; Standart Sapma, <sup>c</sup>t; Independent Samples t Test, <sup>d</sup>f; One-Way Anova Test,

Eğitim düzeyi ile kriz yönetimi arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur. Eğitim lise olanlarda kriz yönetimi puanı daha yüksektir.

Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMİ) dışındaki havalimanı çalışanlarının kriz yönetimi puanı DHMİ çalışanlarınınkinden istatistiksel olarak daha fazladır (p<0.05). DHMİ biriminde kriz yönetimi diğer birime göre daha düşüktür. Ayrıca Batman havalimanı çalışanlarının kriz yönetimi Van Ferit Melen Havalimanı çalışanlarına göre daha fazladır.

Yaşı genç olan havalimanı çalışanlarında kriz yönetimi puanı daha düşüktür. Yaşı küçük olanların mesleklerinde daha deneyimsiz olmaları ve mesleklerinin ilk zamanlarında henüz hizmet içi eğitim alamamaları kriz yönetimi algısını olumsuz yönde etkilemiş olabilir.

**Tablo 2.** Katılımcıların acil duruma dair hazırlıkları

<b>Katılımcılara göre Acil Durum Hazırlık Çalışmaları Kapsamında Yer Alması Gerekenler</b>		
<b>Değişkenler</b>	<b>n</b>	<b>%</b>
Hizmet içi eğitim düzenleme	87	82,9
Çalıştığı yere ait acil durum planlaması	86	81,9
Acil toplanma alanı bilme	83	79,0
Acil durum alarmlarının ne anlama geldiğini bilme	82	78,1
Acil çıkış kapılarının yerlerini bilme	80	76,2
Acil durumlara dair kareli haritaların anlamını bilme	75	71,4
<b>Acil Durumun Anlamına Katılımcıların Verdiği Cevap</b>		
İşyerinde olası herhangi bir kaynaktan meydana gelen ve acil müdahale, ilkyardım vb. gerektiren durumlar,	86	81,9
İnsanların normal yaşam faaliyetlerini sekteye uğratan, yavaşlatan acil müdahale gerektiren durumlar,	79	75,2
Ani müdahale ihtiyacı olan beklenmedik ciddi durumlar,	72	68,6
<b>İlkyardımın Anlamını Bilme</b>		
Yaşamı tehdit eden herhangi bir durumda sağlık görevlileri olay yerine gelip müdahaleyi sağlayıncaya kadar mevcut olanaklar ile ilaçsız bir şekilde yapılan müdahale,	70	66,7
İlkyardım yapılan kişiye ilaçla tedavinin uygulanmasıdır,	7	6,7
<b>İlk yardımın 'ABC'sinin Kapsamı</b>		
Solunumun Değerlendirilmesi	94	89,5
Hava Yolu Açıklığının Değerlendirilmesi	93	88,6
Dolaşımın Değerlendirilmesi	65	61,9
Sindirim Değerlendirilmesi	9	8,6

Katılımcıların çoğunluğu acil duruma hazırlık kapsamında; hizmet içi eğitim verilmesi, kurumun acil durum planının olması, acil toplanma alanının bilinmesi, acil durum alarmlarını bilmesi ve acil çıkış kapılarını bilinmesi gerektiğini ifade ederek doğru cevap vermiştir. Yine katılımcıların çoğunluğu acil durumun anlamına dair bilgilerinin yeterli olduğu Tablo 2'de görülmektedir. Bu da katılımcıların acil duruma hazırlığına dair yeterli bilgilerinin olduğunu göstermektedir. Çalışanların acil durum veya afete dair bilgi düzeyinin artması bu tip durumlara karşı hazırlığı da artırmaktadır.

Katılımcıların ilkyardım ABC (Airway, Breathing, Circulation)'sine dair bilgilerine bakıldığında önemli çoğunluğu hava yolu ve solunum yolu açıklığını değerlendirmeyi bilse de yarısına yakını dolaşımın değerlendirilmesi gerektiğini bilmıştır. Havalimanı çalışanlarının acil duruma dair birçok konuda bilgilerinin yeterli olduğu bu çalışmada görülmektedir. Fakat ilk yardıma dair bilgilerinin acil durum kadar iyi olmadığı görülmektedir. Acil durum anında hayat kurtarılması bağlamında ilkyardım eğitiminin havalimanı çalışanlarına verilmesi bu konuda bilgi ya da becerilerini artırabilmektedir [10].

Havalimanında çalışanların önemli çoğunluğu çalıştığı yere ait acil durum planlaması olması gerektiğini belirtmekte ve acil durum numaralarını bilmektedir. Küçük işletmelerde bu oran çok daha azdır. Havalimanı gibi acil durum yönünden kritik yerlerde hizmet içi eğitimin ve tatbikat daha fazla olması bu farklılıkta etkili olmuş olabilir [11].

**Tablo 3.** Katılımcıların acil duruma dair hazırlıkları ve kriz yönetimi ile karşılaştırılması

Değişkenler		n	%	Mean	<sup>b</sup> SS	<sup>c</sup> t	p
<b>Tatbikata Katılma</b>	<b>Evet</b>	81	77,1	91,93	16,22	0,806	0,422
	<b>Hayır</b>	24	22,9	89,00	13,32		
<b>Havalimanında Acil Durum Tanıklığı</b>	<b>Evet</b>	61	58,1	92,13	14,75	0,674	0,502
	<b>Hayır</b>	44	41,9	90,05	16,80		
<b>Acil Müdahale Ekibinde Görev Alma İsteği</b>	<b>Evet</b>	94	89,5	91,51	15,63	0,485	0,629
	<b>Hayır</b>	11	10,5	89,09	15,82		
<b>Acil Duruma Kendini Hazır Hissetme</b>	<b>Evet</b>	75	71,4	93,35	16,24	2,166	0,033 <sup>a</sup>
	<b>Hayır</b>	30	28,6	86,03	12,63		
<b>Acil Durumda Soğuk kanlığı Koruma</b>	<b>Evet</b>	82	78,1	92,32	16,67	1,703	0,094
	<b>Hayır</b>	23	21,9	87,48	10,38		
<b>Acil Numarayı Bilme</b>	<b>Evet</b>	98	93,3	91,41	15,61	0,370	0,712
	<b>Hayır</b>	7	6,7	89,14	16,41		
<b>Acil Durum Alarının Anlamını Bilme</b>	<b>Evet</b>	83	79	92,22	15,92	1,228	0,222
	<b>Hayır</b>	22	21	87,64	14,07		

<sup>a</sup>p<0.05, <sup>b</sup>SS; Standart Sapma, <sup>c</sup>t; Independent Samples t Test,

Acil durum öncesi tatbikata katılanlar, acil duruma tanıklık edenler, acil durum ekibinde yer almak isteyenler, acil durumda soğukkanlılığını koruma düşüncesinde olanlar, acil durum numarasını bilenler ve acil durum alarının anlamını bilenlerde kriz yönetimi puanı daha yüksektir. Fakat bu değişkenler ile kriz yönetimi arasında anlamlı fark yoktur (p>0,05).

Acil duruma kendilerini hazır hissedenlerde kriz yönetimi puanı anlamlı bir şekilde daha yüksektir (p<0,05). Havalimanı çalışanlarının üçte ikisi kadarı kendini acil duruma hazır hissetmektedir. Literatürde hastane çalışanında ve genel toplumda afet, acil durum vb. durumlara hazır hissedenlerin daha az olduğu görülmektedir. Havalimanının kritik bölge olması ve çalışanlara yönelik daha fazla acil durum ya da afete hazırlık çalışmaları yapılması acil duruma hazırlık hissini artırmış olabilir [12,13]. Acil durum planlarının doğru bir şekilde hazırlanması ve sunulması havalimanı güvenliği ve kriz yönetimi için önem arz etmektedir [14]. Kendilerini acil duruma hazır hissedenlerin kriz yönetimine dair puanlarının daha yüksek olması acil duruma dair bilgi, tatbikat ve deneyimlerinin daha fazla olmasından kaynaklanmış olabilir. Krizler kurumlar üzerinde kaotik durumlar oluşturabilir. Kaynaklardan bilgilere ulaşabilen kişiler acil durum kriz yönetimine karşı daha hazırlıklı hissedebilmektedir Acil durumlar, afetler gibi durumlarda Kriz olasılığını tamamen önlemek mümkün olmasa da iyi bir hazırlık süreci ile en az hasarla kriz yönetilebilir [13,15].

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak acil duruma dair daha fazla bilgi sahibi olanlar ve duyuşsal olarak kendini acil duruma hazır hissedenler kriz algısını daha iyi yönetebilmektedir. Havalimanı gibi kritik yerlerde kriz yönetiminin sürdürülebilir ve sürekli olması açısından acil durum hazırlıklarına ağırlık verilmelidir. Acil durumda hayat kurtarılması bağlamında katılımcıların ilk yardıma dair hizmet içi eğitim ihtiyacı giderilmelidir.

Covid-19 pandemi süreci ve kurumlar tarafından sadece online veri toplanmasına izin verildiğinden araştırma grubunun tamamına ulaşılammıştır. Bu açıdan bu çalışmanın sonuçları sadece katılımcılar ile sınırlandırılabilir. Daha fazla havalimanı ve kişileri kapsayacak şekilde pandemi ve sonrasında daha kapsayıcı bir şekilde konu üzerinde çalışılabilir.

## Teşekkür

Anket verilerinin toplanmasında gerekli izin ve katkıları sağlayan Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü Van Ferit Melen Havalimanı Müdürlüğü ve Batman Havalimanı Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

## Yazarların Katkısı

Araştırmanın tasarımı, planlanması, tartışma, materyal ve metodunun önemli bir kısmı Cihan ÖNEN tarafından yazılmıştır. Yılmaz ÇİFTÇİ çalışmanın giriş, planlama ve tasarımına katkı sağlamıştır. Sedat KAYAR çalışmanın düzenlenmesi, özeti ve materyal ve metodunda katkıları olmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yazarlar araştırma ve yayın etiğine uymuştur.

## Kaynaklar

- [1] Turan M., Doğan G., Bulut Y., Öztürk G., Şahinöz S. 2018. Yükseköğretim kurumlarında afet ve acil durumlara hazırlık çalışmaları ve etkinlikleri Gümüşhane üniversitesi örneği. Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 7(1): 1- 11
- [2] International Civil Aviation Organization (ICAO) 2012. "Airport Services Manual (Doc 9137) Part 7 Airport Emergency Planning", 1-96 s. 1-2.
- [3] International Civil Aviation Organization (ICAO) 2016 "Airport Services Manual (Doc 9137) Part 1 Rescue and Fire Fighting" 1-163 s. 118.
- [4] Koçak H., Yavuz Ö. 2012. Havalimanlarının afetlere hazırlanması. 1st International Aviation Management Conference, 7 December, Ankara, 130-136.
- [5] Bolat Y.Z. 2015. Kamu Kurumlarında Acil Durum Planı Hazırlama Rehberi ve İlgili Sektörde Acil Durum Bilincini Artırmaya Yönelik Uygulama. 1-153 s. 7
- [6] Kömürcüoğlu E. 2019. Kamu Kurumları Yönetiminde Liderlik ve Kriz Yönetimi. Turkish Studies Economics, Finance, Politics, 14 (4): 1423-1440.
- [7] Akdağ M. 2005. Halkla ilişkiler ve kriz yönetimi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 14: 1-20.
- [8] Arslan A.H. 2019. Havacılıkta kriz yönetimi: Southwest havayolları örneği. Journal of Aviation Research, 1(1): 42-56.
- [9] Çalışkan A. 2020. Kriz yönetimi: Bir ölçek geliştirme çalışması. Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 5(2): 106-120.
- [10] Andsoy İ., Ural S. 2014. Bir devlet üniversitesinde görev yapan güvenlik personeline verilen ilkyardım eğitiminin etkinliğinin değerlendirilmesi. Çağdaş Tıp Dergisi,4(2): 84-90.
- [11] Turan M., Kaya AA., Oral V. 2018. Küçük işletmelerin afet ve acil durumlara yönelik kurumsal hazırlıklarının değerlendirilmesi: Gümüşhane ili örneği. Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 7(1): 12-16.
- [12] İytemür A., Yeşil S.T. 2020. Bir üniversite hastanesinde çalışan hemşirelerin hastane afet ve acil durum planları ile ilgili görüşlerinin incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi Dergisi, 7(2): 138-148.
- [13] Heath R.L, Lee J., Ni L. 2009. Crisis and risk approaches to emergency management planning and communication: The role of similarity and sensitivity. Journal of Public Relations Research, 21(2): 123-141.
- [14] Kraus J., Plos V., Vittek P. 2014. The new approach to airport emergency plans. International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 8(8): 2406-2409.
- [15] Demirtaş H. 2000. Kriz yönetimi. Kuram ve Uygulamalarda Eğitim Yönetimi, 23(23): 353-373.

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## UVB-313 Lambalarına Ait Yapay Yaşlandırmanın UV Sistem Vernikli Yalancı Akasya Odununda Bazı Yüzey Özellikleri Üzerine Etkileri

Ümit AYATA<sup>1\*</sup>, Nevzat ÇAKICIER<sup>2</sup>, Levent GÜRLEYEN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, Türkiye

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce, Türkiye

<sup>3</sup>Gölyaka Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Gölyaka, Düzce, Türkiye

(ORCID: [0000-0002-6787-7822](https://orcid.org/0000-0002-6787-7822)) (ORCID: [0000-0001-6566-7541](https://orcid.org/0000-0001-6566-7541)) (ORCID: [0000-0002-6867-8059](https://orcid.org/0000-0002-6867-8059))

### Öz

Yalancı akasya ahşabı direkler, maden keresteleri, demiryolu bağları, gemi kerestesi, ahşap gemi yapımı için ağaç çivileri, kasalar, kutular, mandallar, çitler, inşaat ve mobilya endüstrisinde kullanıldığı bilinmektedir. Bu çalışmada, yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odunu yüzeylerine uygulanmış UV sistem parke verniklerinin (3 ve 5 kat), UVB-313 lambalarına sahip hızlandırılmış yaşlandırma sonlarında (252 ve 504 saatleri) renk, parlaklık, yüzeye yapışma direnci ve salınımsal sertlik özellikleri üzerine etkileri araştırılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, Bütün testlere ait olan varyans analizi sonuçları anlamlı olarak belirlenmiştir. 5 kat uygulamasına sahip vernikli malzemelerin 20°, 60° ve 85°'de liflere paralel (//) ve dik (⊥) yönlerde parlaklık değerleri, salınımsal sertlik değerleri ve yüzeye yapışma dirençleri 3 kat uygulamasına sahip vernikli malzemelerinkinden yüksek elde edilmiştir. Yaşlandırmadan sonra her iki vernik türü için  $a^*$  değerleri artarken,  $L^*$  değerleri azalmıştır. Bu ağaç türünün parke endüstrisinde kullanılabileceği söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Yalancı akasya, *Robinia pseudoacacia* L., Renk, Parlaklık, Salınımsal sertlik, Hızlandırılmış yaşlandırma

## Effects of Artificial Aging of UVB-313 Lamps on Some Surface Properties of UV System Varnished Black Locust Wood

### Abstract

Black locust wood is known to be used in poles, mine timber, railway ties, ship timber, insulator pins, wood nails for wooden shipbuilding, crates, boxes, pegs, fences, construction and furniture industries. In this study, color, gloss, surface adhesion resistance and pendulum hardness of UV system parquet varnishes (3 and 5 coats) applied to the surface of acacia (*Robinia pseudoacacia* L.) wood after accelerated aging with UVB-313 lamps (252 and 504 h). The effects on the properties were investigated. According to the findings obtained, the results of analysis of variance belonging to all tests were determined to be significant. The glossiness values, pendulum hardness values and surface adhesion resistance of the lacquered materials with 5 layers application were higher than those of the varnished materials with 3 layers application at 20°, 60° and 85° in parallel (//) and perpendicular (⊥) directions to the fibers. After aging,  $a^*$  values increased for both varnish types, while  $L^*$  values decreased. It can be said that this type of wood can be used in the parquet industry.

**Keywords:** Black locust, *Robinia pseudoacacia* L., color, Glossiness, Pendulum hardness, Accelerated aging

### 1. Giriş

*Robinia pseudoacacia* L., Fabaceae'ye aittir ve genellikle yalancı akasya olarak bilinmektedir. Ilıman bölgelerde yaygın olarak dağıtılır. Bir nitrojen sabitleyicidir, hızlı genç büyümesine sahiptir [1,2] ve tohumlar veya filizler tarafından çoğalabilir [3]. Barınak kemerleri ve arazi ıslahı için bir süs olarak yaygın olarak ekilir. Bu erken ardışık bitki hızla yayılır, gölgeleyen yoğun stantlar oluşturur ve

\*Sorumlu yazar: [umitayata@bayburt.edu.tr](mailto:umitayata@bayburt.edu.tr)

Geliş Tarihi: 09.08.2021, Kabul Tarihi: 06.10.2021



yakındaki bitki örtüsünü geride bırakır. İlginç biyolojik özellikleri ve tıbbi aktiviteleri vardır [4,5]. Bu ağaç türü, çürümeye karşı dayanıklı olup, ahşabı maden keresteleri, direkler, demiryolu bağları, izolatör pimleri, gemi kerestesi, ahşap gemi yapımı için ağaç çivileri, kutular, kasalar, mandallar, kazıklar [6], çitler, inşaat ve mobilya ile kâğıt hamuru üretiminde kullanılmaktadır. Güçlü bir şekilde yeniden filizlenme kabiliyeti nedeniyle ağaç, baltalık sistemlerinde ve silvopastoral sistemlerde yem olarak kullanılır [7-12]. Bu ağaç biyo-yağ üretimi için potansiyel bir kaynak olarak kullanılmaktadır [13]. Ayrıca biyokütleden elde edilen yakıt etanol için de potansiyel olduğu bildirilmiştir [14,15]. Diğer kullanımlar arasında toprak stabilizasyonu, erozyon kontrolü ve düzenli depolama sahalarının, madencilik alanlarının ve çorak arazilerin yeniden bitkilendirilmesinde de yer almaktadır [16-20]. Bu ağaç, ekonomik açıdan önemli çok amaçlı bir ağaçtır [7, 21]. Ayrıca bal üretimi için yaygın olarak ağaç dikilmektedir [22].

Yalancı akasya odununda hava kurusu yoğunluk  $828.07 \text{ g/cm}^3$ , öz odununda lignin %24.56, selüloz %50.53,  $\alpha$ -selüloz %60.53, holoselüloz %78.50, kül %0.21, diri odununda lignin %23.90, selüloz %49.31,  $\alpha$ -selüloz %63.27, holoselüloz %80.71, kül %0.41 [23], ısı iletkenlik değeri  $0.166 \text{ W/m.K}$  [24], 100'den 1000'e Hz frekans aralığında ses iletim kaybı değeri ortalama  $25.46 \text{ dB}$  ve yoğunluğu  $0.731 \text{ g/cm}^3$  [25], çivi tutma direnci sırasıyla radyal, teğet ve enine yüzeylerde  $13.75 \text{ N/mm}^2$ ,  $10.01 \text{ N/mm}^2$  ve  $10.51 \text{ N/mm}^2$  [26], shore D sertlik değeri 79.35, eğilme direnci  $189.11 \text{ N/mm}^2$ , şok direnci  $1.740 \text{ kgm/cm}^2$ , eğilmede elastikiyet modülü  $14128.50 \text{ N/mm}^2$ , vida tutma kapasitesi teğet, radyal ve enine yüzeyler için sırası ile  $53.53 \text{ N/mm}^2$ ,  $52.02 \text{ N/mm}^2$  ve  $45.10 \text{ N/mm}^2$  [27] olarak elde edilmiştir.

Uzun ömürlü ahşap yüzeyler elde etmek için ahşap malzemeler genellikle boyalar, şeffaf cilalar ve vernikler gibi çeşitli dekoratif ve koruyucu kimyasallar ile kaplanmaktadır. Ahşabın doğal özelliklerine (yani damar, renk, doku) izin veren şeffaf kaplama sistemleri, dış mekâna maruz kaldığında kısa ömürlüdür. Vernik kaplamaların UV ışığı şeffaflığı ve ahşap bileşenin, özellikle ligninin UV ışığı bozulmasına karşı aşırı duyarlılığı nedeniyle, şeffaf cilaların altında bozulma meydana gelir ve bu da kaplamanın bozulmasına neden olmaktadır [28]. UV ile kürlenmiş kaplamalar, çok hızlı kürlenme ve mükemmel mekanik, termal ve kimyasal direnç ile karakterize edilir. UV kürlenme ayrıca düşük enerji tüketimine ve düşük çalışma sıcaklığına izin verir, bu da UV ile kürlenebilen yüksek katı maddeli kaplamaları ahşap döşeme endüstrisi için iyi bir seçim haline getirir [29, 30]. Ahşap için iç mekânlarda kullanılan boya ve diğer kaplamalar ahşabı onlarca yıl koruyabilir ve yeniden cilalamayı önleyebilir [31-33].

Literatürde; kayısı [34], üvez [35], kestane, iroko, limba, sapelli [36], meşe [37], dişbudak [38], şeker akçaağacı [39], Amerikan ceviz, ceviz, kırmızı Amerikan meşesi, akçaağaç [40], gülibrişim [41], sarıçam [42], limon [43], doussie [44], kayın [45] ve adi kızılbaş [46] ahşap türlerine UV sistem verniklerin uygulandığı görülmektedir. UV sistem verniklenmiş malzemeler üzerinde uygulanan vernik ile ahşap arasındaki etkileşimin belirlenmesi üzerine çeşitli testlerin (renk, yüzeye yapışma, parlaklık ve salınımsal sertlik) yapıldığı da bildirilmiştir. Verilen bilgiler doğrultusunda yalancı akasya odununa herhangi bir UV sistem kaplamanın yapılmadığı literatürde görülmektedir.

Bu çalışmada, yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odununa uygulanmış 3 ve 5 kat UV sistem iç mekân parke verniklerinin UVB-313 lambalarının bulunduğu suni hava koşulları karşısındaki performansı araştırılmıştır. Renk, parlaklık, yüzeye yapışma direnci ve salınımsal sertlik değeri testleri periyodik olarak değerlendirilmiş olup, test numunelerinin sonuçları yaşlandırılmış ve kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçların gerek parke gerekse bu ağaç türüne ait kullanım bilgisine önemli bilgiler katacağı hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Ahşap Malzemenin Temin Edilmesi

Bu çalışmada, yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odunu İzmir'de bulunan bir kereste satıcısı tarafından temin edilmiştir. Malzemeler mantar ve böcek kusuru bulunmayan, lif kıvrıklığı sorunu olmayan, ardaksız ve budaksız olacak şekilde rastgele seçim yöntem ile alınmıştır. Yaşlandırma öncesi

ve sonrası deney gruplarına ait 100 x 10 x 2 cm boyutlarında hazırlanmış malzemeler üzerinde biçme ve renkleme işlemlerinden geçirildikten sonra iklimlendirme işlemleri uygulanmıştır [47].

## 2.2. Metot

### 2.2.1. UV Sistem Verniklerin Uygulanması

UV sistem parke verniği (3 ve 5 kat) üretim aşamaları Tablo 1’de verilmiştir. 100 cm x 10 cm x 1.7 cm boyutlarındaki ahşap malzemelere endüstriyel uygulamalara göre, KPS firması (Düzce, Türkiye)’nda UV vernikleri (3 ve 5 kat) uygulanmıştır. Uygulamada kullanılan kimyasallara ait bazı özellikler Ayata [43] tarafından yapılan araştırmada ayrıntılı olarak verilmiştir.

**Tablo 1.** UV sistem parke verniği üretim aşamaları (3 ve 5 kat)

3 kat uygulaması	5 kat uygulaması
	Kalibre zımpara uygulaması (80 ve 120 kum)
	Şeffaf UV kürlenmeli hidro astar (T8028-0000) 10 g/m <sup>2</sup> (70°C)
UV yüksek parlaklıkta perde kaplama (T9120-0900N1) 8 g/m <sup>2</sup>	UV şeffaf kürleşen sızdırmazlık macunu (T9110-0000H) 20 g/m <sup>2</sup> (70°C)
UV lamba kurutma uygulaması (177 mJ/cm <sup>2</sup> ) (2 defa)	UV şeffaf kürleşen sızdırmazlık macunu (T9110-0000) 10 g/m <sup>2</sup> (170°C) (2 defa)
	Kalibre zımparalama işlemi (280 ve 320 kum)
	Şeffaf mat UV yağı (T9115-0000) (8 g/m <sup>2</sup> )
	UV lamba kurutma uygulaması (71 mJ/cm <sup>2</sup> )
	Şeffaf mat UV yağı (T9115-0000) (8 g/m <sup>2</sup> )
	UV lamba kurutma uygulaması (314 mJ/cm <sup>2</sup> ) (2 defa)

### 2.2.2. Hızlandırılmış Yaşlandırma Uygulaması

Yapay yaşlandırma testi, ISO 4892-3, [48] standardına göre, UV sistem parke vernikleri kaplanmış panellerin bir floresan UV/yoğunlaştırılmalı yaşlandırma ekipmanına (QUV weathering tester, Q-Lab, Westlake, OH, US) maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Cihaz 0.76 ışık yoğunluğu ve 60°C’de 8 saat UV ışık; 4 saat 50°C sıcaklıkta kondenzasyon buhar yoğunlaştırma uygulaması olacak şekilde ayarlanmıştır. Kaplanmış paneller, 252 ve 504 saat süreleri boyunca ayarlanmış olan ortama bırakılmıştır. Kontrol örneklerinde ve test süresi boyunca maruz kalan yüzeylerde aşağıda verilen ölçümler yapılmıştır.

### 2.2.3. König Metoduna Göre Salınımsal Sertlik Değerinin Belirlenmesi

König metoduna göre salınımsal sertlik testleri ASTM D 4366-95 [49]’e standardına göre yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış test örnekleri üzerinde belirlenmiştir. Sertlik cihazında HRC sertliğinde  $63 \pm 3.3$  ve  $5 \pm 0.0005$  mm çapında iki adet bilye bulunmaktadır.

### 2.2.4. Yüzeğe Yapışma Direncinin Belirlenmesi

Vernikli numunelere ait yüzeğe yapışma direnci değerleri PosiTest AT-A (automatic) pull-off Adhesion Tester (Defelsko® corp., S/N AT11802, USA) cihazında ASTM D 4541 [50] standardına göre belirlenmiştir. Araştırmada, 404 plastik çelik marka (Çekmeköy/İstanbul) hızlı yapıştırıcı (reçine ve katalizör) kullanılmıştır. UV sistem vernik uygulanmış test örneklerine ait yüzeyler 20 mm olan çekme silindirleri normal oda sıcaklığında (20°C±2) yapıştırılmış olup, 24 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Yapışma direnci 1 no’lu formül ile hesaplanmıştır.

$$X = [(4 \times F) / (\pi \times d^2)] \quad (1)$$

Burada; X: yapışma direnci (N/mm<sup>2</sup>), F: kopma anındaki kuvvet (Newton) ve d: çekme silindirinin çapını (mm) ifade etmektedir.

### 2.2.5. Renk Özelliklerinin Belirlenmesi

UV vernikli malzemelerin kırmızı renk ( $a^*$ ) tonu, sarı renk ( $b^*$ ) tonu ve ışıklılık ( $L^*$ ) değerleri ASTM D2244-3 [51] standardına göre, CS-10 colorimeter (CHN Spec, Çin) marka renk cihazında [Ölçüm koşulları: CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağınık aydınlatma)] ölçülmüştür. Barański ve ark., [52]'e göre renk değiştirme kriterleri Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen toplam renk farkı değerleri bu tabloya göre değerlendirilmiştir.

**Tablo 2.** Renk değiştirme kriterleri [52]

Gözlem Sonucu	▶	$\Delta E^*$ Değeri
Görünmez renk değişimi	▶	$\Delta E^* < 0.2$
Hafif renk değişimi	▶	$2 > \Delta E^* > 0.2$
Yüksek filtrede görünür renk değişimi	▶	$3 > \Delta E^* > 2$
Filtrenin ortalama kalitesiyle görülebilen bir renk değişimi	▶	$6 > \Delta E^* > 3$
Yüksek renk değişimi	▶	$12 > \Delta E^* > 6$
Farklı renk	▶	$\Delta E^* > 12$

CIELAB sisteminde,  $L^*$  eksenini, 100'den (beyaz) sıfıra (siyah) kadar değişen açıklığı,  $a^*$  kırmızı (+) ile yeşil (-) tonu ve  $b^*$  sarıdan (+) maviye (-) tonu ifade etmektedir [43].  $\Delta L^*$ ,  $\Delta b^*$ ,  $\Delta E^*$  ve  $\Delta a^*$  değerleri aşağıdaki formüller ile belirlenmiştir.

$$\Delta b^* = [b^*_{UV \text{ uygulanmış ve yaşlandırılmış}}] - [b^*_{UV \text{ uygulanmış ve yaşlandırılmamış}}] \quad (2)$$

$$\Delta a^* = [a^*_{UV \text{ uygulanmış ve yaşlandırılmış}}] - [a^*_{UV \text{ uygulanmış ve yaşlandırılmamış}}] \quad (3)$$

$$\Delta L^* = [L^*_{UV \text{ uygulanmış ve yaşlandırılmış}}] - [L^*_{UV \text{ uygulanmış ve yaşlandırılmamış}}] \quad (4)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (5)$$

### 2.2.6. Parlaklık Ölçümlerinin Belirlenmesi

Yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış UV sistem parke vernikli test örneklerinin parlaklık değerleri ISO 2813 [53] standardına göre, ETB-0833 model gloss meter cihazında (Vetus Electronic Technology Co., Ltd., CN) liflere paralel (//) ve dik ( $\perp$ ) yönlerde olacak şekilde yapılmıştır. Parlaklık ölçümlerinde 20°, 60° ve 85° derecelerde geometri geliş açıları seçilmiştir.

### 2.3. İstatistiksel Analiz

Bir SPSS programının kullanılması ile yapılan testlere ait olan standart sapmalar, homojenlik grupları, minimum ve maksimum değerler, % değişim oranları, ortalama sonuçları ve varyans analizi hesaplanmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Işıklılık ( $L^*$ ) değerine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 3'de gösterilmektedir. Tablo 3'e göre, uygulama metodu (A), yaşlandırma periyodu (B) ve bu faktörlerin etkileşimi (AB) anlamlı olarak elde edilmiştir.

**Tablo 3.** Işıklılık ( $L^*$ ) değerlerine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
$L^*$	Uygulama Metodu (A)	1	36.193	36.193	50.357	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	1026.423	513.211	714.059	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	75.834	37.917	52.756	0.000*
	Hata	54	38.811	0.719		
	<b>Toplam</b>	<b>60</b>	<b>133822.562</b>			

\*: Anlamlı

Işıklılık ( $L^*$ ) değerlerine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları Tablo 4’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre, her iki uygulama için  $L^*$  değerinin yaşlandırma süresinin artması ile azaldığı belirlenmiştir. Her iki vernik uygulamasında yaşlandırma öncesi  $L^*$  değerleri birbirine çok yakın elde edilmiştir. Buna benzer bir sonuç Gürleyen ve ark., [53] tarafında yapılan çalışmada da görülmüştür. Söğütü ve Sönmez [54] tarafından  $L^*$  değerindeki artışın “daha açık renk” anlamına geldiğini, azalışın ise koyulaşması anlamına geldiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada her iki vernik türünde de azalmaların elde edildiğinden dolayı koyulaşmaların meydana geldiği söylenebilir. Yaşlandırmadan sonra azalmaların elde edildiği bazı çalışmalarda da [43, 34, 41, 44] tarafından yapılan çalışmalarda da rapor edilmiştir.

**Tablo 4.** Işıklılık ( $L^*$ ) değerlerine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	X	HG	Değişim (%)	SS	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm
$L^*$	3 kat ►	Kontrol	10	53.48	A*	-	0.77	51.96	54.55
		252 saat	10	44.05	E	↓17.63	0.51	43.54	45.22
		504 saat	10	41.20	F**	↓22.96	0.21	40.81	41.51
	5 kat ►	Kontrol	10	52.06	B	-	0.77	51.24	53.19
		252 saat	10	46.10	C	↓11.45	0.96	44.48	47.33
		504 saat	10	45.22	D	↓13.14	1.38	43.49	47.36

HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı, SS: Standart Sapma, X: Ortalama,  
\*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.

Kırmızı renk ( $a^*$ ) tonu değerlerine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 5’de gösterilmektedir. Tablo 5 incelendiğinde, uygulama metodunun (A), yaşlandırma periyodunun (B) ve bu faktörlerin etkileşiminin (AB) anlamlı olarak elde edildikleri görülmektedir.

**Tablo 5.** Kırmızı renk ( $a^*$ ) tonu değerlerine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
$a^*$	Uygulama Metodu (A)	1	470.792	470.792	3007.882	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	799.344	399.672	2553.499	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	111.998	55.999	357.775	0.000*
	Hata	54	8.452	0.157		
	<b>Toplam</b>	<b>60</b>	<b>13655.125</b>			

\*: Anlamlı

Kırmızı renk ( $a^*$ ) tonu değerlerine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları Tablo 6’da verilmiştir. Sonuçlara göre, her iki uygulama için yaşlandırma süresinin artması ile  $a^*$  değerlerinin arttığı görülmektedir. 3 kat uygulamasına ait artış oranının 5 kat uygulamasına ait verniğinkinden yüksek elde edilmiştir. Her iki vernik uygulamasında yaşlandırma öncesine ait olan kontrol ölçümlerinin  $a^*$  değerleri birbirine çok yakın bulunmuştur. Yaşlandırmadan sonra azalmaların elde edildiği yapılan araştırmalarda [43, 34, 41, 44] da bildirilmiştir.

**Tablo 6.** Renk parametrelerine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	X	HG	Değişim (%)	SS	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm
<i>a*</i>	3 kat ►	Kontrol	10	10.85	D	-	0.32	10.40	11.24
		252 saat	10	17.66	B	↑62.76	0.50	17.21	18.57
		504 saat	10	22.79	A*	↑110.05	0.25	22.40	23.17
	5 kat ►	Kontrol	10	9.10	F**	-	0.16	8.82	9.27
		252 saat	10	10.37	E	↑13.96	0.37	9.98	11.07
		504 saat	10	15.02	C	↑65.05	0.60	14.20	15.95

**HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı, SS: Standart Sapma, X: Ortalama,**  
**\*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.**

Sarı renk (*b\**) tonu değerleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 7’de gösterilmektedir. Tablo 7’ye göre, uygulama metodu (A), yaşlandırma periyodu (B) ve bu faktörlerin etkileşimi (AB) anlamlı olarak elde edilmiştir.

**Tablo 7.** Sarı renk (*b\**) tonu değerleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
<i>b*</i>	Uygulama Metodu (A)	1	202.364	202.364	370.590	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	33.468	16.734	30.645	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	20.898	10.449	19.135	0.000*
	Hata	54	29.487	0.546		
	Toplam	60	39398.688			

**\*: Anlamlı**

Sarı renk (*b\**) tonu değerleri için belirlenmiş olan SPSS sonuçları Tablo 8’de gösterilmektedir. Sonuçlara göre, her iki uygulamanın kontrol örneklerine ait *b\** değerleri birbirine yakın elde edilmiştir. 3 kat uygulamada *b\** değerinin yaşlandırma süresinin artması ile azaldığı görülürken, 5 kat uygulamada 252. saatin sonunda önce azalış (%8.94 oranında) sonra 504. saatin sonunda artış (%1.85 oranında) belirlemiştir.

**Tablo 8.** Sarı renk (*b\**) tonu değerleri için belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	X	HG	Değişim (%)	SS	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm
<i>b*</i>	3 kat ►	Kontrol	10	28.37	A*	-	0.47	27.49	29.07
		252 saat	10	26.96	B	↓4.97	0.79	25.96	28.50
		504 saat	10	26.79	B	↓5.57	0.38	26.17	27.35
	5 kat ►	Kontrol	10	24.27	C	-	0.25	23.82	24.60
		252 saat	10	22.10	D**	↓8.94	0.66	21.13	22.87
		504 saat	10	24.72	C	↑1.85	1.34	23.27	27.66

**HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı, SS: Standart Sapma, X: Ortalama,**  
**\*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.**

Yapay yaşlandırma sonlarında UV vernikler ile kaplanmış ahşap numunelerinin toplam renk farklılıklarındaki değişiklikleri Tablo 9’da gösterilmektedir. Bu sonuçlara göre 3 kat uygulamanın  $\Delta E^*$  değerleri 5 kat uygulamasından yüksek bulunmuştur. Ayrıca yaşlandırma süresinin artması ile  $\Delta E^*$  değerlerinin her iki vernik türü içinde arttığı belirlenmiştir. Buna ek olarak, Barański ve ark., [52]’e göre renk değiştirme kriteri gözlem sonucuna bakıldığında (Tablo 2) 3 kat uygulamasında 504. saatin sonunda “*farklı renk*” kategorisini temsil ederken, 3 kat uygulamanın 252. ci saatin sonunda ve 5 kat uygulamanın 252. ci ve 504. cü saatleri sonunda “*yüksek renk değişimi*” kategorisinde yer aldığı görülmektedir. UV sistem parke vernik uygulanmış malzemeler üzerinde yapılan hızlandırılmış yaşlandırma uygulamalarından sonra yaşlandırma süresinin artması ile  $\Delta E^*$  değerlerinin arttığı Ayata ve ark., (2021) tarafından yapılan UVA-340 lambalarına sahip çalışmada bildirilmiştir.

**Tablo 9.** Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları

Uygulama Metodu	Yaşlandırma Periyodu	Barański ve ark., [52]'e göre renk değiştirme kriteri gözlem sonucu	$\Delta E^*$	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	
3 kat ►	252 saat	Yüksek renk değişimi	$12 > \Delta E^* > 6$	11.71	-9.42	6.81	-1.41
	504 saat	Farklı renk	$\Delta E^* > 12$	17.20	-12.28	11.94	-1.58
5 kat ►	252 saat	Yüksek renk değişimi	$12 > \Delta E^* > 6$	6.47	-5.96	1.27	-2.17
	504 saat	Yüksek renk değişimi	$12 > \Delta E^* > 6$	9.06	-6.84	5.92	0.46

20°’de liflere dik ve paralel parlaklık değerleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 10’da verilmiştir. Tablo 10’a göre, her iki yön için 20°’de parlaklık için uygulama metodu (A), yaşlandırma periyodu (B) ve bu faktörlerin etkileşimi (AB) anlamlı olarak belirlenmiştir.

**Tablo 10.** 20°’de liflere dik ve paralel parlaklık değerleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
//20°	Uygulama Metodu (A)	1	7.280	7.280	1113.680	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	6.190	3.095	473.482	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	0.366	0.183	28.020	0.000*
	Hata	54	0.353	0.007		
	Toplam	60	38.130			
⊥20°	Uygulama Metodu (A)	1	10.168	10.168	385.320	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	4.296	2.148	81.404	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	1.432	0.716	27.139	0.000*
	Hata	54	1.425	0.026		
	Toplam	60	39.770			

\*: Anlamlı

20°’de liflere dik ve paralel parlaklık değerleri için belirlenmiş olan SPSS sonuçları Tablo 11’de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, 3 ve 5 kat uygulamalarda yaşlandırma uygulaması tarafından 20°’de liflere dik ve paralel parlaklık değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Her iki vernik türü için yaşlandırma sonralarında elde edilen sonuçlar birbirine yakın olarak elde edilmiştir. 3 kat uygulamanın azalma miktarları 5 kat uygulamanınkinden yüksek olarak bulunmuştur. Buna ek olarak 5 kat uygulamanın 20°’deki parlaklık değerleri 3 kat uygulamanınkinden yüksek olarak elde edilmiştir.

**Tablo 11.** 20°’de liflere dik ve paralel parlaklık değerleri için belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	X	HG	Değişim (%)	SS	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm
//20°	3 kat ►	Kontrol	10	0.63	C	-	0.07	0.60	0.80
		252 saat	10	0.11	D**	↓82.54	0.03	0.10	0.20
		504 saat	10	0.11	D**	↓82.54	0.03	0.10	0.20
	5 kat ►	Kontrol	10	1.54	A*	-	0.07	1.40	1.60
		252 saat	10	0.65	C	↓57.79	0.16	0.60	1.10
		504 saat	10	0.75	B	↓51.30	0.05	0.70	0.80
⊥20°	3 kat ►	Kontrol	10	0.36	C	-	0.07	0.30	0.50
		252 saat	10	0.12	D**	↓66.67	0.04	0.10	0.20
		504 saat	10	0.12	D**	↓66.67	0.04	0.10	0.20
	5 kat ►	Kontrol	10	1.62	A*	-	0.16	1.20	1.70
		252 saat	10	0.71	B	↓56.17	0.35	0.60	1.70
		504 saat	10	0.74	B	↓54.32	0.05	0.70	0.80

HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı, SS: Standart Sapma, X: Ortalama,

\*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.

60°’de liflere dik ve paralel parlaklık değerleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 12’de gösterilmiştir. Tablo 12’ye göre, her iki yön için 60°’de parlaklık için uygulama metodu (A), yaşlandırma periyodu (B) ve bu faktörlerin etkileşimi (AB) anlamlı olarak bulunmuştur.

**Tablo 12.** 60°de liflere dik ve paralel parlaklık değerleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
//60°	Uygulama Metodu (A)	1	918.851	918.851	22698.049	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	429.577	214.789	5305.850	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	81.285	40.643	1003.982	0.000*
	Hata	54	2.186	0.040		
	Toplam	60	3785.660			
⊥60°	Uygulama Metodu (A)	1	840.004	840.004	749.669	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	317.800	158.900	141.812	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	62.610	31.305	27.939	0.000*
	Hata	54	60.507	1.121		
	Toplam	60	3284.270			

\*: Anlamlı

60°de liflere dik ve paralel parlaklık değerleri için belirlenmiş olan SPSS sonuçları Tablo 13’de verilmiştir. Bulgulara göre, 3 ve 5 kat uygulamalarda yapılan yaşlandırma uygulaması ile 60°de liflere dik ve paralel parlaklık değerlerinin azaldığı görülmüştür. Her iki vernik türü için yaşlandırma sonralarında elde edilen sonuçlar birbirine yakın bulunmuştur. 3 kat uygulamaya ait azalma miktarları 5 kat uygulamanınkinden yüksek olarak elde edilmiştir. Buna ek olarak 5 kat uygulamanın 60°deki parlaklık değerleri 3 kat uygulamanınkinden yüksek olarak bulunmuştur. Diğer araştırmacılar da uygulanmış olan UVA-340 lambalarına sahip hızlandırılmış hava koşullarından sonra UV sistem vernikli ahşap numunelerinin parlaklığında bazı azalmalar bulduklarını bildirmişlerdir [34, 43, 44].

**Tablo 13.** 60°de liflere dik ve paralel parlaklık değerleri için belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	X	HG	Değişim (%)	SS	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm
//60°	3 kat ▶	Kontrol	10	4.52	D	-	0.15	4.30	4.80
		252 saat	10	1.37	E	↓69.69	0.07	1.30	1.50
		504 saat	10	1.16	F**	↓74.34	0.08	1.10	1.30
	5 kat ▶	Kontrol	10	15.56	A*	-	0.16	15.40	15.90
		252 saat	10	6.97	C	↓55.21	0.31	6.40	7.30
		504 saat	10	8.00	B	↓48.59	0.29	7.30	8.30
⊥60°	3 kat ▶	Kontrol	10	3.86	C	-	0.10	3.70	4.00
		252 saat	10	1.19	D	↓69.17	0.12	1.00	1.40
		504 saat	10	1.06	D**	↓72.54	0.05	1.00	1.10
	5 kat ▶	Kontrol	10	14.20	A*	-	0.12	13.90	14.30
		252 saat	10	6.87	B	↓51.62	2.58	5.70	14.20
		504 saat	10	7.49	B	↓47.25	0.10	7.30	7.60

HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı, SS: Standart Sapma, X: Ortalama,

\*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.

85°de liflere paralel ve dik parlaklık değerleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 14’de verilmiştir. Tablo 14’e göre, her iki yön için 85°de parlaklık için uygulama metodu (A), yaşlandırma periyodu (B) ve bu faktörlerin etkileşimi (AB) anlamlı olarak belirlenmiştir.

**Tablo 14.** 85°'de liflere dik ve paralel parlaklık değerleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
//85°	Uygulama Metodu (A)	1	2083.883	2083.883	10824.323	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	1345.276	672.638	3493.887	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	316.889	158.445	823.010	0.000*
	Hata	54	10.396	0.193		
	<b>Toplam</b>	<b>60</b>	<b>9684.660</b>			
⊥85°	Uygulama Metodu (A)	1	952.814	952.814	362.984	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	571.097	285.549	108.783	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	156.324	78.162	29.777	0.000*
	Hata	54	141.747	2.625		
	<b>Toplam</b>	<b>60</b>	<b>3662.370</b>			

\*: Anlamlı

85°'de liflere paralel ve dik parlaklık değerlerine ait SPSS sonuçları Tablo 15'de gösterilmektedir. Sonuçlara göre, 3 ve 5 kat uygulamalarda yapılan yaşlandırma uygulaması ile 85°'de liflere dik ve paralel parlaklık değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. 3 kat uygulamaya ait azalma miktarları 5 kat uygulamanınkinden yüksek olarak elde edilmiştir. Buna ek olarak 5 kat uygulamanın 85°'deki parlaklık değerleri 3 kat uygulamanınkinden yüksek olarak belirlenmiştir.

**Tablo 15.** 85°'de liflere paralel ve dik parlaklık değerleri için belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	X	HG	Değişim (%)	SS	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm
//85°	3 kat ▶	Kontrol	10	7.86	D	-	0.89	7.20	10.30
		252 saat	10	2.40	E	↓69.47	0.00	2.40	2.40
		504 saat	10	1.88	F**	↓76.08	0.25	1.60	2.40
	5 kat ▶	Kontrol	10	25.08	A*	-	0.13	25.00	25.40
		252 saat	10	8.38	C	↓66.59	0.42	7.50	9.20
		504 saat	10	14.04	B	↓44.02	0.33	13.40	14.40
⊥85°	3 kat ▶	Kontrol	10	3.61	C	-	0.75	2.40	4.70
		252 saat	10	0.23	D**	↓93.63	0.14	0.10	0.50
		504 saat	10	0.82	D	↓77.29	0.19	0.50	1.20
	5 kat ▶	Kontrol	10	16.00	A*	-	0.30	15.50	16.40
		252 saat	10	5.00	C	↓68.75	3.88	3.50	16.00
		504 saat	10	7.57	B	↓52.69	0.13	7.50	7.80

HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı, SS: Standart Sapma, X: Ortalama,  
\*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.

Yüzeye yapışma direncine için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 16'da verilmiştir. Tablo 16 incelendiğinde, uygulama metodu (A), yaşlandırma periyodu (B) ve bu faktörlere ait olan etkileşim (AB) anlamlı olarak bulunduğu görülmektedir.

**Tablo 16.** Yüzeye yapışma direncine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Yapışma Direnci	Uygulama Metodu (A)	1	3.598	3.598	58.878	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	5.168	2.584	42.281	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	9.377	4.688	76.710	0.000*
	Hata	24	1.467	0.061		
	<b>Toplam</b>	<b>30</b>	<b>137.420</b>			

\*: Anlamlı

Yüzeye yapışma direncine ait SPSS sonuçları Tablo 17'de gösterilmektedir. Sonuçlara göre, kontrol örneklerinde yapışma direnci 3 kat uygulamada 1.33 MPa olarak bulunurken, 5 kat uygulamada 2.12 MPa olarak elde edilmiştir. 3 kat uygulamada yapılan yaşlandırma uygulaması ile yapışma



direncinin arttığı belirlenirken, 5 kat uygulamada yapışma direncinin azaldığı görülmektedir. 5 kat uygulamaya ait kontrol yapışma direnci 3 kat uygulamaninkinden yüksek olduğu görülmüştür. Clerc ve ark., [55] tarafından hava koşullarına bağlı yapışma mukavemeti kaybı, çoğunlukla yapıştırıcının kimyasal olarak bozulmasından ziyade ahşabın bozulmasından dolayı olduğu şeklinde belirtilmiştir.

**Tablo 17.** Yüzeze yapışma direncine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	X	HG	Değişim (%)	SS	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm
Yapışma Direnci (MPa)	3 kat ►	Kontrol	5	1.33	CD	-	0.13	1.13	1.47
		252 saat	5	2.13	B	↑60.15	0.09	1.99	2.23
		504 saat	5	3.52	A*	↑164.66	0.50	3.04	4.35
	5 kat ►	Kontrol	5	2.12	B	-	0.17	1.85	2.30
		252 saat	5	1.17	D**	↓44.81	0.23	1.03	1.57
		504 saat	5	1.61	C	↓24.04	0.12	1.46	1.71

**HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı, SS: Standart Sapma, X: Ortalama, \*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.**

Salımsal sertlik değerleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 18’de verilmiştir. Tablo 18’e göre, uygulama metodu (A), yaşlandırma periyodu (B) ve bu faktörlere ait olan etkileşim (AB) anlamlı olarak elde edilmiştir.

**Tablo 18.** Salımsal sertlik değerlerine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Salımsal Sertlik	Uygulama Metodu (A)	1	3154.694	3154.694	321.361	0.000*
	Yaşlandırma Periyodu (B)	2	1774.889	887.444	90.402	0.000*
	Etkileşim (AB)	2	1142.889	571.444	58.212	0.000*
	Hata	30	294.500	9.817		
	Toplam	36	79357.000			

**\*: Anlamlı**

Salımsal sertlik değerlerine ait SPSS sonuçları Tablo 19’da gösterilmektedir. Sonuçlara göre, 5 kat uygulamanın sertlik değerinin 3 kat uygulamasından yüksek elde edildiği görülmüştür. Kaplama kalınlığı arttıkça sertlik değerinin arttığı görülmektedir. Kontrol örneklerinde 3 kat uygulamada sertlik 33.67 olarak elde edilirken, 5 kat uygulamada 50.17 olarak belirlenmiştir. Literatürde yapılan UV sistem vernikli çalışmalarda da [34, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 44, 45] kat sayısının artması ile salımsal sertlik değerlerinin arttığı görülmektedir. Sertlik değeri her iki vernik türü için 504 saatlik yaşlandırmadan sonra artmıştır.

**Tablo 19.** Salımsal sertlik değerlerine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	X	HG	Değişim (%)	SS	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm
Salımsal Sertlik	3 kat ►	Kontrol	6	33.67	E**	-	4.27	29.00	41.00
		252 saat	6	35.33	DE	↑4.93	3.93	28.00	39.00
		504 saat	6	38.00	CD	↑12.86	1.79	35.00	40.00
	5 kat ►	Kontrol	6	50.17	B	-	1.47	48.00	52.00
		252 saat	6	41.50	C	↓17.28	4.04	35.00	46.00
		504 saat	6	71.50	A*	↑42.52	1.87	69.00	74.00

**HG: Homojenlik Grubu, N: Ölçüm Sayısı, SS: Standart Sapma, X: Ortalama, \*: En yüksek değeri ifade etmektedir, \*\*: En düşük değeri ifade etmektedir.**

#### 4. Sonuç ve Öneriler

UV sistem parke vernikleri ile kaplanmış yalancı akasya odununa uygulanmış olan hızlandırılmış yaşlandırmalardan sonra renk, parlaklık, salımsal sertlik ve yüzey direnci yapışma özellikleri üzerine aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Bütün testler için yapılmış olan varyans analizi sonuçlarının anlamlı olarak elde edildiği sonucuna ulaşılmıştır.
- 5 kat uygulamasına sahip malzemelerin 20°, 60° ve 85°'de liflere dik (⊥) ve paralel (//) yönlerde parlaklık değerleri, yüzeye yapışma dirençleri ve salınımsal sertlik değerleri 3 kattan yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Her iki vernik türü için yaşlandırmadan sonra  $L^*$  değerleri azalırken,  $a^*$  değerleri artmıştır.
- Renk değiştirme kriteri sonrasında 3 kat uygulaması 504 saatlik yaşlandırma sonunda “*farklı renk*” aralığını verirken, 3 kat uygulamasının 252 saatlik yaşlandırma sonunda ve 5 kat uygulamasının 252 ve 504 saatlik yaşlandırmalar sonunda “*yüksek renk değişimi*” aralığını verdiği sonucuna ulaşılmıştır.
- Bu ağaç türü parke endüstrisinde kullanıla bilinir.

### **Teşekkür**

Yazarlar, UV sistem parke verniği uygulamaları için KPS Fabrikası'na (Düzce) teşekkür etmektedir.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar ortak eşit katkılı olarak (laboratuvar ve yazımı) çalışmada 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] Hanover J.W., Miller K., Plesko S. 1992. Black locust: An Historical and Future Perspective, 7-18, in J.W. Hanover, K. Miller, and S. Plesko (eds.). Black Locust: Biology, Culture and Utilization, Proceedings International Conference Black Locust, East Lansing, MI, USA.
- [2] Moon H.S., Jung S.Y., Hong S.C. 2001. Rate of soil respiration at black locust (*Robinia pseudo-acacia*) stands in Jinju area. The Korean Journal of Ecology, 24 (6): 371-376.
- [3] Nasir H., Iqbal Z., Hiradate S., Fujii Y. 2005. Allelopathic potential of *Robinia pseudo-acacia* L. Journal of Chemical Ecology, 31 (9): 2179-2192. DOI: 10.1007/s10886-005-6084-5.
- [4] Fielder M. 1975. Plant Medicine and Folklore Winchester Press New York 106.
- [5] Foster S., Duke J.A. 1990. Roger Tory Peterson Field Guides: Medicinal Plants Houghton Mifflin Press Boston, MA 274.
- [6] Olson D.F. 1974. Robinia L., Locust, In Seeds of Woody Plants in the United States. 728-731. C.S. Schopmeyer, tech. coord. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 450. Washington, DC,1-883.
- [7] Göhre K., Erteld W. 1952. Die Robinie und ihr Holz, Deutscher Bauernverlag, Berlin, Germany.
- [8] Papanastasis V.P., Platis P.D., Dini-Papanastasi, O. 1997. Productivity of deciduous woody and fodder species in relation to air temperature and precipitation in a Mediterranean environment. Agroforestry Systems, 37: 187-198.
- [9] Papanastasis V.P., Platis P.D., Dini-Papanastasi O. 1998. Effects of age and frequency of cutting on productivity of Mediterranean deciduous fodder tree and shrub plantations. Forest Ecology and Management, 110: 283-292.
- [10] Addlestone B.J., Mueller J.P., Luginbuhl J.M. 1998. The establishment and early growth of three leguminous tree species for use in silvopastoral systems of the southeastern USA. Agroforestry Systems, 44: 253-265.
- [11] Burner D.M., Pote D.H., Ares A. 2006. Foliar and shoot allometry of pollarded black locust, *Robinia pseudoacacia* L. Agroforestry Systems, 68: 37-42. DOI: 10.1007/s10457-006-0001-y.

- [12] Unruh Snyder L., Mueller J., Luginbuhl J., Brownie C. 2007. Growth characteristics and allometry of *Robinia pseudoacacia* as a silvopastoral system component. *Agroforestry Systems*, 70: 41-51.
- [13] Balat M. 2010. Bio-oil production from pyrolysis of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood. *Energy Exploration & Exploitation*, 28 (3): 173-186. DOI: 10.1260/0144-5987.28.3.173.
- [14] Grünwald H., Böhm C., Quinkenstein A., Grundmann P., Eberts J., von Wühlisch G. 2009. *Robinia pseudoacacia* L., a lesser known tree species for biomass production. *Bioenergy Research*, 2: 123-133. DOI: 10.1007/s12155-009-9038-x.
- [15] González-García S., Martínez Gasol C., Moreira M.T., Gabarrell X., Rieradevall i Pons J., Feijoo G. 2011. Environmental assessment of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.)-based ethanol as potential transport fuel. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 16: 465-477. DOI: 10.1007/s11367-011-0272-z.
- [16] Cleveland B., Kjelgren R. 1994. Establishment of six tree species on deepilled minesoil during reclamation. *Forest Ecology and Management*, 68: 273-280.
- [17] Brofas G., Karetos G. 2002. Revegetation of mining spoils by seeding of woody species on Ghiona Mountain, Central Greece. *Land Degradation & Development*, 13 (6): 461-467. DOI: 10.1002/ldr.529.
- [18] Kim K.D., Lee E.J., Cho K.H. 2004. The plant community of Nanjido, a representative nonsanitary landfill in South Korea: implications for restoration alternatives, *Water, Air, and Soil Pollution*, 154: 167-185.
- [19] Kim K.D., Lee E.J. 2005. Potential tree species for use in the restoration of unsanitary landfills, *Environmental Management*, 36: 1-14.
- [20] Zagas T., Tsitsoni T., Ganatsas P., Tsakalimi M., Skotidakis T., Zagas D. 2010. Land reclamation and ecological restoration in a marine area. *International Journal of Environmental Research*, 4 (4): 673-680.
- [21] Barrett R.P., Mebrahtu T., Hanover J.W. 1990. Black Locust: a multipurpose tree species for temperate climates, *Advances in New Crops* (eds J. Janick & J.W. Simon), Timber Press, Portland, USA, 278-283
- [22] Dalby R. 2004. A honey of a tree: black locust. *American Bee Journal*, 144: 382-384.
- [23] Erkan S. 2012. Fıstıkçamı (*Pinus pinea* L.) ve Yalancı Akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) Öz ve Diri Odunlarının Kimyasal ve Morfolojik Özelliklerinin Belirlenmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dal, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- [24] Cavus V., Sahin S., Esteves B., Ayata U. 2019. Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey. *Bioresources*, 14 (3): 6709-6715. DOI: 10.15376/biores.14.3.6709-6715.
- [25] Çavuş V., Kara M. 2020. Experimental determination of sound transmission loss of some wood species. *Kastamonu Univ., Journal of Forestry Faculty*, 20 (2): 190-199. DOI: 10.17475/kastorman.801786.
- [26] Ayata Ü., Bal B.C. 2019. Yalancı Akasya Odununda Çivi Tutma Direnci ve Janka Sertlik Değerinin Belirlenmesi, III. Uluslararası Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu, 3-5 Ekim, Kahramanmaraş, Türkiye, 927-931.
- [27] Ayata Ü., Bal B.C. 2020. Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odununda bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Teori ve Araştırmalar II*, Gece Kitaplığı Yayınevi, Ankara, Türkiye, Aralık 2020, 199-216. ISBN: 978-625-7319-11-9.
- [28] Salla J., Pandey K.K., Srinivas K. 2012. Improvement of UV resistance of wood surfaces by using ZnO nanoparticles. *Polymer Degradation and Stability*, 97 (4): 592-596. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.01.013.
- [29] Mosjewski R. 1999. UV Curing for Wood Applications, Radtech Report.
- [30] Ross J.S., Sigel G.A. 2006. Armstrong's World Coatings Quality Journey, Radtech Report.
- [31] Banov A. 1973. *Paints and Coatings Handbook*, Structures: Farmington, MI.
- [32] Browne F.L. 1948. *Forest Products Laboratory Report No. R1053*; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: Madison, WI.

- [33] Anonim, 1987. Forest Products Laboratory, Wood Handbook: Wood as an Engineering Material; Agriculture Handbook 72 (Rev.); U.S. Department of Agriculture, Forest Service: Washington, DC.
- [34] Ayata Ü., Çakıcıer N., Gürleyen L. 2021. İç mekânda kullanılan UV sistem parke verniği uygulamasına sahip kayısı odununda yapay yaşlandırma performansının belirlenmesi. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 4 (1): 40-50. DOI: 10.33725/mamad.922311.
- [35] Gürleyen T., Ayata Ü., Gürleyen L., Esteves B., Çakıcıer N. 2017b. Üvez (*Sorbus L.*) Odununa Uygulanan Tek ve Çift Kat UV Sistem Parke Vernik Katmanlarında Renk, Parlaklık ve Salınımsal Sertlik Değerlerinin Belirlenmesi. 5. Uluslararası Mühendislik Ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi, 29 Eylül - 01 Ekim, Bakü, Azerbaycan, 1327-1336.
- [36] Ayata Ü., Cavus V. 2018. The determination of the surface adhesion resistance and pendulum hardness on the parquets applied UV varnish as single and double layers. Journal of Engineering Sciences and Design, 6 (4): 541-545. DOI: 10.21923/jesd.388346.
- [37] Gurleyen L., Ayata U., Esteves B., Gurleyen T., Cakicier N. 2019. Effects of thermal modification of oak wood upon selected properties of coating systems. Bioresources, 14 (1): 1838-1849. DOI: 10.15376/biores.14.1.1838-1849.
- [38] Ayata Ü., Gürleyen T., Gürleyen L., Esteves B., Çakıcıer N. 2017b. 212°C'de 2 Saat Süreyle Isıl İşlem Görmüş (ThermoWood) ve Tek/Çift Kat UV Sistem Parke Vernik Uygulanmış Dişbudak (*Fraxinus excelsior*) Odununda Bazı Yüzey Özelliklerinin Belirlenmesi. 5. Uluslararası Mühendislik Ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi, 29 Eylül - 01 Ekim, Bakü, Azerbaycan, 1318-1326.
- [39] Vardanyan V., Poaty B., Chauve G., Landry V., Galstian T., Riedl B. 2014. Mechanical properties of UV-waterborne varnishes reinforced by cellulose nanocrystals. Journal of Coatings Technology and Research, 11 (6): 841-852. DOI: 10.1007/s11998-014-9598-3.
- [40] Ayata Ü., Şahin S., Gürleyen L., Esteves B. 2018. UV sistem vernik uygulanmış lamine parkelerde yüzeye yapışma direnci üzerine termal yaşlandırmanın etkisi. Multidisipliner Çalışmalar-3 (Sağlık ve Fen Bilimleri), Gece Kitaplığı Yayınevi, Birinci Basım, Ocak 2018, Ankara, Türkiye, 301-311. ISBN: 978-605-288-223-8.
- [41] Gürleyen L. 2020. UV sistem parke verniği uygulanmış gülibrişim (*Albizia julibrissin*) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine yapay yaşlandırmanın etkisi. Türkiye Ormancılık Dergisi, 21 (4): 451-460. DOI: 10.18182/tjf.795597.
- [42] Gurleyen L., Ayata U., Esteves B., Cakicier N. 2017a. Effects of heat treatment on the adhesion strength, pendulum hardness, surface roughness, color and glossiness of scots pine laminated parquet with two different types of UV varnish application. Maderas-Ciencia y Tecnologia, 19 (2): 213-224. DOI: 10.4067/S0718-221X2017005000019.
- [43] Ayata Ü. 2019. Effects of artificial weathering on the surface properties of ultraviolet varnish applied to lemonwood (*Citrus limon* (L.) Burm.). Bioresources, 14 (4): 8313-8323. DOI: 10.15376/biores.14.4.8313-8323.
- [44] Gurleyen L. 2021. Effects of artificial weathering on the color, gloss, adhesion, and pendulum hardness of UV system parquet varnish applied to doussie (*Azalia africana*) wood. BioResources, 16 (1): 1616-1627. DOI: 10.15376/biores.16.1.1616-1627.
- [45] Ayata Ü., Gurleyen L., Esteves B., Gurleyen T., Cakicier N. 2017a. Effect of heat treatment (ThermoWood) on some surface properties of parquet beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) with different layers of UV system applied. BioResources, 12 (2): 3876-3889. DOI: 10.15376/biores.12.2.3876-3889.
- [46] Salca E.A., Krystofiak T., Lis B., Mazela B., Proszky S. 2016. Some coating properties of black alder wood as a function of varnish type and application method. BioResources, 11 (3): 7580-7594. DOI: 10.15376/biores.11.3.7580-7594.
- [47] TS 2471, 1976. Odununda Fiziksel ve Mekaniksel Deneyleer için Rutubet Miktarı Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [48] ISO 4892-3, 2016. Plastics - Methods of Exposure to Laboratory Light Sources - Part 3: Fluorescent UV lamps. The International Organization for Standardization.

- [48] ISO 2813, 1994. Paints and Varnishes - Determination of Specular Gloss of Non-Metallic Paint Films at 20 Degrees, 60 Degrees and 85 Degrees. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- [49] ASTM D 4366-95, 1984. Standard Test Methods for Hardness of Organic Coatings by Pendulum Test, ASTM, Philadelphia, PA.
- [50] ASTM D 4541, 1995. Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [51] ASTM D 2244-3, 2007. Standard Practice for Calculation of Color Tolerances and Color Differences from Instrumentally Measured Color Coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [52] Barański J., Klement I., Vilkovská T., Konopka A. 2017. High temperature drying process of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) with different zones of sapwood and red false heartwood. *BioResources*, 12 (1): 1861-1870. DOI: 10.15376/biores.12.1.1861-1870.
- [53] Gürleyen T., Ayata Ü., Gürleyen L., Esteves B., Sivrikaya H., Can A. 2017c. Tek ve Çift Kat UV Vernik Sistemi Uygulanmış Parkelerde Renk ve Parlaklık Değerlerinin Belirlenmesi. 2. Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı Kapadokya (IMSTEC 2017), 11-13 Ekim, Nevşehir, Türkiye, 408-412.
- [54] Söğütlü C., Sönmez A. 2006. Değişik koruyucular ile işlem görmüş bazı yerli ağaçlarda UV ışınlarının renk değiştirici etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (1): 151-159.
- [55] Clerc G., Brülisauer M., Affolter S., Volkmer T., Pichelin F., Niemz P. 2017. Characterization of the ageing process of onecomponent polyurethane moisture curing wood adhesive. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 72: 130-138. DOI: 10.1016/j.ijadhadh.2016.09.008.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Özel Bir Hastanenin Yer Seçimi için Bulanık COPRAS Tekniğinin Uygulanması

Rahmi Baki\*

*Aksaray Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Yönetim Bilişimleri Sistemi Bölümü, Aksaray  
(ORCID: [0000-0003-0981-5006](https://orcid.org/0000-0003-0981-5006))*

---

### Öz

Potansiyel bir hastane için yer seçimi kararı tesisin başarısı veya başarısızlığını etkileyen stratejik bir konudur. Hastane yeri değerlendirilmesi ve seçimi, çok boyutlu doğası nedeniyle karmaşık ve zor bir süreçtir. Kuruluş yeri seçilmeden önce alternatiflerin, farklı kriterler göz önünde bulundurularak incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada özel bir hastanenin kuruluş yeri alternatiflerinin analiz edilmesi için bulanık COMplex PROportional ASsessment (COPRAS) tekniğine dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. Uygulamaya katılan karar vericiler, belirlenen 7 kriterin önem düzeylerini ve 5 farklı kuruluş yeri alternatifini değerlendirmiştir. Sonuç olarak kurulacak özel hastane için en uygun lokasyon belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada elde edilen bulgular nüfus yoğunluğu, rekabet ve erişilebilirliğin hastane yer seçimi için en önemli kriterler olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Hastane yeri seçimi, Hastane yönetimi, Çok kriterli karar verme, Bulanık mantık, COPRAS.

---

## Application of Fuzzy COPRAS Technique for the Location of a Private Hospital

### Abstract

The location selection decision for a potential hospital is a strategic issue that affects the success or failure of the facility. Assessment and selection of hospital location is a complex and difficult process due to its multidimensional nature. Before choosing the place of establishment, alternatives should be examined by considering different criteria. In this study, an approach based on the fuzzy COPRAS technique has been proposed to analyse the establishment site alternatives of a private hospital. The decision makers participating in the implementation evaluated the importance levels of 7 criteria and 5 different establishment location alternatives. As a result, the most suitable location for the private hospital to be established has been determined. In addition, the findings of the study show that population density, competition and accessibility are the most important criteria for hospital location selection.

**Keywords:** Hospital location selection, Hospital management, Multi-criteria decision making, Fuzzy logic, COPRAS.

---

### 1. Giriş

Kentsel alanlardaki nüfus artışı, yeni hastanelere olan talebi arttırmakta ve uygun hastane lokasyonunun belirlenmesi giderek daha fazla önem kazanmaktadır. En uygun hastane konumunun seçilmesi sağlık hizmetlerinin etkinliği, kalitesi ve eşitliği için stratejik öneme sahip bir konudur [1]. Potansiyel bir hastanenin yer seçiminde takip edilen süreç, genellikle böyle bir tesisin başarısı veya başarısızlığına neden olmaktadır. Bu nedenle, sahanın seçilmesinden önce alternatiflerin birden çok boyutta değerlendirilmesi gerekmektedir [2].

Yeni bir hastane için yer seçimi tek bir faktörden veya sadece tıbbi faktörlerden etkilenmemektedir. En uygun yerin belirlenmesi teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal pek çok faktörün

---

\*Sorumlu yazar: [rahmi.baki@hotmail.com](mailto:rahmi.baki@hotmail.com)

Geliş Tarihi: 09.08.2021, Kabul Tarihi: 05.10.2021

göz önünde bulundurulmasını gerektirmektedir. Karar vericiler, karar vermelerini sağlayacak güvenilir ve sağlam karar araçlarına ihtiyaç duymaktadırlar [3]. Bu nedenle hastane yer seçimi problemlerinin çok boyutlu olduğu ve çözümünü için Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemlerinin uygulanabileceği söylenebilir.

Mevcut çalışmada, yeni kurulacak özel bir hastanenin lokasyonunun seçiminde yardımcı olmak için bulanık COmplex PROportional ASsessment (COPRAS) tekniğini içeren bir model sunulması amaçlanmaktadır. En uygun alternatifin ideal çözüm oranı ile ideal en kötü çözüm oranı arasındaki karşılaştırmaya göre belirlendiği COPRAS tekniğinde çeşitli alternatifler, farklı kriterler açısından değerlendirilmekte ve amaca bağlı olarak sıralanmaktadır. Yöntemin geleneksel kullanımı gerçek dünyadaki karar problemlerinin üstesinden gelmek için yetersiz kalabileceği için bulanık küme teorisi ve COPRAS tekniğinin entegre edildiği bulanık COPRAS yaklaşımı uygulanmıştır. Yapılan araştırmada literatürde hastane yer seçimi ile ilgili yapılan araştırmalar ve tercih edilen kriterler analiz edilmiştir. Bu kriterler çalışmanın konusuna göre incelenmiş ve karar vericiler tarafından değerlendirilmek üzere 7 kriter tespit edilmiştir. Alanlarında tecrübe sahibi karar vericilerden oluşan uzman heyet, kriterlerin önem düzeylerini ve 5 farklı alternatifi değerlendirmiştir. Sonuç olarak yeni kurulacak özel hastane için en uygun lokasyon tespit edilmiştir.

Çalışmanın geri kalanı aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde literatürde yapılmış araştırmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölümde araştırmada uygulanan bulanık COPRAS tekniğinin adımları tanıtılmıştır. Dördüncü bölümde yöntemin uygulaması hastane yer seçimi problemi ile gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular, çalışmanın sınırlılıkları ve gelecek çalışmalar için tavsiyeler ise beşinci bölümde sunulmuştur.

## 1.1. Literatür Taraması

Yer seçimi işletme sahipleri, yöneticiler ve karar vericilerin farklı koşullarda karşı karşıya kaldıkları ve karar biliminde her zaman önemli bir konu olan bir problemdir [3]. Özellikle hastane yeri seçim kararları yapısı ve çok kriterli doğası nedeniyle karmaşık ve zaman alıcı bir süreçtir [4]. Bu süreçte karar vericiler maliyet ve sosyal beklentiler gibi pek çok kriteri göz önünde bulundurmalıdır. Yeni bir hastanenin konumunun belirlenmesi hastane yönetimi için büyük önem taşımaktadır. Bu süreçte verilebilecek hatalı bir karar pek çok problemi beraberinde getirecektir. Ayrıca hastane lokasyonunun doğru seçilmesi marka, pazarlama, farklılaşma ve insan kaynakları stratejilerini geliştirecek ve hastanenin rekabet gücünü arttıracaktır [5]. Karar verme biliminin bir parçası olan ÇKKV yaklaşımlarından hastane yeri problemlerinin çözümünde sıklıkla yararlanılmıştır. Literatürde en uygun hastane lokasyonunun belirlenmesi için ÇKKV tekniklerinin kullanıldığı pek çok çalışma bulunmaktadır. Çalışmanın bu bölümünde konu ile alakalı yapılmış çalışmalara yer verilmiştir.

Chatterjee ve Mukherjee [6], AHP tekniğini kullanarak hastane alanlarının çok faktörlü değerlendirmesine odaklanmış ve Hindistan'daki üç potansiyel kırsal hastane alanını değerlendirmiştir. İnce, Bedir ve Eren [7], İstanbul'un Tuzla ilçesinde kurulacak özel bir hastanenin yer seçimi için bölgedeki mahalleleri sınıflandırmış ve bu alternatifleri AHP yöntemiyle analiz etmiştir. Khaksefidi ve Miri [8], AHP, TOPSIS, SAW ve ELECTRE yöntemlerini kullanarak İran'ın Fars Eyaletinin güney bölgesinde yeni bir hastanenin kurulması için uygun yerin belirlenmesi amaçlamıştır. Çalışmanın sonucunda kaza oranı ve nüfus oranı en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. Şen ve Demiral [5], çalışmasında Grey Relational Analysis (GRA) ve AHP yöntemlerini kullanılarak yeni bir kamu hastanesi yer seçimi problemini incelemiştir. Organ ve Tekin [9], Entropi ve GRA tekniklerini kullanarak Türkiye'de Denizli şehrinde bir şehir hastanesinin kuruluş yerinin tespit edilmesi için aday lokasyonları değerlendirmiştir. Şen [2], ARAS-G yöntemini kullanarak yeni bir kamu hastanesi için hastane yeri seçimini ele almıştır.

Çelikkilek [10], bulanık VIKOR yöntemini kullanarak bir sağlık kurumu için en iyi hastane lokasyonunu seçmeyi amaçlamıştır. Adalı ve Tuş [11], hastane yeri seçimi probleminin çözümü için bir yaklaşım önermiştir. Bu yaklaşımda kriterlerin ağırlıkları CRITIC yönteminden elde edilirken, hastane yeri alternatiflerinin tam sıralaması TOPSIS, EDAS ve CODAS yöntemleri kullanılarak elde edilmiştir. Kahraman vd. [4] hastane yer seçimi probleminin uygulanması için önerdikleri küresel bulanık TOPSIS tekniğini test etmiştir. Miç ve Antmen [12], sağlık tesisi lokasyonunun değerlendirilmesi için bulanık TOPSIS yaklaşımını Adana ilinde bölgesel hastane yeri seçimi için bir vaka çalışmasında uygulamıştır. Şahin, Ocak ve Top [1], Türkiye'nin Muğla şehrinde bir hastane lokasyonu seçimi için AHP yöntemine

dayalı bir karar destek modeli önermiştir. Zolfani vd. [3], COVID-19 hastaları için geçici bir hastanenin yer seçimi için CRITIC ve Combined Compromise Solution (CoCoSo) yöntemleri aracılığıyla gri tabanlı bir karar destek çerçevesi sunmuştur. Aydın ve Seker [13], tarafından yapılan çalışmada COVID-19 ile alakalı hafif ve orta şiddette semptomları olan hastalara hizmet veren bir izolasyon hastanesi için en uygun yeri seçmek amacıyla Delphi, Best-Worst Method (BWM) ve bulanık TOPSIS yöntemlerinin entegre edildiği bir yaklaşım geliştirilmiştir. Geliştirilen yaklaşım 5 alternatif lokasyonun değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Yapılan literatür taramasında etkin hastane yeri seçimini amaçlayan ve farklı ÇKKV tekniklerinin kullanıldığı çalışmalara rastlanmıştır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalar, kullanılan yöntemler ve kriterler Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Literatür Özeti

Referans	Yöntem	Kriter
Chatterjee ve Mukherjee [6]	AHP	Maliyet, Topografya, Mülkiyeti, Bakım maliyeti, Nüfus, Eğitim, Ekonomi, Toplu taşıma, Gelecekteki inşaatlar için alan, Altyapı, Pazara yakınlık
İnce, Bedir ve Eren [7]	AHP	Bina özellikleri, Çevresel faktörler, Rekabet, Demografi, Bina konumu, Maliyet
Khaksefidi ve Miri [8]	AHP, TOPSIS, SAW, ELECTRE	Kazalar, Nüfus, Yol kalitesi, İl merkezine uzaklık, Diğer iki şehre uzaklık, İklim
Şen ve Demiral [5]	GRA, AHP	Saha koşulları, Erişilebilirlik, Hasta / acil erişim değerlendirmesi, Maliyet, Gelecekteki düşünceler, Rahatsızlık
Şen [2]	ARAS-G	Saha koşulları, Erişilebilirlik, Hasta / acil erişim değerlendirmesi, Maliyet, Gelecekteki düşünceler, Rahatsızlık
Çelikbilek [10]	Bulanık VIKOR	Bina Maliyeti, Nüfus yoğunluğu, Muhtemel Nüfus, Sosyal Merkezlere Uzaklık, Tıbbi Tedarikçilere Uzaklık, Diğer Kurumlara Uzaklık, Ambulanlara Kolay Erişim, Ulaşım Kolay Erişim, Lokasyondaki Hastane Talebi, Park Yeri
Adalı ve Tuş [11]	CRITIC, TOPSIS, EDAS, CODAS	Maliyet, Arazi stratejisi, Piyasa koşulları, Ulaşım, Çevresel hususlar, Demografi, Jeolojik faktörler, Hükümetten mali destek
Kahraman vd. [4]	Bulanık TOPSIS	Kurulum Maliyetleri, Hedef alana yakınlık, Çevresel faktörler, Demografik altyapı, Ulaşım fırsatları
Miç ve Antmen [12]	Bulanık TOPSIS	Demografi, Yatırım maliyetleri, Seyahat süresi / masrafları, Çevresel faktörler, Altyapı, Konum
Şahin, Ocak ve Top [1]	AHP	Rakipler, Talep faktörleri, Çevre koşulları, Ulaşılabilirlik, İlgili endüstri
Zolfani vd. [3]	CRITIC, CoCoSo	Trafik, Yollarla erişilebilirlik, Havaalanları üzerinden erişilebilirlik, İlçedeki sağlık merkezleri, Nüfuslu yerleşim alanlarından uzaklık, Arsa fiyatı, Taşıma ücreti, Genişleme potansiyeli, Sanayi bölgelerine olan uzaklık, Yerel düzenleme
Aydın ve Seker [13]	Delphi, BWM, Bulanık TOPSIS	Arazi alanı, Mesafe ve zaman açısından erişilebilirlik, Araçların erişimi için coğrafi engeller, Lokasyonun nüfus yoğunluğu, Genişletilebilirlik, Sosyal kolaylık, Normal hastanelere uzaklık, Otopark, İnşaat maliyeti ve süresi

## 2. Materyal ve Metot

İlk olarak Zavadskas ve Kaklauskas [14] tarafından önerilen COPRAS sıralama, karar verme, önceliklendirme, seviyelendirme ve en iyi alternatifin seçimini amaçlayan bir ÇKKV yöntemidir [15]. COPRAS tekniğinde önem ve fayda dereceleri açısından kriterler sıralanarak alternatifler değerlendirilmektedir. Yöntemde en uygun alternatif, ideal çözüm oranı ile ideal en kötü çözüm oranı arasındaki karşılaştırmaya göre belirlenir [16]. Ayrıca nicel ve nitel kriterler bir arada ele alınabilmektedir. Çeşitli alternatifler, birden çok kriter açısından bağımsız olarak değerlendirilmekte ve amaca bağlı olarak önceliklendirilmektedir.

Yöntemin geleneksel kullanımında kriter ağırlıkları ve alternatiflerin derecelendirmelerinde kullanılan veriler gerçek dünyadaki karar problemlerinin üstesinden gelmek için belirsiz ve yetersiz kalabilir [18]. Bu yetersizliği çözebilmek için bulanık küme teorisi ve COPRAS tekniklerinin entegre edildiği bulanık COPRAS yöntemi kullanılmaktadır. Bu nedenle mevcut çalışmada hastane yeri seçimi için kriter ve alternatiflerin değerlendirilmesinde bulanık COPRAS tekniği tercih edilmiştir.

Yapılan çalışmada Yazdani, Alidoosti ve Zavadskas [17] tarafından önerilen bulanık COPRAS yaklaşımı benimsenmiştir. Yazdani, Alidoosti ve Zavadskas [17] geliştirdikleri modeli kritik altyapı



sistemlerinin risk seviyelerini derecelendirmek için test etmiştir. Önerilen yaklaşımın belirsizliklerle başa çıkma yeteneğiyle, ideal çözüm oranı ve ideal en kötü çözüm oranını birlikte değerlendirilmesiyle ve verimliliğiyle ön plana çıktığı vurgulanmıştır. Geliştirilen teknik, Hafezi [15] tarafından kentsel ulaşım stratejilerinin sürdürülebilir kalkınma endeksine göre değerlendirilmesinde, Khorasani [18] tarafından ise yeşil tedarikçilerin değerlendirmesi ve seçilmesi amacıyla kullanılmıştır. Uygulamada takip edilen adımlar aşağıda verilmiştir.

Adım 1. Kriterler ve alternatifler dilsel terimler aracılığıyla değerlendirilir ve dilsel terimler bulanık sayılara dönüştürülür. Kriterlerin önem ağırlıkları için kullanılan dilsel terimler Tablo 2'de, alternatif değerlendirmelerine ilişkin dilsel terimler Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 2.** Kriter değerlendirmesi için kullanılan dilsel terimler

Dilsel Terimler	Bulanık Değerler
Çok Önemli	(0.75,1,1)
Önemli	(0.5,0.75,1)
Orta Derecede Önemli	(0.25,0.5,0.75)
Önemsiz	(0,0.25,0,5)
Çok Önemsiz	(0,0,0.25)

**Tablo 3.** Alternatif değerlendirmesi için kullanılan dilsel terimler

Dilsel Terimler	Bulanık Değerler
Çok Başarılı	(7.5,10,10)
Başarılı	(5,7.5,10)
Orta Derecede Başarılı	(2.5,5,7.5)
Başarısız	(0,2.5,5)
Çok Başarısız	(0,0,2.5)

Adım 2. Üçgensel bulanık sayılar ( $\tilde{R}_i = (L\tilde{R}_i, M\tilde{R}_i, U\tilde{R}_i)$ ) Eşitlik (1) kullanılarak net değerlere ( $\tilde{P}_i$ ) dönüştürülür ve karar matrisi elde edilir. Ardından geometrik ortalamaları alınarak birleştirilmiş bulanık karar matrisi hesaplanır.

$$\tilde{P}_i = \frac{(U\tilde{R}_i - L\tilde{R}_i) + (M\tilde{R}_i - L\tilde{R}_i)}{3} + L\tilde{R}_i \quad (1)$$

Adım 3. Karar matrisi Eşitlik (2) aracılığıyla normalize edilir. Böylece kriter ağırlıkları ve alternatifler için normalize karar matrisi elde edilir. Bu aşamada n ifadesi kriterleri, m ifadesi alternatifleri belirtmektedir.

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad (2)$$

Adım 4. Normalize karar matrisi, kriter ağırlıkları ile, Eşitlik (3) kullanılarak çarpılır ve ağırlıklı normalize karar matrisi elde edilir. Burada  $\bar{W}_j$  değeri j. kriterin ağırlığın ifade etmektedir.

$$\hat{X}_{ij} = \bar{X}_{ij} \bar{W}_j, \quad i=1,2,3,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n \quad (3)$$

Adım 5. Her bir alternatif için fayda tipi kriterlerin toplamı ( $P_i$ ) ve maliyet tipi kriterlerin toplamı ( $R_i$ ) Eşitlik (4) ve Eşitlik (5) kullanılarak elde edilir. Fayda tipi kriterler daha yüksek olması arzu edilen kriterler iken, maliyet tipi kriterler daha düşük olması arzu edilen kriterlerdir.

$$P_i = \sum_{j=1}^K \hat{X}_{ij} \quad (4)$$

$$R_i = \sum_{j=k+1}^n \hat{X}_{ij} \quad (5)$$

Adım 6. Eşitlik (6) kullanılarak  $R_i$  ifadelerinin minimum değeri tespit edilir. Daha sonra bütün alternatiflerin göreceli ağırlıkları ( $Q_i$ ) Eşitlik (7) aracılığıyla elde edilir.

$$R_{min} = \min_i R_i, i=1,2,\dots,m \quad (6)$$

$$Q_i = P_i + \frac{R_{min} \sum_{i=1}^m R_i}{R_i \sum_{i=1}^m \frac{R_{min}}{R_i}} \quad (7)$$

Adım 7. Optimallik kriteri ( $Q_{max}$ ), Eşitlik (8) aracılığıyla elde edilir. Ardından alternatiflerin performans indeksleri ( $N_i$ ), Eşitlik (9) kullanılarak hesaplanır. Bir alternatifin  $N_i$  değeri ne kadar yüksekse o alternatife atanan öncelik o kadar yüksektir.

$$Q_{max} = \max_i Q_i, i=1,2,\dots,m \quad (8)$$

$$N_i = \left(\frac{Q_i}{Q_{max}}\right)100, 1=1,2,\dots,m \quad (9)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bir hastanenin yer seçim süreci ekonomik, sosyal ve çevresel pek çok faktörle ilişkilidir [3]. Yapılan çalışmada yeni kurulacak bir özel hastane için en uygun yerleşkenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda bulanık COPRAS yöntemine dayalı bir yaklaşım önerilmiştir. Önerilen yaklaşımın özel bir hastane yeri seçimi probleminin çözümünde uygulanabilirliğini göstermek için gerçek bir vaka çalışmasında test edilmiştir.

Öncelikle literatürde konuyla ilgili yapılmış çalışmalar ve bu çalışmalarda kullanılan kriterler kapsamlı bir biçimde incelenmiştir. Hastane yer seçimi ile ilgili yapılan araştırmalarda, çalışmanın içeriği temel alınarak pek çok farklı kriter göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan çalışmada incelenen kriterler mevcut araştırmanın konusuna göre değerlendirilmiş ve sonuç olarak 7 kriter tespit edilmiştir. Uygulamada kullanılan kriterler; maliyet (M), nüfus yoğunluğu (NY), rekabet (R), erişilebilirlik (E), altyapı yeterliliği (AY), genişleme potansiyeli (GP) ve gürültü kaynaklarına yakınlık (GY) biçiminde sıralanmaktadır.

Kriter ağırlıklarının ve en uygun hastane lokasyonunun belirlenebilmesi için 5 karar verici değerlendirme sürecine dâhil edilmiştir. Alanında uzman olan karar vericiler, bir üniversitenin sağlık yönetimi bölümünde eğitim veren bir akademisyen ( $KV_1$ ), bir üniversitenin işletme bölümünde eğitim veren bir akademisyen ( $KV_2$ ), özel bir hastanede çalışan işletme direktörü ( $KV_3$ ), özel bir hastanede çalışan genel koordinatör ( $KV_4$ ) ve bir şehir bölge planlama uzmanından ( $KV_5$ ) oluşmaktadır. Karar vericiler hastanenin kurulması için belirlenen 5 alternatifi ( $A_1, A_2, A_3, A_4$  ve  $A_5$ ) belirlenen kriterlere göre değerlendirmiş ve sonuç olarak en uygun kuruluş yeri tespit edilmiştir. Uygulamada takip edilen adımlar aşağıda verilmiştir.

Adım 1. Karar vericiler, kriter ve alternatifleri Tablo 2 ve Tablo 3'de verilen dilsel terimler aracılığıyla değerlendirmiştir. Ardından dilsel terimler bulanık sayılara dönüştürülmüştür.

Adım 2. Eşitlik (1) aracılığıyla üçgensel bulanık sayıların net değerlere dönüştürülmesiyle karar matrisleri hesaplanır. Daha sonra geometrik ortalamaları alınarak kriter (Tablo 4) ve alternatifler (Tablo 5) için birleştirilmiş karar matrisleri elde edilir.

**Tablo 4.** Kriterler için Birleştirilmiş Karar Matrisi

M	NY	R	E	AY	GP	GY
0,391	0,872	0,829	0,713	0,678	0,204	0,354

**Tablo 5.** Alternatifler için Birleştirilmiş Karar Matrisi

Alternatifler	M	NY	R	E	AY	GP	GY
$A_1$	6,121	6,377	2,872	1,611	6,121	5,880	6,121
$A_2$	5,422	1,038	2,442	2,872	3,789	1,611	4,109
$A_3$	4,109	3,789	3,494	3,789	2,442	4,353	3,789
$A_4$	5,119	5,880	6,121	6,916	6,121	6,377	4,353
$A_5$	6,377	6,638	6,910	6,121	5,644	4,353	3,789

Adım 3. Kriter ve alternatiflerin birleştirilmiş karar matrisleri Eşitlik (2) kullanılarak normalize edilir. Bu işlemin sonucunda kriter ağırlıklarına (Tablo 6) ve alternatifler için normalize karar matrisine (Tablo 7) ulaşılmır.

**Tablo 6.** Kriter Ağırlıkları

Kriterler	M	NY	R	E	AY	GP	GY
Kriter Ağırlıkları	0,097	0,216	0,205	0,176	0,168	0,051	0,088

**Tablo 7.** Normalize Karar Matrisi

Alternatifler	M	NY	R	E	AY	GP	GY
$A_1$	0,225	0,269	0,131	0,076	0,254	0,260	0,276
$A_2$	0,200	0,044	0,112	0,135	0,157	0,071	0,185
$A_3$	0,151	0,160	0,160	0,178	0,101	0,193	0,171
$A_4$	0,189	0,248	0,280	0,325	0,254	0,282	0,196
$A_5$	0,235	0,280	0,316	0,287	0,234	0,193	0,171

Adım 4. Normalize karar matrisinin, Eşitlik (3) kullanılarak, kriter ağırlıkları ile çarpılması sonucunda ağırlıklı normalize karar matrisine ulaşılmır (Tablo 8).

**Tablo 8.** Ağırlıklı Normalize Karar Matrisi

Alternatifler	M	NY	R	E	AY	GP	GY
$A_1$	0,022	0,058	0,027	0,013	0,043	0,013	0,024
$A_2$	0,019	0,009	0,023	0,024	0,026	0,004	0,016
$A_3$	0,015	0,034	0,033	0,031	0,017	0,010	0,015
$A_4$	0,018	0,053	0,058	0,057	0,043	0,014	0,017
$A_5$	0,023	0,06	0,065	0,051	0,039	0,01	0,015

Adım 5. Eşitlik (4) ve Eşitlik (5)'ten faydalanarak her bir alternatif için fayda tipi kriterlerin ( $P_i$ ) ve maliyet tipi kriterlerin ( $R_i$ ) toplamı hesaplanır. Mevcut çalışmada fayda tipi kriterler NY, R, E, AY ve OP kriterleridir. Maliyet tipi kriterler ise; M, R ve GY olarak sıralanır. Alternatiflerin  $P_i$  ve  $R_i$  değerleri Tablo 9'da sunulmuştur.

**Tablo 9.** Alternatiflerin  $P_i$  ve  $R_i$  değerleri

Alternatifler	$P_i$	$R_i$
$A_1$	0,127	0,073
$A_2$	0,063	0,059
$A_3$	0,093	0,062
$A_4$	0,168	0,093
$A_5$	0,160	0,103

Adım 6. Her karar alternatifi için göreceli önem değeri ( $Q_i$ ) Eşitlik (7) aracılığıyla elde edilir (Tablo 10).

**Tablo 10.** Alternatiflerin  $Q_i$  değerleri

Alternatifler	$Q_i$
$A_1$	0,206
$A_2$	0,162
$A_3$	0,185
$A_4$	0,230
$A_5$	0,216

Adım 7. Her bir hastane bölge alternatifi için performans indeks değeri ( $N_i$ ), Eşitlik (9) aracılığıyla elde edilir (Tablo 11). Bir özel hastanenin kuruluş yerinin belirlenmesine yönelik bulanık COPRAS tekniği kullanılarak gerçekleştirilen uygulamanın sonuçlarına göre hastane kuruluş yeri için en uygun alan  $A_4$ 'dür. Aday bölgeler etkinlik sıralarına göre  $A_4$ ,  $A_5$ ,  $A_1$ ,  $A_3$  ve  $A_2$  biçiminde sıralanmaktadır.

**Tablo 11.** Alternatiflerin  $N_i$  değerleri

Alternatifler	$Q_i$
$A_1$	89,794
$A_2$	70,528
$A_3$	80,596
$A_4$	100,000
$A_5$	94,170

### 3.1. Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizinde bir model uygulamasının girdi ve çıktıları arasındaki ilişkiler araştırılır [19]. Bir modelin çıktı varyasyonunun niteliksel veya niceliksel olarak farklı kaynaklara nasıl paylaştırılabileceğinin ve modelin kendisine verilen bilgilere nasıl bağlı olduğunun incelenmesidir [20]. ÇKKV problemlerini duyarlılık analizi prosedürleriyle geliştirmek, model davranışları ve sınırlılıklarının anlaşılması açısından çok önemlidir. Duyarlılık analizi aracılığıyla ağırlık değişikliklerine duyarlı olan kriterler tanımlanır ve değişen kriter ağırlıklarının model sonuçları üzerindeki etkileri analiz edilir. Girdi verilerindeki küçük değişikliklere karşı nihai sonucun sağlamlığını kontrol etmek için kullanılabilir [21]. Duyarlılık analizi prosedürleri belirli girdi parametrelerinde yapılan küçük değişikliklerin değerlendirme sonuçları üzerindeki etkisini göstererek, ÇKKV problemlerindeki belirsizliğin azaltılmasına katkıda bulunur [19]. Çalışmanın bu bölümünde uygulama modelinin hassasiyetinin incelenmesine yönelik bir duyarlılık analizi yaklaşımı sunulmuştur.

Yapılan duyarlılık analizinde ilk olarak bütün kriter ağırlıkları için aday yerleşke sıralamasının değişmediği aralıklar saptanmıştır. Mevcut sıralamayı kriter ağırlığındaki en ufak değişikliklerle değiştiren kriter, kritik kriter olarak tanımlanmıştır [22]. Değişiklikler mutlak ve oransal değişiklik olarak iki farklı biçimde değerlendirilmiştir. Mutlak değişim mevcut ağırlığın alt ve üst limit ile farkı ile elde edilirken, oransal değişim mutlak değişimin kriter ağırlığına bölünmesi ile hesaplanmıştır. Bütün kriterler için mevcut sıralamanın değişmediği ağırlıklar, kriter ağırlıklarının mutlak ve oransal farklılıkları Tablo 12'de verilmiştir.

Mutlak değişiklik açısından incelendiğinde alt limite göre en kritik kriter E, üst limite göre en kritik kriterler R ve GY'dir. E kriterinin ağırlığındaki 0,093 birimlik azalış alternatiflerin sıralamasını değiştirmektedir. Öte yandan R kriter ağırlığındaki 0,069 birimlik veya GY kriter ağırlığındaki 0,199 birimlik artışlar aday sıralamasını değiştirir. Oransal değişiklik açısından değerlendirildiği zaman alt limit perspektifinde en kritik kriter E, üst limit perspektifinde en kritik kriterler R ve E'dir. E kriterinin ağırlığındaki %52.8'lik bir azalış alternatif sıralamasını değiştirir. Ayrıca R kriterinin ağırlığındaki %33.7'lik bir artış veya E kriter ağırlığındaki %117.6'lık bir artış da sıralamayı değiştirecektir. Bununla birlikte M, R, AY, GP ve GY kriter ağırlıklarındaki herhangi bir azalış veya GP kriterinin ağırlığındaki bir artış mevcut sıralamayı değiştirmemektedir.

**Tablo 12.** Duyarlılık analizi sonuçları

Kriterler	Mevcut Ağırlık	Alt Limit	Üst Limit	Mutlak Fark		Oransal Fark	
				Alt Limitten	Üst Limitten	Alt Limitten	Üst Limitten
M	0,097	0*	0,334	-	0,237	-	2,443
NY	0,216	0,021	0,635	0,195	0,419	0,903	1,94
R	0,205	0*	0,274	-	0,069	-	0,337
E	0,176	0,083	0,383	0,093	0,207	0,528	1,176
AY	0,168	0*	0,581	-	0,413	-	2,458
GP	0,051	0*	1*	-	-	-	-
GY	0,088	0*	0,287	-	0,199	-	2,261

• Ağırlığın 0'a ve 1'e eşit alınması sıralamayı değiştirmez

### 4. Sonuç ve Öneriler

ÇKKV problemleri doğaları karmaşık ve zor bir süreçten oluşmaktadır [23]. Kurulacak potansiyel bir hastane yerinin seçimi de değerlendirilecek pek çok kriteri bünyesinde barındıran bir ÇKKV problemidir. Bu çalışmada özel bir hastanenin kuruluş yeri seçim sürecinde kullanılmak üzere bulanık

COPRAS yaklaşımı sunulmuştur. Yapılan literatür taramasında yakın geçmişte hastane alanlarının çok kriterli değerlendirilmesiyle ilgili bazı çalışmalar yapıldığı görülse de, bu çalışmalarda genellikle AHP tekniğinin kullanıldığı ve COPRAS tekniğinin hiç tercih edilmediği tespit edilmiştir.

Hastane seçim sürecinde tek bir bakış açısı yeterli olmamakta ve konunun farklı açılardan değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle değerlendirilme sürecinde 2 akademisyen, işletme direktörü, genel koordinatör ve şehir bölge planlama uzmanından oluşan bir karar verme ekibi oluşturulmuştur. Karar vericiler belirlenen yedi kriteri değerlendirmiştir. Değerlendirme sürecinin sonucuna göre hastane yeri seçimini etkileyen en önemli kriter, bölgenin nüfus yoğunluğudur. Kriterler önem derecelerine göre nüfus yoğunluğu, rekabet, erişilebilirlik, altyapı yeterliliği, maliyet, gürültü kaynaklarına yakınlık ve genişleme potansiyeli olarak sıralanmaktadır.

Yapılan duyarlılık analizinde kriterlerin ağırlıklarındaki değişikliklerin alternatif sıralamasını nasıl değiştirdiği gözlemlenmiştir. Buna göre alt limit açısından en kritik kriterin erişilebilirlik, üst limit açısından en kritik kriterin ise rekabet olduğu görülmüştür. Erişilebilirlik kriterinin ağırlığındaki 0,093 birimlik (%52,8) bir azalma alternatiflerin başarı sırasını değiştirmektedir. Bununla birlikte kriterinin ağırlığındaki 0,069 birimlik (%33,7) artış aday sıralamasının değişmesine neden olacaktır.

Yapılan çalışmada karar vericiler bölge alternatiflerini belirlenen kriterleri temel alarak değerlendirmiştir. Buna göre alternatifler  $A_4$ ,  $A_5$ ,  $A_1$ ,  $A_3$  ve  $A_2$  biçiminde sıralanmaktadır. Önerilen yaklaşım basit hesaplama süreci, kavramların anlaşılabilirliği, belirsizliklerle başa çıkma yeteneği ve verimliliğiyle ön plana çıkmıştır. Çalışmada geliştirilen model planlamacılar ve sağlık yöneticileri tarafından kuruluş yeri projesine girmeden önce bir prototip olarak kullanılabilir.

İleride yapılacak çalışmalarda önerilen yaklaşım eğitim hastaneleri, özel dal hastaneleri ve şehir hastaneleri gibi farklı hizmet türlerindeki hastaneler için uygulanabilir. Bu tür hastanelerin değerlendirilmesi için farklı faktörlerle önerilen model genişletilmelidir. Ayrıca sonuçlar özel ve kamu hastanelerinin seçim sürecine dair karşılaştırmalı bir analiz ile değerlendirilebilir. Bununla birlikte sağlık tesisi yeri tespit edildikten sonra departmanlarının yerleşiminin ele alınması literatüre katkı sağlayabilecek bir araştırma konusudur.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Mevcut çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- [1] Şahin T., Ocak S., Top M. 2019. Analytic hierarchy process for hospital site selection. *Health Policy and Technology*, 8 (1): 42-50.
- [2] Şen, H. 2017. Hospital location selection with ARAS-G. *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, (1): 359-365.
- [3] Zolfani H. S., Yazdani M., Torkayesh A. E., Derakhti A. 2020. Application of a gray-based decision support framework for location selection of a temporary hospital during COVID-19 pandemic. *Symmetry*, 12 (6): 886.
- [4] Kahraman C., Gundogdu F. K., Onar S. C., Oztaysi B. 2019. Hospital Location Selection Using Spherical Fuzzy TOPSIS. In 11th Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology EUSFLAT 2019, 77-82.
- [5] Şen H., Demiral, M. F. 2016. Hospital location selection with grey system theory. *European Journal of Economics and Business Studies*, 2(2): 66-79.
- [6] Chatterjee D., Mukherjee B. 2013. Potential hospital location selection using AHP: A study in rural India. *International Journal of Computer Applications*, 71 (17): 1-7.
- [7] İnce Ö., Bedir N., Eren, T. 2016. Hastane kuruluş yeri seçimi probleminin analitik hiyerarşi süreci ile modellenmesi: Tuzla ilçesi uygulaması. *Gazi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 1 (3): 08-21.

- [8] Khaksefidi M., Miri M. 2016. Hospital location in the southern Fars province by using multi criteria decision making techniques. *European Online Journal of Natural and Social Sciences: Proceedings*, 4 (3): 638-645.
- [9] Organ A., Tekin B. 2017. Şehir hastanesi kuruluş yeri seçimi için gri ilişkisel analiz yaklaşımı: Denizli ili örneği. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 4 (3): 256-278.
- [10] Çelikbilek Y. 2018. Group decision making for hospital location selection using VIKOR under fuzzy environment. *Istanbul Gelisim University Journal of Health Sciences*, 5: 435-450.
- [11] Adalı E. A., Tuş A. 2019. Hospital site selection with distance-based multi-criteria decision-making methods. *International Journal of Healthcare Management*, 1-11.
- [12] Miç P., Antmen Z. F. 2019. A healthcare facility location selection problem with fuzzy TOPSIS method for a regional hospital. *European Journal of Science and Technology*, 16: 750-757.
- [13] Aydın N., Seker S. 2021. Determining the location of isolation hospitals for COVID-19 via Delphi-based MCDM method. *International Journal of Intelligent Systems*, 1: 1-24.
- [14] Zavadskas E. K., Kaklauskas A. 1996. Determination of an efficient contractor by using the new method of multicriteria assessment. In *International Symposium for The Organization and Management of Construction, Shap Theory and Pract*, 2: 94–104.
- [15] Hatefi S. M. 2018. Strategic planning of urban transportation system based on sustainable development dimensions using an integrated SWOT and fuzzy COPRAS approach. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 4 (1): 99-112.
- [16] Nguyen H. T., Dawal S. Z. M., Nukman Y., Aoyama H., Case K. 2015. An integrated approach of fuzzy linguistic preference based AHP and fuzzy COPRAS for machine tool evaluation. *PloS one*, 10 (9): 1-24.
- [17] Yazdani M., Alidoosti A., Zavadskas E. K. 2011. Risk analysis of critical infrastructures using fuzzy COPRAS. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 24 (4): 27-40.
- [18] Khorasani S. T. 2018. Green supplier evaluation by using the integrated fuzzy AHP model and fuzzy COPRAS. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 2 (1): 17-25.
- [19] Chen Y., Yu J., Khan S. 2010. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. *Environmental Modelling & Software*, 25 (12): 1582-1591.
- [20] Saltelli A., Chan K., Scott M., 2000. *Sensitivity Analysis, Probability and Statistics Series*. John Wiley & Sons, New York.
- [21] Zoras S., Triantafyllou A. G., Hurley P. J. 2007. Grid sensitivity analysis for the calibration of a prognostic meteorological model in complex terrain by a screening experiment. *Environmental Modelling & Software*, 22 (1): 33-39.
- [22] Arıkan M., Gökbek B. 2014. Çok ölçütlü karar verme yaklaşımlarına dayalı tedarikçi seçimi: Elektronik sektöründe bir uygulama. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 30 (5): 346-354.
- [23] Baki R. 2021. An integrated, multi-criteria approach based on environmental, economic, social, and competency criteria for supplier selection. *RAIRO: Recherche Opérationnelle*, 55: 1487-1500.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Alkali ile Aktive Edilmiş EPS İkameli Harçların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri ile Yüksek Sıcaklığa Karşı Dirençlerinin Araştırılması**

Halil EREN<sup>1</sup>, Serhan İLKENTAPAR<sup>1</sup>, Uğur DURAK<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye  
(ORCID: [0000-0001-6071-6009](https://orcid.org/0000-0001-6071-6009)) (ORCID: [0000-0002-9932-2899](https://orcid.org/0000-0002-9932-2899)) (ORCID: [0000-0003-2731-3886](https://orcid.org/0000-0003-2731-3886))

---

### **Öz**

Bu çalışmada alkali ile aktive edilmiş cürüflu harçlarda ırmak kumu ile EPS (Genleştirilmiş polistiren) ikame edilerek hafif harç numuneleri üretilmiştir. EPS granülleri ırmak kumu ile hacimce yüzde 20-40-60-80-100 oranlarında yer değiştirilerek karışıma dâhil edilmiştir. Çalışmada aktivatör olarak sodyum silikat kullanılmış ve üretilen numuneler 28 gün havada kür edilmiştir. Kür süresini dolduran alkali ile aktive edilmiş cürüflu harçların birim ağırlık, ultrasonik atımlı dalga hızı, ısı geçirimsizlik özellikleri ile eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca 28 gün kür süresi sonrası 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklara maruz bırakılan numunelerin yüksek sıcaklığa karşı dirençleri ve içyapı özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre EPS ikamesi ile numunelerin birim ağırlık, ultrasonik atımlı dalga hızı değerleri ile eğilme ve basınç dayanım değerleri düşerken, yalıtım performansının ise arttığı görülmüştür. Irmak kumu ile ikame edilen EPS miktarı arttıkça numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarında meydana gelen kayıplar artmıştır. Ayrıca EPS ikame oranı arttıkça özellikle 600°C ve 900°C sıcaklık sonrasında basınç dayanımlarında ciddi oranda kayıplar yaşanmıştır. Buna paralel olarak yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerin içyapıları daha boşluklu ve çatlaklı bir yapıya dönüşmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Cüruf, EPS, Hafif harç, Isı geçirimsizlik, Yüksek sıcaklık, Alkali ile aktive edilmiş malzeme

---

## **Investigation of Mechanical and Physical Properties and Resistance to High Temperature of Alkali Activated EPS Substituted Mortars**

---

### **Abstract**

In this study, lightweight alkali-activated slag mortar samples were produced by substituting EPS (expanded polystyrene) and river sand. EPS granules were included in the mixture by replacing them with river sand at 20%, 40%, 60%, 80%, 100% by volume. Sodium silicate was used as the activator in the study and the produced samples were cured in air for 28 days. After the curing period, the unit weight, ultrasonic pulse velocity, heat permeability properties, flexural and compressive strengths of the alkali-activated slag mortars were determined. In addition, resistance to high temperature and microstructure properties of the samples exposed to temperatures of 300°C, 600°C ve 900°C after 28 days of curing were investigated. According to the results, with EPS substitution, it was observed that the unit weight, ultrasonic pulse velocity, flexural and compressive strengths values of the samples decreased, while the insulation performance increased. As the number of EPS substituted with river sand increased, the losses in flexural and compressive strength of the samples increased. In addition, as the EPS replacement ratio increased, there were serious losses in compressive strength, especially after 600°C and 900°C temperatures. Parallel to these results, the internal structures of the samples exposed to the effect of high temperature turned into a more porous and cracked microstructure.

**Keywords:** Slag, EPS, Lightweight mortar, Heat permeability, High temperature, Alkali activated material.

---

### **1. Giriş**

Çimento üreticileri hem enerji tüketimini hem de CO<sub>2</sub> salınımını azaltmak için çimentoya mineral katkı ilavesi yapmaktadırlar [1]–[6]. Mineral katkı olarak kullanılan malzemelerden biri olan yüksek firın

---

\*Sorumlu yazar: [ugurdurak@erciyes.edu.tr](mailto:ugurdurak@erciyes.edu.tr)

Geliş Tarihi: 11.08.2021, Kabul Tarihi: 07.10.2021

cürufu çelik üretiminde bir yan ürün olarak elde edilen ve genellikle çimento sistemlerinde çimento ile ikame edilerek kullanılan bir malzemedir [7], [8]. Çimento endüstrisinde yüksek miktarda yüksek fırın cürufu kullanılmasına rağmen, çimentoya alternatif bir bağlayıcı olarak kullanılması için hala geniş bir alan bulunmaktadır. Yüksek fırın cürufunun çimentolu betonlarda kullanımı düşük erken dayanımı sağlaması ile uygulamada kısıtlamalar sağlamaktadır. Bu sorun beton teknolojisinde kullanılan alkali ile aktive edilmiş cürufu harçlar ile aşılabilmektedir. Yüksek fırın cürufu ve çeşitli alkali aktivatörler ile üretilen çimentosuz betonlar düşük enerji, düşük CO<sub>2</sub> salınımı ve daha yüksek durabilite özellikleri ile önem kazanmaktadır [7], [9]. Alkali ile aktive edilmiş cürufu harçların özellikleri portland çimentolu harçlar ile kıyaslandığında kimyasal saldırı, donma-çözülme döngüleri ve yüksek sıcaklıklarda daha yüksek mukavemet ve iyi performans gösterdikleri gözlenebilmektedir. Bu nedenle yüksek fırın cürufu kullanılarak birçok çalışma yapılmış ve halen yapılmaktadır [7], [10]–[18].

Yüksek fırın cürufu kullanılarak hafif harç/beton üretimi de bu anlamda çalışılabilir konulardan biri olmaktadır. Türk standartlarına bakıldığında betonlar birim ağırlıklarına göre hafif, orta ve ağır beton olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır [19]. Hafif betonlar kendi içinde birim ağırlık veya dayanımlarına göre sınıflandırılabilir [20]. Hafif betonlar birim ağırlıklarına göre sınıflandırıldığında üç farklı sınıf ortaya çıkmaktadır. Bunlar; 1- Birim ağırlığı 300 kg/m<sup>3</sup> ile 800 kg/m<sup>3</sup> arasında olan yatılı betonları, 2- Birim ağırlığı 800 kg/m<sup>3</sup> ile 1400 kg/m<sup>3</sup> arasında olan orta mukavemetli hafif betonlar ve 3- Birim ağırlıkları 1400 kg/m<sup>3</sup>'den büyük olanlar taşıyıcı hafif betonlardır [21], [22].

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde araştırmacıların hafif harç veya beton üretiminde çeşitli hafif agregaları kullandıkları gözlenmiştir. Kullanılan farklı kaynaklı hafif agregalar olarak pomza taşı, volkanik tüf, [23]–[25] yapay hafif agrega olarak üretilen perlit, genişletilmiş şeyl, vermikülit gibi malzemeler hafif beton üretiminde kullanılmaktadır [26], [27].

Önceki çalışmalarda genişletilmiş polistiren sert köpük (EPS-Expanded Polystyren Foam) kullanılarak hafif harçlar üretilmiştir. Hem çimentolu sistemlerde farklı çimento dozajında üretilen EPS ikameli hafif harçların, hem de uçucu küllü geopolimer harçların fiziksel, mekanik ve ısı iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca EPS ikameli hafif harçların yüksek sıcaklığa dayanıklılığı araştırılmıştır. Genel olarak elde edilen sonuçlara göre EPS ilavesi ile üretilen numunelerin birim ağırlıklar ve dayanımlarının azaldığı fakat buna karşın ısı yalıtım performanslarının arttığı gözlenmiştir [28]–[33].

Bu çalışmada alkali ile aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçlara agrega yerine EPS ikame edilerek hafif harç üretiminin mümkün olup olmadığı ve kullanılabilirliği araştırılmıştır. Alkali ile aktive edilmiş yüksek fırın cürufu harçlara, agrega ile hacimce yüzde 20-40-60-80-100 oranlarında olacak şekilde EPS ikamesi yapılmıştır. Üretilen EPS'li hafif harçların birim ağırlık, ultrasonik atımlı dalga hızı, eğilme ve basınç dayanımları ile ısı geçirimsizlik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca üretilen harç numuneler 28 gün kür edildikten sonra 300°C, 600°C, 900°C sıcaklıklarda yüksek sıcaklığa maruz bırakılarak yüksek sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanımları ve içyapıları incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yüksek Fırın Cürufu (YFC)

Çalışmada İskenderun bölgesinde bulunan demir, çelik fabrikasından temin edilen yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Kullanılan yüksek fırın cürufunun görünümü Şekil 1'de sunulmuştur. Ayrıca yüksek fırın cürufunun kimyasal kompozisyonunu belirleyebilmek adına Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde XRF analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** YFC kimyasal kompozisyonu

Oksit	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Diğer	KK
YFC	40,85	34,57	10,37	6,95	1,81	0,96	1,56	2,91



## 2.2. Agregası ve Su

Alkali ile aktive edilmiş harç numunelerin üretiminde tane çapı 0-4 mm olan ırmak kumu agrega olarak kullanılmıştır. Irmak kumu üzerinde TS 3530 EN 933-1'e [34] standardına göre piknometre deneyi yapılmış ve etüv kurusu tane yoğunluğu 2,58 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Karışım suyu olarak içilebilir şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

## 2.3. Genleştirilmiş Polistiren (EPS)

Çalışmada agrega ile ikame edilerek kullanılan EPS granüllerinin yoğunluğu 14 kg/m<sup>3</sup> tür. Beyaz renkli ve yuvarlak taneli olan EPS granüllerinin görünümü Şekil 1'de sunulmuştur.

## 2.4. Sodyum Silikat ve Kimyasal Katkı

Çalışmada Tekkim Kimya firmasından temin edilen ve Şekil 1'de görünümü verilen sodyum silikat aktivatör olarak kullanılmıştır. Ayrıca EPS granüllerinin alkali ile aktive edilmiş harç sistemi içerisinde homojen bir dağılımda yer almasına sağlamak ve yüzeye çıkmasını engellemek için E200P kodlu kimyasal katkı malzemesi kullanılmıştır.



Şekil 1. Yüksek fırın cürufu (a), sodyum silikat (b), EPS (c)

## 2.5. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışma kapsamında alkali ile aktive edilmiş 6 farklı karışım serisi üretilmiştir. Karışımlarda bağlayıcı olarak yüksek fırın cürufu ve alkali aktivatör olarak toz formunda sodyum silikat (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) kullanılmıştır. Alkali ile aktive edilmiş harçlara (AAH) yüzde 20-40-60-80-100 oranlarında EPS, ırmak kumu ile hacimce yer değiştirilerek ilave edilmiştir. Çalışmada alkali ile aktive edilmiş harçlar için kontrol numunesini belirleyebilmek için CEM I 42,5R Portland çimentosunun yaklaşık 28 günlük dayanımını sağlayacak şekilde 0,5 su/bağlayıcı ve 3/1 kum/bağlayıcı oranına sahip farklı aktivatör miktarları ile harç numuneler üretilmiştir. Önceki çalışmalar incelendiğinde yüksek fırın cürufu kullanılan sistemlerde sodyum silikat bazlı aktivatörlerin (sodyum silikat ve sodyum hidroksit karışımı veya sadece sodyum silikat) sadece sodyum hidroksit ve sodyum karbonat aktivatörlerine kıyasla daha iyi performansına sağladığı gözlenmiştir [10], [17], [18]. Bu nedenle bu çalışmada yüksek fırın cürufu sodyum silikat kullanılarak aktive edilmiştir.

Üretilen numuneler 23±2°C sıcaklıkta laboratuvar koşullarında havada 28 gün kür edildikten sonra dayanımları belirlenmiş ve 50 g sodyum silikat içeren numunenin 6,4 MPa eğilme ve 44,67 MPa basınç dayanımı ile kontrol numunesi olmasına karar verilmiştir. Kontrol karışımının işlenebilirliği TS EN 1015-3 [35] standardına göre ölçülmüş ve 161 mm olarak kaydedilmiştir. Belirlenen kontrol karışımına EPS granüllerinin kum ile yer değiştirilerek ikamesi yapılırken homojen bir dağılım sağlamak adına %1 oranında kimyasal katkı kullanılmıştır. EPS ilavesi ile alkali ile aktive edilmiş harç karışımların işlenebilirlik değerlerinde artış meydana gelmektedir. Bu nedenle harç numunelerin üretiminde işlenebilirlik değerlerinin 155-165 mm arasında kalmasını sağlayacak şekilde su azaltması yapılmıştır. Kontrol ve EPS ikameli harçların karışım oranları Çizelge 2'de verilmiştir.

Üretilen harç numuneler 40x40x160 mm<sup>3</sup>lük sarsma tablası kullanılarak kalıplara iki kademede yerleştirilmiştir. Üretim sonrasında 24 saat oda koşullarında bekletilen numuneler daha sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün 23±2°C sıcaklıkta havada küre tabi tutulmuştur.

Kür süresini tamamlayan alkali ile aktive edilmiş harçların birim ağırlıkları ve ultrasonik atımlı dalga hızları 3'er adet numune üzerinde sırasıyla ASTM C 642'ye [36] ve TS EN 12504-4 [37] standardına göre ölçülmüş ve ortalama değerleri alınarak deney sonucu olarak kaydedilmiştir. Ayrıca numunelerin ısı geçirimsizlik özelliklerinin belirleyebilmek adına ısı iletkenlik katsayıları ölçülmüştür. Numunelerin eğilme ve basınç dayanımları TS EN 1015-11 [38] standardına göre belirlenmiştir. Eğilme dayanımının belirlenmesinde her bir karışım için 3 adet numuneye üç noktalı eğilme deneyi uygulanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması eğilme deneyi olarak belirlenmiştir. Basınç dayanımının belirlenmesinde ise eğilme dayanımı sonrası elde edilen her bir karışım için 40x40 mm<sup>2</sup> boyutlarında 6 adet numune kullanılmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması basınç dayanımı deney sonucu olarak belirlenmiştir.

Alkali ile aktive edilmiş EPS ikameli harçların yüksek sıcaklık dirençlerini belirlemek için üretilen harç numuneler 28 gün kür edildikten sonra 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulmuşlardır. Deneyde öngörülen sıcaklıklara 5°C/dakika sıcaklık artışı uygulanarak erişilmiş ve numuneler belirtilen sıcaklıklarda 60 dakika bekletilmiştir. Deney sonrası numuneler oda sıcaklığına gelmesi için 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Daha sonra numunelerin eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca 300°C, 600°C ve 900°C'de yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan alkali ile aktive edilmiş hamur numunelerin alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM-Field Emission Scanning Electron Microscope) ve enerji dağılımlı X-ray analizi (EDX-Energy Dispersive X-ray Analysis) ile içyapıları incelenmiştir.

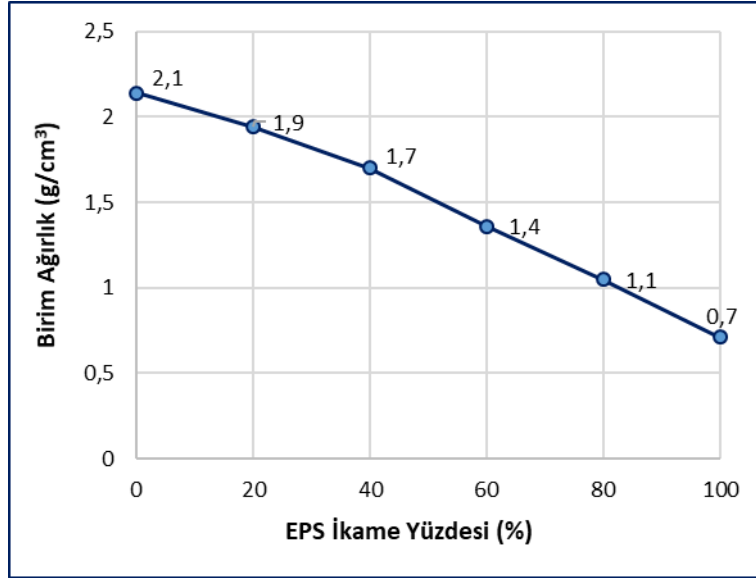
**Tablo 2.** Karışım oranları

Karışım Kodu	YFC (g)	Agrega hacmi		Aktivatör	Su / Bağlayıcı
		İrmak Kumu (%)	EPS (%)	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (g)	
Kontrol	450	100	0	50	0,5
AAH-20E	450	80	20	50	0,4
AAH-40E	450	60	40	50	0,4
AAH-60E	450	40	60	50	0,35
AAH-80E	450	20	80	50	0,35
AAH-100E	450	0	100	50	0,35

### 3. Bulgular ve Tartışma

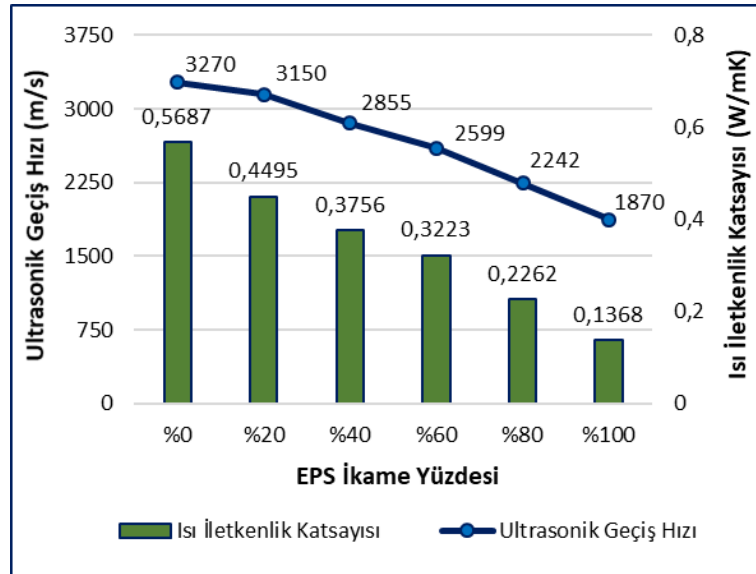
Kontrol ve EPS ikameli alkali ile aktive edilmiş harç numunelere ait birim ağırlık değerleri Şekil 2'de sunulmuştur. 28 gün havada kür edilmiş harçların birim ağırlık değerleri 0,71 ile 2,14 g/cm<sup>3</sup> arasında ölçülmüştür. Belirlenen birim ağırlık değerlerine göre %20 ve %40 oranlarında EPS ikame edilen numunelerin taşıyıcı hafif beton sınıfına girdiği, %60 ve %80 EPS içeren numunelerin orta mukavemetli hafif beton sınıfına girdiği ve %100 EPS ikame edilen numunelerin yalıtım betonu sınıfına girdiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre EPS ikamesi arttıkça birim ağırlık değerleri düşmüştür. Bu durum ırmak kumuna göre daha düşük birim ağırlığa sahip olan EPS granüllerinin ırmak kumu ile yer değiştirilerek kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

28 gün havada kür edilmiş kontrol ve EPS ikameli alkali ile aktive edilmiş harçların ultrasonik atımlı dalga hızları ve ısı iletkenlik katsayıları Şekil 3'te verilmiştir. EPS ikame oranı arttıkça ultrasonik atımlı dalga hızı ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri düşmüştür. Numunelerin ultrasonik atımlı dalga hızları 1870 ile 3270 m/s arasında ölçülmüştür. Taşıyıcı hafif beton sınıfına giren AAH-20E, AAH-40E kodlu harçların ultrasonik atımlı dalga hızları 3270 m/s ve 3150 m/s olarak belirlenmiştir. Orta mukavemetli hafif beton sınıfına giren AAH-60E, AAH-80E kodlu harçların ultrasonik atımlı dalga hızları 2599 m/s ve 2242 m/s olarak tespit edilmiştir. Yalıtım betonu sınıfına giren AAH-100E kodlu harcın ultrasonik atımlı dalga hızı ise 1870 m/s olarak ölçülmüştür. Harç numunelerde EPS oranının artması ile elde edilen ultrasonik atımlı dalga hızlarının düşmesi daha düşük mekanik özelliklere sahip ürünlerin ortaya çıktığını göstermektedir.



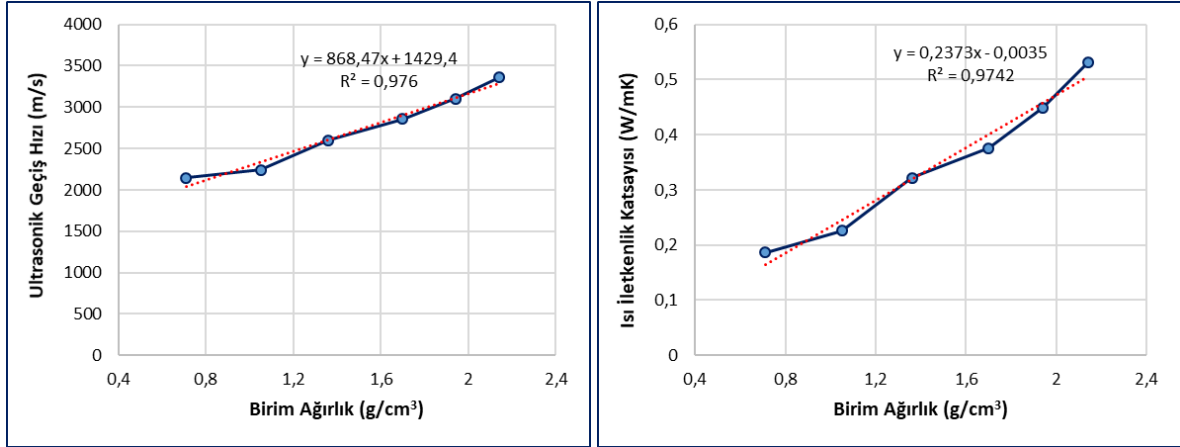
Şekil 2. Birim ağırlık değerleri

Diğer taraftan numunelerin ısı iletkenlik katsayıları 0,1368-0,5687 W/mK arasında ölçülmüştür. AAH-20E, AAH-40E kodlu harçların ısı iletkenlik katsayı değerleri 0,4495 W/mK ve 0,3756 W/mK, AAH-60E, AAH-80E kodlu harçların ısı iletkenlik katsayı değerleri 0,3223 W/mK ve 0,2262 W/mK ve AAH-100E kodlu harcın ısı iletkenlik katsayısı 0,1368 W/mK olarak belirlenmiştir. EPS ikame oranının artması ile ısı iletkenlik katsayısının düşmesi, yalıtım performansı daha yüksek ürünlerin elde edildiğini göstermektedir.



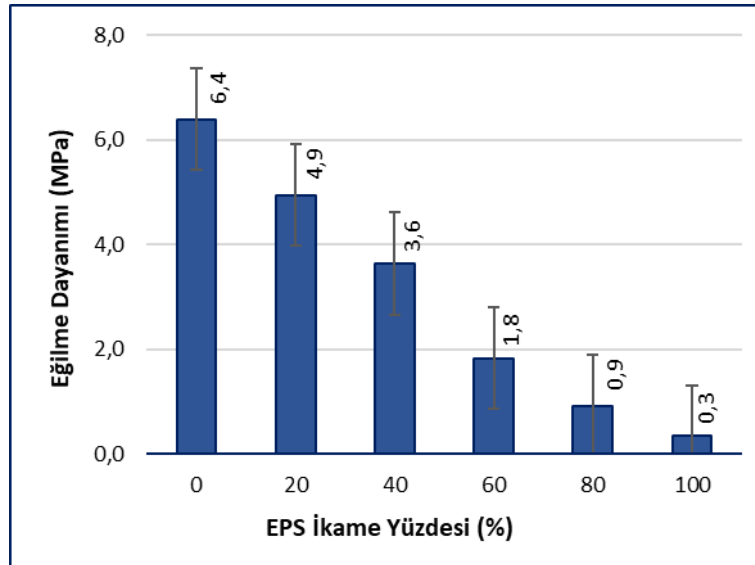
Şekil 3. Ultrasonik atımlı dalga hızları ve ısı iletkenlik katsayısı değerleri

Ayrıca elde edilen ultrasonik atımlı dalga hızları ve ısı iletkenlik katsayıları ile birim ağırlık değerleri arasındaki yaklaşık  $R^2=0,98$  olacak şekilde doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Birim ağırlık ile ultrasonik atımlı dalga hızları ve ısı iletkenlik katsayıları arasındaki ilişki

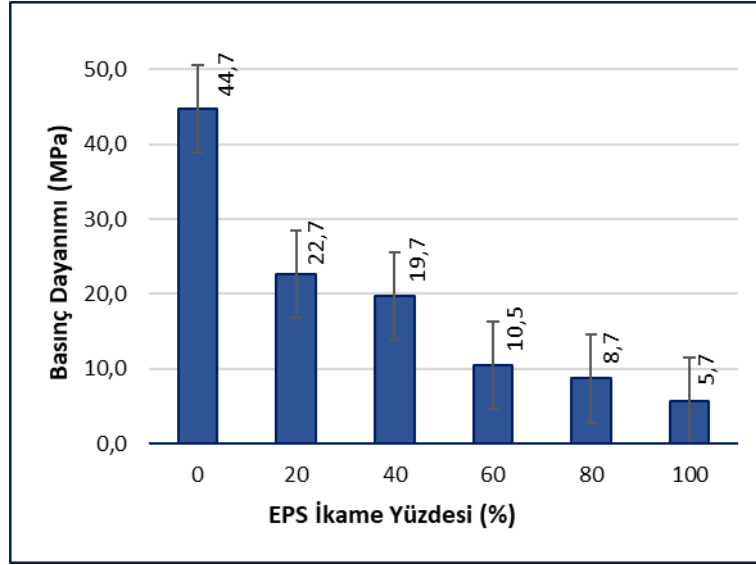
Alkali ile aktive edilmiş kontrol ve EPS ikameli harç numunelere ait 28 günlük eğilme ve basınç dayanımı deney sonuçları şekil 5 ve 6'da sunulmuştur. Harç numunelerin eğilme dayanımları 0,3-6,4 MPa arasında, basınç dayanımları ise 5,7-44,7 MPa arasında ölçülmüştür. EPS ikame oranının artması ile numunelerin hem eğilme hem de basınç dayanımları ciddi oranda düşüş gözlenmiştir. Taşıyıcı hafif beton sınıfına giren AAH-20E, AAH-40E kodlu harç numunelerin eğilme ve basınç dayanımları sırasıyla 4,9-22,7 MPa ve 3,6-19,7 MPa olarak ölçülmüştür. Orta mukavemetli hafif beton sınıfına giren AAH-60E, AAH-80E kodlu harç numunelerin eğilme ve basınç dayanımları sırasıyla 1,8-10,5 MPa ve 0,9-8,7 MPa olarak ölçülmüştür. Yalıtım betonu sınıfına giren AAH-100E kodlu harcın eğilme ve basınç dayanımı ise 0,3-5,7 MPa olarak ölçülmüştür.



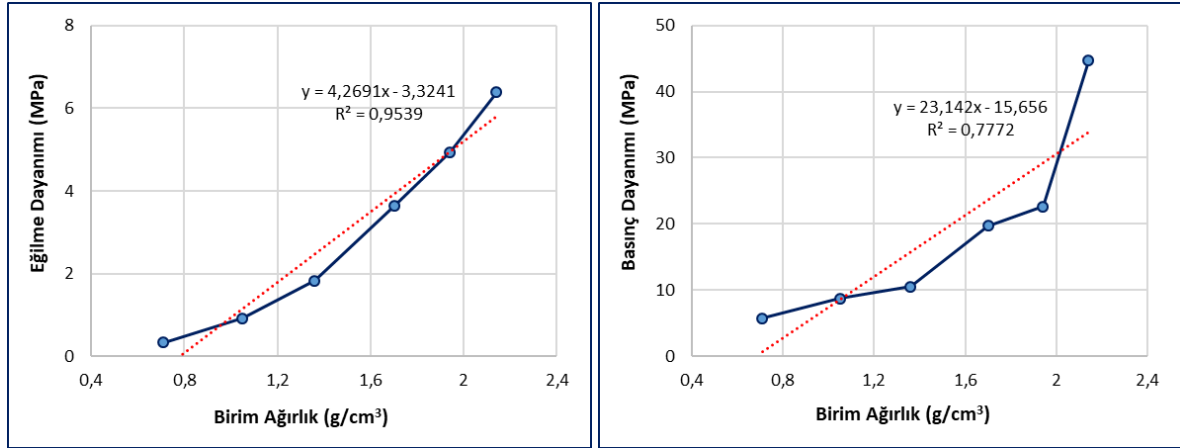
Şekil 5. Eğilme dayanımları

EPS ikame oranının %20, %40, %60, %80 ve %100 olması ile kontrol numunesine kıyasla harç numunelerin eğilme dayanımları sırasıyla %23, %43, %71, %86 ve %95'e varan oranlarda azalırken, basınç dayanımları sırasıyla %49, %56, %76, %80 ve %87'ye varan oranlarda azalmıştır. Elde edilen sonuçlar ultrasonik atımlı dalga hızı deney sonuçları ile de uyumluluk göstermektedir.

Ayrıca harç numunelerin birim ağırlık değerleri ile eğilme ve basınç dayanımları arasındaki ilişki değerlendirilmiş ve şekil 7'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre birim ağırlık ile eğilme ve basınç dayanımları arasında sırasıyla  $R^2=0,95$  ve  $R^2=0,78$  olacak şekilde doğrusal bir ilişki olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. Basınç dayanımları



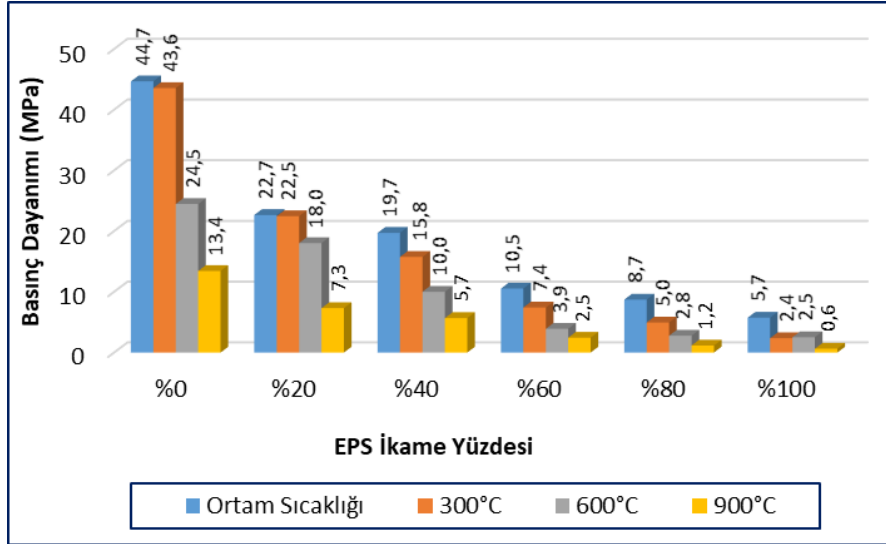
Şekil 7. Birim ağırlık ile eğilme ve basınç dayanımları arasındaki ilişki

28 gün kür edilmiş numuneler kür sonrasında 300°C, 600°C ve 900°C’de yüksek sıcaklığa tabi tutulmuşlardır. Yüksek sıcaklık sonrası elde edilen basınç dayanımları Şekil 8’de sunulmuştur.

300°C sıcaklık etkisine maruz bırakılan EPS ikameli harçların basınç dayanımları incelendiğinde, taşıyıcı hafif beton sınıfına giren AAH-20E ve AAH-40E kodlu numunelerde sırasıyla 22,5 MPa ve 15,8 MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. Orta mukavemetli hafif beton sınıfına giren AAH-60E ve AAH-80E kodlu numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 7,4 MPa ve 5,0 MPa olarak ölçülmüştür. Yalıtım betonu sınıfına giren AAH-100E kodlu numunelerin basınç dayanımı ise 2,4 MPa olarak belirlenmiştir.

600°C sonrası sıcaklık etkisi sonrasında ise taşıyıcı hafif beton sınıfına giren AAH-20E, AAH-40E kodlu harç numunelerin basınç dayanımları 18 MPa ve 10,0 MPa olarak ölçülmüştür. Orta mukavemetli hafif beton sınıfına giren AAH-60E ve AAH-80E kodlu numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 3,9 MPa ve 2,8 MPa olarak tespit edilmiştir. Yalıtım betonu sınıfına giren AAH-100E kodlu numunelerin basınç dayanımı ise 2,5 MPa olarak ölçülmüştür.

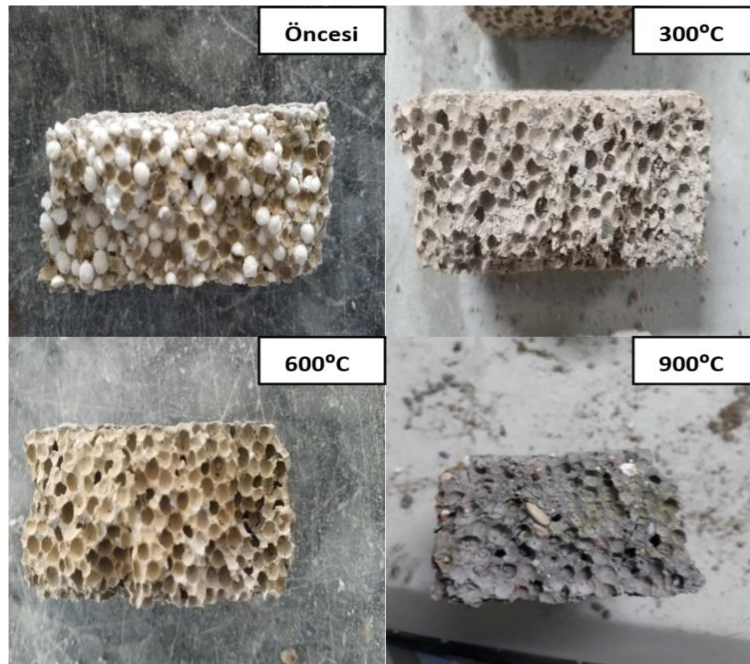
900°C sıcaklık etkisi sonrası elde edilen basınç dayanımları incelendiğinde, taşıyıcı hafif beton sınıfına giren AAH-20E ve AAH-40E kodlu numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 7,3 MPa ve 5,7 MPa olarak ölçülmüştür. Orta mukavemetli hafif beton sınıfına giren AAH-60E ve AAH-80E kodlu numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 2,5 MPa ve 1,2 MPa olarak ölçülmüştür. Yalıtım betonu sınıfına giren AAH-100E kodlu numunelerin basınç dayanımı ise 0,6 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 8. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları

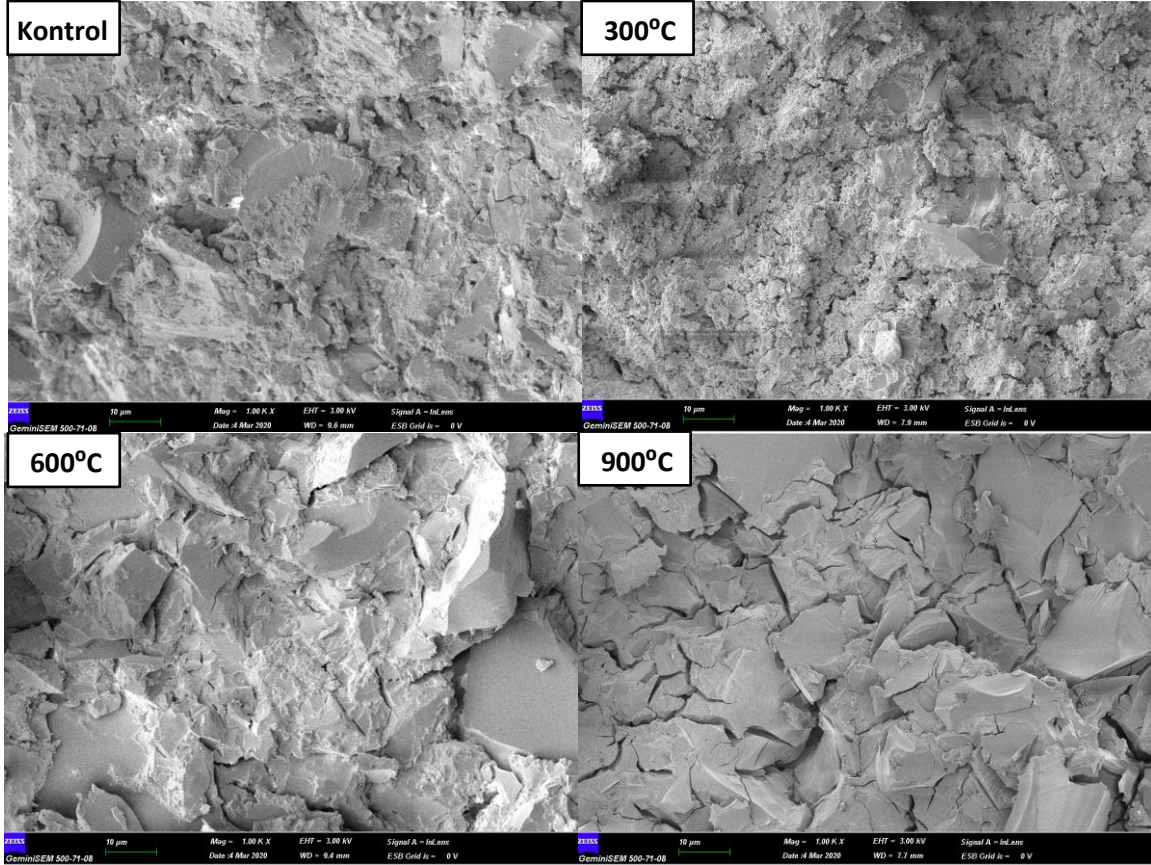
Alkali ile aktive edilmiş EPS ikameli harç numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları incelendiğinde 300°C sıcaklık etkisi sonrasında numunelerin kayda değer bir dayanım kaybı yaşamadığı gözlenmiştir. Diğer taraftan 600°C ve 900°C sıcaklık etkisi sonrasında harç numunelerin basınç dayanımlarında gözle görülür bir düşüş gözlenmiştir. Özellikle 900°C sıcaklık etkisi sonrasında numunelerin basınç dayanımlarında ciddi kayıplar yaşanmıştır. EPS oranının artması ile basınç dayanımı meydana gelen kayıpta artış gözlenmiştir.

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin genel görünümünü göstermek adına AAH-80E (%80 EPS-%20 ırmak kumu) kodlu numunenin yüksek sıcaklık sonrası görünümü şekil 9'da sunulmuştur. Şekil 9 yakından incelendiğinde 300°C sonrasında hem bağlayıcı hamuru hem de EPS granüllerinin kısmi zarar gördüğü anlaşılmaktadır. 600°C ve 900°C sıcaklık etkisi sonrasında ise EPS granüllerinin hemen hemen tamamen eridiği görülmektedir. Buna ilave olarak yüksek sıcaklık derecesinin artması ile bağlayıcı hamurunun daha fazla zarar gördüğü anlaşılmaktadır.



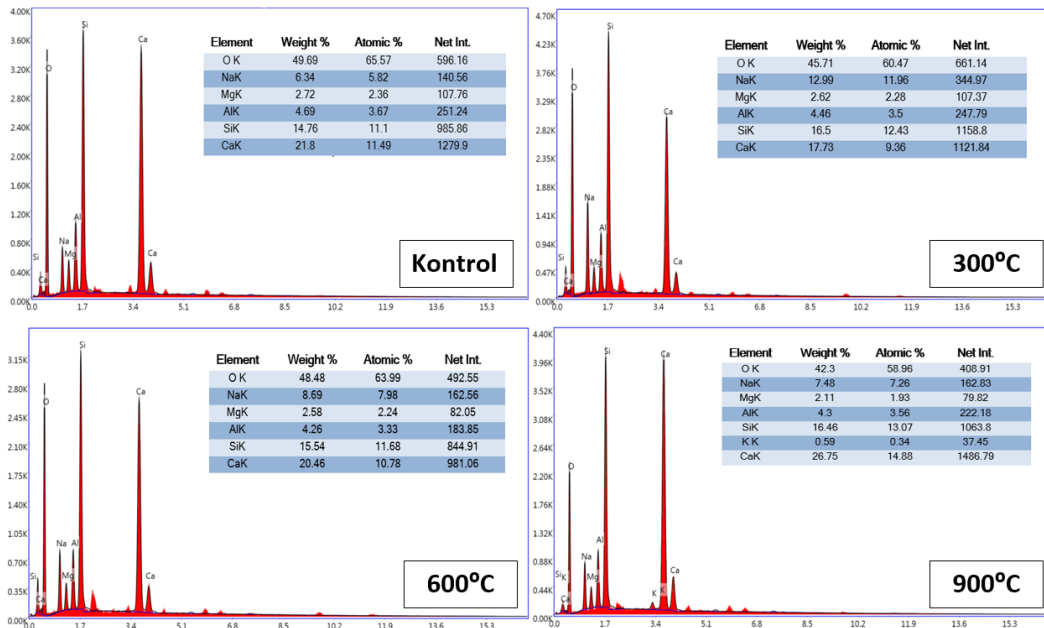
Şekil 9. Yüksek sıcaklık sonrası numune görünümü





Şekil 10. Yüksek sıcaklık sonrası FESEM görüntüleri (1000x büyütme)

Şekil 10 ve 11’de alkali ile aktive edilmiş kontrol hamurlarına ait FESEM görüntüleri ve EDX analizleri sunulmuştur. FESEM görüntülerine göre artan sıcaklık etkisi ile numunelerin daha boşluklu bir yapıya dönüştüğü gözlenmektedir. Ayrıca sıcaklık etkisinin artması ile numunelerin iç yapısındaki çatlak miktarında da artış gözlenmiştir. Bu durum artan sıcaklık etkisi ile numunelerin basınç dayanımlarında meydana gelen azalmayı açıklamaktadır. Daha boşluklu ve çatlaklı bir yapıya sahip olan numunelerin basınç dayanımlarında düşüş görülmesi olağandır. Ayrıca yüksek sıcaklık etkisi sonrası numunelerin EDX analizleri incelendiğinde genel olarak ciddi bir farklılık görülmediği tespit edilmiştir.



Şekil 11. Yüksek sıcaklık sonrası EDX analizleri

#### 4. Sonuç ve Öneriler

1- EPS ikamesi ile alkali ile aktive edilmiş harçların birim ağırlıklarında düşüş gözlenmiştir. Elde edilen birim ağırlık değerlerine göre taşıyıcı ve orta mukavemetli hafif beton ile yalıtım betonu yapılabilmesi mümkün olabilmektedir.

2- EPS ikamesinin artması numunelerin ısı iletkenlik katsayısını düşürerek yalıtım performansı artmıştır. Buna karşın numunelerin ultrasonik atımlı dalga hızları azalmış ve mekanik özelliklerinde kayıplar meydana gelmiştir.

3- EPS ikamesinin artması ile eğilme ve basınç dayanımlarında azalmalar tespit edilmiştir. İrmak kumu ile %20, %40, %60, %80 ve %100 EPS ikamesi sonucunda eğilme dayanımları sırasıyla %23, %43, %71, %86 ve %95'e varan oranlarda azalırken, basınç dayanımları sırasıyla %49, %56, %76, %80 ve %87'ye varan oranlarda azalmıştır.

4-Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan EPS ikameli alkali ile aktive edilmiş harç numunelerin basınç dayanımlarında özellikle 600°C ve 900°C sıcaklık sonrasında ciddi oranda kayıplar yaşanmıştır. Buna paralel olarak yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerin içyapıları daha boşluklu ve çatlaklı bir yapıya dönüşmüştür.

#### Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurum (TÜBİTAK) 2209 B Sanayiye Yönelik Lisans Araştırma Projeleri 2241 nolu proje kapsamında desteklenmiştir

#### 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] Ghrici M., Kenai S., Meziane E. 2006. Mechanical and durability properties of cement mortar with Algerian natural pozzolana. *Journal of Materials Science*, 41.(21): 6965-6972.
- [2] Mehta P.K. 2004. High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development. *International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, 31 (4): 3-14.
- [3] Huang C.H., Lin S. K., Chang C. S., Chen H. J. 2013. Mix proportions and mechanical properties of concrete containing very high-volume of class F fly ash. *Construction and Building Materials*, 46: 71-78.
- [4] Shanahan N., Markandeya A., Elnihum A., Stetsko Y. P., Zayed A. 2016. Multi-technique investigation of metakaolin and slag blended portland cement pastes. *Applied Clay Science*, 132: 449-459.
- [5] Duan P., Shui Z., Chen W., Shen C. 2013. Effects of metakaolin, silica fume and slag on pore structure, interfacial transition zone and compressive strength of concrete. *Construction and Building Materials*, 44, 1-6.
- [6] Yamanel K., Durak U., İlkentapa S., İsa Atabey İ., Karahan O., Duran Atış C. 2019. Influence of waste marble powder as a replacement of cement on the properties of mortar. *Journal of Construction*, 18 (2), 290-300.



- [7] Karahan O. 2017. Transport properties of high volume fly ash or slag concrete exposed to high temperature. *Construction and Building Materials*, 152: 898–906.
- [8] Gencil O., Karadag O., Oren O. H., Bilir T. 2021. Steel slag and its applications in cement and concrete technology: A review. *Construction and Building Materials*, 283: 122783.
- [9] Wang S.D., Pu X.C., Scrivener K.L., Pratt P.L. 1995. Alkali-activated slag cement and concrete: A review of properties and problems. *Advances in cement research*, 7 (27): 93-102.
- [10] Bingöl Ş., Bilim C., Atiş C.D., Durak U. 2020. Durability properties of geopolymer mortars containing slag. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 44 (1): 561-569.
- [11] Bingöl Ş., Bilim C., Duran Atiş C., Durak U, İlkentapar S., Karahan O. 2020. An investigation of resistance of sodium meta silicate activated slag mortar to acidic and basic mediums. *Revista de la construcción*, 19 (1): 127-133.
- [12] Puertas F., Gutiérrez R., Fernández-Jiménez A., Delvasto S., Maldonado J. 2002. Alkaline cement mortars. chemical resistance to sulfate and seawater attack. *Materiales de Construcción*, 52 (267): 55-71.
- [13] Çelikten S., Saridemir M., Özgür Deneme İ. 2019. Mechanical and microstructural properties of alkali-activated slag and slag + fly ash mortars exposed to high temperature. *Construction and Building Materials*, 217: 50-61.
- [14] Bakharev T., Sanjayan J., Cheng Y.- B. 2003. Resistance of alkali-activated slag concrete to acid attack. *Cement and Concrete research*, 33(10), 1607-1611.
- [15] Fernández-Jiménez A., Palomo J. G., Puertas F. 1999. Alkali-activated slag mortars mechanical strength behavior. *Cement and concrete research*, 29 (8): 1313-1321.
- [16] Provis J.L., Bernal S.A. 2014. Geopolymers and related alkali-activated materials. *Annual Review of Materials Research*, 44: 299-327.
- [17] Atiş C.D., Bilim C., Çelik Ö., Karahan O. 2009. Influence of activator on the strength and drying shrinkage of alkali-activated slag mortar. *Construction and building materials*, 23 (1): 548-555.
- [18] Chang, J.J., Yeih W., Hung C.C. 2005. Effects of gypsum and phosphoric acid on the properties of sodium silicate-based alkali-activated slag pastes. *Cement and Concrete Composites*, 27 (1): 85-91.
- [19] TS EN 206:2013+A1, Concrete-Specification, Performance, Production and Conformity. Ankara, Turkey, 2013.
- [20] Neville A.M. 2011. *Properties of Concrete 4th*. Longman, London.
- [21] Taşdemir C. 2003. Hafif betonların ısı yalıtım ve taşıyıcılık özellikleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 5 (427): 57–61.
- [22] Taşdemir M. A. Taşıyıcı Hafif Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi, 1982.
- [23] Beycioğlu A., Başıyigit C., Kılınçarslan Ş. 2010. Pomza agregalı hafif beton özelliklerine silis dumanının etkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Dergisi*, 14 (2): 200–205.
- [24] Yazıcıoğlu S., Bozkurt N. 2006. Pomza ve mineral katkılı taşıyıcı hafif betonun mekanik özelliklerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (4): 675–680.
- [25] Ke Y., Beaucour A. L., Ortola S., Dumontet H., Cabrillac R. 2009. Influence of volume fraction and characteristics of lightweight aggregates on the mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 23 (8): 2821-2828.
- [26] Akçaözöğlü S., Atiş C.D., Akçaözöğlü K. 2010. An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste management*, 30 (2): 285-290.
- [27] Koksal F., Gencil O., Kaya M. 2015. Combined effect of silica fume and expanded vermiculite on properties of lightweight mortars at ambient and elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 88: 175-187.
- [28] Kılıç F. M. 2018. Hafif Şap ile Normal Şap Uygulamasının Özelliklerinin Karşılaştırılması. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- [29] İlkentapar S., Eren H. 2020. EPS ile ikame edilmiş uçucu küllü geopolimer hafif harcın fiziksel, mekanik ve ısı geçirimsizlik özelliklerinin incelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9 (1): 28-38.
- [30] Babu K.G., Babu D. S. 2003. Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete

- containing silica fume, *Cement and Concrete Research*, 33 (5): 755-762.
- [31] Babu D.S., Babu K.G., Wee T.H. 2005. Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash. *Cement and Concrete Research*, 35 (6): 1218-1223.
- [32] Cook D. J. 1983. *Concrete Technology and Design, New Concrete Materials*, Vol. 1. Surrey University Press, Surrey.
- [33] Liu N., Chen B. 2014. Experimental study of the influence of EPS particle size on the mechanical properties of EPS lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 68: 227-232.
- [34] TS EN 933-1, Tests for Geometrical Properties of Aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method. Ankara, Turkey: TSE, 2012.
- [35] TS EN 1015-3, Methods of Test for Mortar for Masonry: Part 3. Determination of Consistence of Fresh Mortar (by flow table). Ankara, Turkey: TSE, 2000.
- [36] ASTM C 642-13, Standard Test Method for Density , Absorption, and Voids in Hardened Concrete. American Society for Testing and Material, 2013.
- [37] TS EN 12504-4, Testing concrete - Part 4: Determination of Ultrasonic Pulse Velocity. Ankara, Turkey: TSE, 2012.
- [38] TS EN 1015-11, Mortar Testing Method, Part 11. Measurement of Compressive and Flexural Tensile Strength of Mortar. Ankara, Turkey: TSE, 2000.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Üçüncü Mertebeden Kısmi Diferansiyel Denklemin Homotopy Pertürbasyon Metodu ile Çözümü

Mahmut MODANLI<sup>1\*</sup>, Hüseyin EŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, Şanlıurfa  
(ORCID: [0000-0002-7743-3512](https://orcid.org/0000-0002-7743-3512)) (ORCID: [0000-0002-4860-0502](https://orcid.org/0000-0002-4860-0502))

---

### Öz

Bu çalışmada, başlangıç değerlerine bağlı olarak verilen üçüncü mertebeden kısmi diferansiyel denklemin çözümü homotopy pertürbasyon metodu ile incelendi. Yöntemi test etmek için bir örnek problem kullanıldı. Bu örnek problem üzerinde elde edilen çözümün tam çözüme denk olduğu görüldü. Matlab programı kullanılarak tam çözümün grafiği elde edildi.

**Anahtar kelimeler:** Üçüncü mertebeden kısmi diferansiyel denklem, Homotopy pertürbasyon metodu, Tam çözüm, Yaklaşık çözüm.

---

## Solution of Third Order Partial Differential Equation by Homotopy Perturbation Method

---

### Abstract

In this study, the solution of the third-order partial differential equation given depending on the initial values is analyzed by homotopy perturbation method. An example problem is used to test the method. It is seen that the solution obtained on this example problem was equivalent to the exact solution. The graph of the exact solution is obtained using the Matlab program.

**Keywords:** Third order partial differential equation, Homotopy perturbation method, Exact solution, Approximate solution.

---

### 1. Giriş

Kısmi diferansiyel denklemler tıp, mühendislik, fizik, sismoloji, termodinamik, akışkan mekaniği gibi pek çok bilim dallarında uygulama alanına sahiptir. Üçüncü mertebeden kısmi diferansiyel denklemlerin tam ve yaklaşık çözümleri ile ilgili literatürde epey çalışma yapılmıştır. Fiber optik, iletişim teorisi ve taşıma gibi fiziksel ve mühendislik uygulamalarında kullanılabilecek Fisher benzeri lineer olmayanlığı içeren üçüncü mertebeden yarı lineer ve lineer olmayan dağılımlı denklemlerin, yani dağılım-tepkime modellerinin tam çözümleri elde edildi [1]. [2] de zaman değişkeninin üçüncü mertebeden bir türevi ile birleşen lineer olmayan bir kısmi diferansiyel denklemi çalışıldı. Lineer olmayan dalga denklemlerinin yürüyen dalga çözümlerini elde etmedeki etkinliğini göstermek için, A. Degasperis, D. Holm ve A. Hone tarafından verilen bir üçüncü mertebeden dağılımlı kısmi diferansiyel denklemler ailesi incelendi [3]. Soliton tipi çözümleri belirlemek için üçüncü mertebeden evrim denklemini araştırmak için Hirota bilinear yöntemi kullanıldı [4]. Yarı-ayrıklaştırılmış adveksiyon difüzyon reaksiyonunun zaman entegrasyonu için yeni üç aşamalı W-yöntemleri verilip kısmi diferansiyel denklemler özellikle, komütatörle ilgili gerçekçi bir varsayım altında, üçüncü mertebeden W yöntemlerinin iki üç parametrik ailesi elde edildi [5]. Optik solitonların uzay-zamansal dağılım, parabolik yasa lineer olmama durumu (kübik-kuintik lineer olmama), detuning, modlar arası

---

\*Sorumlu yazar: [mmodanli@harran.edu.tr](mailto:mmodanli@harran.edu.tr)

Geliş Tarihi: 12.08.2021, Kabul Tarihi: 02.11.2021

dağılım, kendiliğinden dikleşme, Raman etkisi, lineer olmayan dağılım ve üçüncü mertebeden mevcudiyetinde lineer olmayan meta malzemeler aracılığıyla yayılmasını incelendi [6].

Üçüncü mertebeden kısmi diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümleri için sonlu fark metodu [7], en küçük kareler yöntemiyle birleştirilmiş üçüncü dereceden B-spline metodu [8], Sonlu elemanlar yöntemi [9] ve Homotopy pertürbasyon metodu [10, 11, 12, 13] kullanılmıştır.

Bu çalışmada, üçüncü mertebeden kısmi diferansiyel denkleminin çözümü homotopy pertürbasyon metodu kullanılarak

$$\begin{cases} U_{ttt}(t, x) + \alpha U_{tt}(t, x) + \beta U_t(t, x) + kU(t, x) = \lambda U_{txx}(t, x) \\ + U_{xx}(t, x) + f(t, x), \quad 0 < x < L, \quad 0 < t, \\ U(0, x) = \varphi_0(x), \quad U_t(0, x) = \varphi_1(x), \quad U_{tt}(0, x) = \varphi_2(x) \end{cases} \quad (1)$$

incelendi. (1) denklemi;  $\lambda = 0$  için üçüncü mertebeden zamanla değişen sistem [14],  $\lambda \neq 0$  için denklem üçüncü mertebeden pseudo kısmi diferansiyel denklemi olarak adlandırılabilir. (1) problemi ile ilgili literatürde herhangi bir çalışma yapılmadığından bu problemi çözmek büyük öneme sahiptir. Dolayısıyla homotopy pertürbasyon metodu kullanılarak bu problemin çözümünü elde edildi. Elde edilen bu çözümün tam çözüme karşılık geldiği görüldü. Fakat bu problemin tam çözümünün bilinen Laplace dönüşüm metodu ile elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Çünkü  $U_{txx}(t, x)$  kısmi türevinden dolayı daha fazla başlangıç ve sınır değerlerine gereksinim duymaktadır. Bu da homotopy pertürbasyon metodunun bu problemin çözümü için daha avantajlı ve etkili olduğunu gösterir.

Özellikle bu problem ağ tasarımı, akışkan dinamiğinde, dalga hareketi, telekomünikasyon, elektromanyetik, dalga dağılımı ve elektronik dinamiğinde kullanılır [15, 16].

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Homotopy Pertürbasyon Metodu

İlk olarak, homotopy pertürbasyon yöntemini [17,18] çalışmalarında olduğu gibi homotopynin yeni modifikasyonunun algoritmasını elde edeceğiz. Bunun için, bu metodu aşağıdaki lineer olmayan diferansiyel denklemini

$$L(u) + N(u) = f(r), \quad r \in \Omega, \quad (2)$$

$$B\left(u, \frac{\partial u}{\partial n}\right) = 0, \quad r \in \Gamma$$

sınır değerleri için elde edelim. Burada  $L$  bir lineer operatör,  $N$  lineer olmayan bir operatör,  $B$  bir sınır,  $\Gamma$   $\Omega$  bölgesinin sınır operatörü ve  $f(r)$  bilinen bir analitik fonksiyondur. Homotopy tekniğiyle,

$$v(r, p) : \Omega \rightarrow \Omega \times [0, 1] \rightarrow R$$

olmak üzere,

$$H(v, p) = (1 - p) [L(v) - L(U_0)] + p [L(v) + N(v) - f(r)] = 0 \quad (3)$$

dir. Burada  $p \in [0, 1]$  bir parametre ve  $U_0$  ise sınır değerlerini karşılayan başlangıç koşuludur. O halde (2) ve (3) denklemlerinden

$$H(v, 0) = L(v) - L(U_0) = 0, \quad (4)$$

$$H(v, 1) = L(v) + N(v) - f(r) = 0 \quad (5)$$

formülleri elde edilir.

Bu yüzden 0'dan 1'e  $p$  nin değişim işlemi,  $v(r, p)$  nin  $U_0(r)$  den  $U(r)$  dönüşümüdür. Topolojide  $L(v) - L(U_0)$  ve  $L(v) + N(v) - f(r)$  homotopyktir. Bu varsayım (3) denkleminin çözümüdür ve (4) denkleminin  $p$  kuvvet serisi ifadesi

$$v = v_0 + pv_1 + p^2v_2 + \dots \tag{6}$$

şeklindedir. Bu da  $p = 1$  alınırsa (1) denkleminin yaklaşık çözümü

$$v = \lim_{p \rightarrow 1} v = v_0 + v_1 + v_2 + \dots \tag{7}$$

formülü gibi olur. (7) serisinin yakınsaklığının ispatı [17, 18] te verilmiştir.

## 2.2. Üçüncü Mertebeden Kısmi Diferansiyel Denklemin İçin Homotopy Pertürbasyon Metodu

Şimdi (1) denkleminin çözümü için Homotopy pertürbasyon metodunu oluşturalım. (1) probleminin Laplace dönüşümü alınırsa

$$U(s, x) = \frac{1}{s^3} [s^2\varphi_0(x) + s\varphi_1(x) + \varphi_2(x) + F(s, x)] + L\{pU_{txx}(t, x) + U_{xx}\} + F(s, x) + L[-\alpha U_{tt}(t, x) - \beta U_t(t, x) - kU(t, x)]$$

bulunur. Burada  $U(s, x)$ ,  $U(t, x)$  ifadesinin ve  $F(s, x)$ ,  $F(t, x)$  ifadesinin Laplace dönüşümüdür.  $U(s, x)$

$$U(s, x) = \sum_{k=0}^{\infty} P_k U_k(s, x)$$

formunda bulunabilir. Burada  $i = 0, 1, 2, \dots$  için  $U_i(s, x)$  in bilinmeyen fonksiyonudur. Bu durumda

$$\sum_{i=0}^{\infty} P_i U_i(s, x) = \frac{1}{s^3} [s^2\varphi_0(x) + S\varphi_1(x) + \varphi_2(x) + F(s, x)] - \frac{p}{s^3} L\{\alpha U_{tt}(t, x) + \beta U_t(t, x) + kU(t, x) - \lambda U_{txx}(t, x) - U_{xx}(t, x)\}$$

formülü elde edilebilir.  $p$ 'nin kuvvetlerinin katsayılarının karşılaştırılması ile

$$p^0: U_0(s, x) = \frac{1}{s^3} [s^2\varphi_0(x) + S\varphi_1(x) + \varphi_2(x) + F(s, x)],$$

$$p^1: U_1(s, x) = \frac{1}{s^3} L\{\alpha(U_0)_{tt}(t, x) + \beta(U_0)_t(t, x) + k(U_0)(t, x) - \lambda(U_0)_{txx}(t, x) - (U_0)_{xx}(t, x)\},$$

$$p^2: U_2(s, x) = \frac{1}{s^3} L\{\alpha(U_1)_{tt}(t, x) + \beta(U_1)_t(t, x) + k(U_1)(t, x) - \lambda(U_1)_{txx}(t, x) - (U_1)_{xx}(t, x)\},$$

⋮

$$p^{n+1}: U_{n+1}(s, x) = (-1)^{n+1} \frac{1}{s^3} L\{\alpha(U_n)_{tt}(t, x) + \beta(U_n)_t(t, x) + k(U_n)(t, x) - \lambda(U_n)_{txx}(t, x) - (U_n)_{xx}(t, x)\} \tag{8}$$

formülleri bulunur.

$p \rightarrow 1$  iken, (1) probleminin çözümü

$$H_n(s, x) = \sum_{i=0}^n p^i U_i(s, x) \tag{9}$$

olarak bulunur. (9) formülünün ters Laplace dönüşümü alınır,

$$U(t, x) \cong U_n(t, x) = L^{-1}\{H_n(s, x)\} \tag{10}$$

yazılır. Burada

$$U_n(t, x) = \frac{\ln 2}{t} \sum_{i=1}^{2p} d_i H_n \left( i \frac{\ln 2}{t}, x \right), \quad p > 0$$

ve

$$d_i = (-1)^{i+p} \sum_{j=\lfloor \frac{i+1}{2} \rfloor}^{\min(i,p)} \frac{i^p (2j)!}{(p-j)! (j-1)! (i-1)! (2j-1)!}$$

dır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde homotopy pertürbasyon metodunu kullanarak üçüncü mertebeden bir diferansiyel denklemin çözümünü bir örnek problem ile test edeceğiz. Bu metodu kullanarak aşağıdaki örneği çözmeye çalışalım.

#### 3.1. Örnek Üçüncü mertebeden kısmi diferansiyel denkleminin çözümünü

$$\begin{cases} U_{ttt}(t, x) + 3U_{tt}(t, x) + 3U_t(t, x) + U(t, x) = U_{txx}(t, x) + U_{xx}(t, x) \\ U(0, x) = \sin x, \quad U_t(0, x) = -2\sin x, \quad U_{tt}(0, x) = 4\sin x, \\ U(t, 0) = U(t, \pi) = 0 \end{cases}$$

homotopy pertürbasyon metodu ile bulalım. Verilen denklemin her tarafının Laplace dönüşümü alınır

$$L\{U_{ttt}(t, x)\} = -3L\{U_{tt}(t, x)\} - 3L\{U_t(t, x)\} - 3L\{U(t, x)\} + L\{U_{txx}(t, x)\} + L\{U_{xx}(t, x)\}$$

denklemini elde edilir. Bu denklem açılırsa

$$\begin{aligned} s^3 U(s, x) - s^2 U(0, x) - s U_t(0, x) - U_{tt}(0, x) \\ = L\{-3 U_{tt}(t, x) - 3 U_t(t, x) - 3 U(t, x) + U_{txx}(t, x) + U_{xx}(t, x)\} \end{aligned}$$

denklemini ve buradan da verilen başlangıç değerleri kullanılırsa

$$\begin{aligned} s^3 U(s, x) - s^2 \sin x + 2s \sin x - 4 \sin x \\ = L\{-3 U_{tt}(t, x) - 3 U_t(t, x) - 3 U(t, x) + U_{txx}(t, x) + U_{xx}(t, x)\} \end{aligned}$$

bulunur. Bu son denklemde gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$\begin{aligned} s^3 U(s, x) = s^2 \sin x - 2s \sin x + 4 \sin x \\ + L\{-3 U_{tt}(t, x) - 3 U_t(t, x) - 3 U(t, x) + U_{txx}(t, x) + U_{xx}(t, x)\} \end{aligned}$$

olup buradan da

$$U(s, x) = \frac{\sin x}{s} - \frac{2\sin x}{s^2} + \frac{2\sin x}{s^3} + \frac{1}{s^3} L\{-3 U_{tt}(t, x) - 3U_t(t, x) - 3U(t, x) + U_{txx}(t, x) + U_{xx}(t, x)\} \quad (11)$$

denklemi elde edilir. (8) ve (11) formülleri kullanılırsa

$$U_0(s, x) = \left\{ \frac{\sin x}{s} - \frac{2\sin x}{s^2} + \frac{2\sin x}{s^3} \right\} \quad (12)$$

yazılabilir. (12) denkleminin ters Laplace dönüşümü alınır

$$L^{-1}\{U_0(s, x)\} = L^{-1}\left\{ \frac{\sin x}{s} - \frac{2\sin x}{s^2} + \frac{2\sin x}{s^3} \right\}$$

olup buradan da

$$U_0(t, x) = \sin x - 2t\sin x + 2t^2\sin x$$

ve

$$U_0(t, x) = (1 - 2t + 2t^2)\sin x$$

bulunur. (8) formülünden

$$U_{n+1}(t, x) = \frac{1}{s^3} L\{-3 (U_n)_{tt}(t, x) - 3(U_n)_t(t, x) - 3(U_n)(t, x) + (U_n)_{txx}(t, x) + (U_n)_{xx}(t, x)\}$$

formülü yazılabilir. Bu son formülden,

$$\begin{aligned} U_1(t, x) &= \frac{1}{s^3} L\{-3 (U_0)_{tt}(t, x) - 3(U_0)_t(t, x) - 3(U_0)(t, x) + (U_0)_{txx}(t, x) + (U_0)_{xx}(t, x)\} \\ &= \frac{1}{s^3} L\{-3.4 - 3(-2 + 4t) - 3(1 - 2t + 2t^2) + (2 - 4t) - (1 - 2t + 2t^2)\} \sin x \end{aligned}$$

ve

$$U_1(s, x) = \left( -\frac{8}{s^4} - \frac{8}{s^5} - \frac{16}{s^6} \right) \sin x$$

bulunur. Son formülün ters Laplace dönüşümü alınır

$$L^{-1}\{U_1(s, x)\} = L^{-1}\left\{ \left( -\frac{8}{s^4} - \frac{8}{s^5} - \frac{16}{s^6} \right) \sin x \right\}$$

olup buradan da

$$U_1(t, x) = -\left( \frac{4}{3}t^3 + \frac{1}{3}t^4 + \frac{2}{15}t^5 \right) \sin x$$

elde edilir. Yukarıdakine benzer prosedür uygulanır

$$U_2(t, x) = \frac{1}{s^3} L\{-3 (U_1)_{tt}(t, x) - 3(U_1)_t(t, x) - 3(U_1)(t, x) + (U_1)_{txx}(t, x) + (U_1)_{xx}(t, x)\}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{s^3} L \left\{ \left( 24t^1 + 12t^2 + 8t^3 + 12t^2 + 4t^3 + 2t^4 + 4t^3 + t^4 + \frac{2}{5}t^5 + 4t^2 + \frac{4}{3}t^3 + \frac{2}{3}t^4 + \frac{4}{3}t^3 + \frac{1}{3}t^4 + \frac{2}{15}t^5 \right) \sin x \right\} \\
&= \frac{1}{s^3} L \left\{ \left( \frac{8}{15}t^5 + 4t^4 + \frac{56}{3}t^3 + 28t^2 + 24t^1 \right) \sin x \right\} \\
&= \left( \frac{64}{s^9} + \frac{96}{s^8} + \frac{112}{s^7} + \frac{56}{s^6} + \frac{24}{s^5} \right) \sin x
\end{aligned}$$

yazılabilir. Bu denklemin de ters Laplace dönüşümü alınır

$$L^{-1}\{U_2(s, x)\} = L^{-1} \left\{ \left( \frac{64}{s^9} + \frac{96}{s^8} + \frac{112}{s^7} + \frac{56}{s^6} + \frac{24}{s^5} \right) \sin x \right\}$$

$$U_2(t, x) = \left( \frac{1}{630}t^8 + \frac{2}{105}t^7 + \frac{7}{45}t^6 + \frac{7}{15}t^5 + t^4 \right) \sin x$$

aynı şekilde devam edilir ve  $i = 3, 4, \dots$  için  $U_i(t, x)$  bulunup

$$U(t, x) = U_0(t, x) + U_1(t, x) + U_2(t, x) + \dots$$

hesaplanabilir. (9) ve (10) formülleri kullanılarak

$$\begin{aligned}
U(t, x) &= (1 - 2t + 2t^2) \sin x + - \left( \frac{4}{3}t^3 + \frac{1}{3}t^4 + \frac{2}{15}t^5 \right) \sin x \\
&\quad + \left( \frac{1}{630}t^8 + \frac{2}{105}t^7 + \frac{7}{45}t^6 + \frac{7}{15}t^5 + t^4 \right) \sin x + \dots
\end{aligned}$$

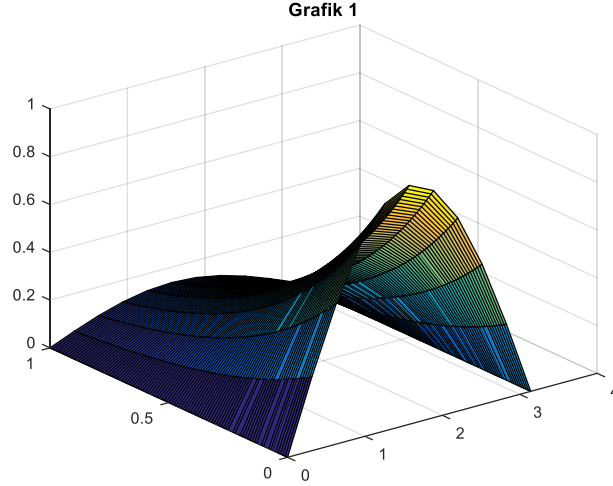
$$U(t, x) = (1 - 2t + 2t^2 - \frac{4}{3}t^3 - \frac{1}{3}t^4 - \frac{2}{15}t^5 + \frac{1}{630}t^8 + \frac{2}{105}t^7 + \frac{7}{45}t^6 + \frac{7}{15}t^5 + t^4) \sin x + \dots$$

$$U(t, x) = \left( 1 - 2t + 2t^2 - \frac{4}{3}t^3 + \frac{2}{3}t^4 + \frac{1}{3}t^5 + \frac{7}{45}t^6 + \frac{2}{105}t^7 + \frac{1}{630}t^8 + \dots \right) \sin x$$

$$U(t, x) = e^{-2t} \sin x$$

bulunur ki bu da Örnek 3.1 in tam çözümüne karşılık gelir. Bu çözüm ile ilgili grafik aşağıda verilmiştir.





**Şekil 1.** Üçüncü mertebeden kısmi diferansiyel denklemin  $0 \leq t \leq 1, 0 \leq x \leq \pi$  aralığındaki grafiğidir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, homotopy pertürbasyon metodu kullanılarak üçüncü mertebeden kısmi diferansiyel denklemin çözümü elde edildi. Hem homotopy pertürbasyon metodunun genel formu hem de bu denklemin çözümü için kullanılan formu oluşturuldu. Bu metot kullanılarak bir örnek problem üzerinde denklemin çözümü hesaplandı. Elde edilen bu çözümün tam çözüme denk olduğu görüldü. Bu nedenle bu metodun bu problem için uygun ve elverişli bir metot olduğu görüldü. Matlab programı kullanılarak tam çözüm için grafik verildi. Örnek 3.1 probleminin tam çözümü olan  $U(t, x) = e^{-2t} \sin x$  fonksiyonu için bu grafik elde edildi. Bu grafikten  $x = 0$  ve  $x = \pi$  de  $U(t, x) = 0$  olduğu görülür.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları 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] Pinar Z., Kocak H. 2018. Exact solutions for the third-order dispersive-Fisher equations. *Nonlinear Dynamics*, 91 (1): 421-426.
- [2] Ding L., Ma W. X., Chen Q., Huang Y. 2021. Lump solutions of a nonlinear PDE containing a third-order derivative of time. *Applied Mathematics Letters*, 112, 106809.
- [3] Rui W., He B., Long Y., Chen C. 2008. The integral bifurcation method and its application for solving a family of third-order dispersive PDEs. *Nonlinear Analysis: Theory, Methods & Applications*, 69 (4): 1256-1267.
- [4] Manafian J., Mohammed SA, Alizadeh AA, Baskonus H. M., Gao W. 2020. Sığ su üzerinde uzun dalgaların yayılmasından kaynaklanan üçüncü dereceden evrim denklemi için yumru ve etkileşiminin araştırılması. *European Journal of Mechanics-B/Fluids*, 84: 289-301.

- [5] González-Pinto S., Hernández-Abreu D., Pérez-Rodríguez S., Weiner R. 2016. A family of three-stage third order AMF-W-methods for the time integration of advection diffusion reaction PDEs. *Applied Mathematics and Computation*, 274: 565-584.
- [6] Zhou Q., Liu L., Liu Y., Yu H., Yao P., Wei C., Zhang H. 2015. Exact optical solitons in metamaterials with cubic–quintic nonlinearity and third-order dispersion. *Nonlinear Dynamics*, 80 (3): 1365-1371.
- [7] Mary D. S.1985. Analysis of an implicit finite-difference scheme for a third-order partial differential equation in three dimensions. *Computers & Mathematics with Applications*, 11 (7-8): 873-885.
- [8] Loghmani G. B., Ahmadiania M. 2006. Numerical solution of third-order boundary value problems.
- [9] Gordon R. K., Hutchcraft W. E. 2001. Higher Order Wavelet-like Basis Functions in the Numerical Solution of Partial Differential Equations Using the Finite Element Method. In *Proceedings of the 33rd Southeastern Symposium on System Theory (Cat. No. 01EX460)*, 391-394. IEEE.
- [10] Chavan S. S., Panchal M. M. 2014. Solution of third order Korteweg-De Vries equation by homotopy perturbation method using Elzaki transform. *Int J Res Appl Sci Eng Tech.*,2: 366-9.
- [11] He J. H., El-Dib Y. O., Mady A. A. 2021. Homotopy perturbation method for the fractal Toda oscillator. *Fractal and Fractional*, 5 (3): 93.
- [12] Karimiasl M., Ebrahimi F., Mahesh V. 2021. Postbuckling analysis of piezoelectric multiscale sandwich composite doubly curved porous shallow shells via Homotopy Perturbation Method. *Engineering with Computers*, 37 (1): 561-577.
- [13] Rezapour B., Fariborzi Araghi M. A., Vázquez-Leal H. 2021. Application of homotopy perturbation method for dynamic analysis of nanotubes delivering nanoparticles. *Journal of Vibration and Control*, 27 (7-8): 802-814.
- [14] Koksall M., Koksall M. E. 2015. Commutativity of cascade connected discrete-time linear time-varying systems. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, 37 (5): 615-622.
- [15] Koksall M. E. 2019. Time and frequency responses of non-integer order RLC circuits, *AIMS Mathematics*, 4 (1).
- [16] Misra D. K. *Radio-Frequency and Microwave Communication Circuits: Analysis and Design*, Wiley-Interscience, 2004.
- [17] He J.H. 1999. Homotopy perturbation technique. *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* 178: 257.
- [18] He J.H. 2000. A coupling method of a homotopy technique and a perturbation technique for non-linear problems, *Int. J. Non-linear Mech.* 35 (1).

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Derik Halhalı Zeytin Çekirdeğinden Çevre Dostu Selülozik Manyetik Nano-Adsorbent Üretimi ve Benzen Gideriminde Kullanılması

Sinan KUTLUAY<sup>1</sup>, Mehmet Şakir ECE<sup>2\*</sup>, Ömer ŞAHİN<sup>1</sup>, Zafer KAHRAMAN<sup>1</sup>, Ferat ÖNAL<sup>3</sup>, Fesih ATKU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt

<sup>2</sup>Mardin Artuklu Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Mardin

<sup>3</sup>Derik İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğü, Mardin

(ORCID: [0000-0001-9493-918X](https://orcid.org/0000-0001-9493-918X)) (ORCID: [0000-0002-9411-314X](https://orcid.org/0000-0002-9411-314X)) (ORCID: [0000-0003-4575-3762](https://orcid.org/0000-0003-4575-3762))

(ORCID: [0000-0003-2337-266X](https://orcid.org/0000-0003-2337-266X)) (ORCID: [0000-0002-0575-0826](https://orcid.org/0000-0002-0575-0826)) (ORCID: [0000-0002-5494-028X](https://orcid.org/0000-0002-5494-028X))

### Öz

Uçucu organik bir bileşik (UOB) olan benzen, kimyasal ve petrokimyasal gibi faaliyetlerle sanayiden ve endüstriden atmosfere salınmaktadır. Benzen, canlı sağlığı ve çevre için ağır kirliliklerden biri olup, kanserojen, mutajenik ve oldukça toksik polar olmayan bir kirleticidir. İnsan sağlığı ve ekolojik çevre için bir potansiyel tehlikedir. Bu sebeple benzenin bir kirletici olarak atmosferden uzaklaştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu çevresel iyileştirme çalışmasında, Derik Halhalı zeytininin çekirdeği bir doğal selüloz (DS) kaynağı olarak manyetit ( $Fe_3O_4$ ) modifikasyonunda kullanıldı. Başarıyla üretilen  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbentin benzen giderimine karşı adsorpsiyon özellikleri incelendi. Birlikte çökeltme yöntemiyle elde edilen  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbenti SEM-EDS, FTIR ve BET analizleri ile karakterize edildi. Benzen giderim sürecinde, benzen başlangıç konsantrasyonu, adsorbent miktarı, adsorpsiyon süresi ve adsorpsiyon sıcaklığı gibi farklı parametrelerin etkileri değerlendirildi. Optimum değerler olarak belirlenen 90 dakika adsorpsiyon süresi, 15 ppm benzen başlangıç konsantrasyonu, 100 mg adsorbent miktarı ve 25°C adsorpsiyon sıcaklığı gibi koşullar altında benzen adsorpsiyon kapasitesi 298.15 mg/g olarak bulundu. Bu sonuç, başarıyla üretilen  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbentin UOB kirleticilerin giderimindeki uygulama potansiyelini ortaya koymaktadır. Öte yandan, Quasi-birinci-dereceden kinetik modeli takip eden gaz halindeki benzenin  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyon prosesi fiziksel adsorpsiyon mekanizmasını işaret etmektedir. Ayrıca, 1.74 kJ/mol olarak hesaplanan E değeri (Dubinin-Radushkevich model sabiti) adsorpsiyon sürecinin fiziksel etkileşim mekanizması üzerinden gerçekleştiğini desteklemektedir. Son olarak, beş döngüden sonra,  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbentin %90.61'lik bir yeniden kullanım verimini koruduğu bulundu, bu da nano-adsorbentin pratik uygulamalarda büyük bir potansiyele sahip olduğu anlamına geliyor.

**Anahtar kelimeler:** Adsorpsiyon, Benzen giderimi, Derik Halhalı zeytini,  $Fe_3O_4/DS$ , Nano-adsorbent.

## Production of Eco-Friendly Cellulosic Magnetic Nano-Adsorbent from Derik Halhali Olive Seed and Its Use in Benzene Removal

### Abstract

Benzene, a volatile organic compound (VOC), is released into the atmosphere from industry and industry through chemical and petrochemical activities. Benzene is one of the heavy pollutants for living health and the environment, and it is a carcinogenic, mutagenic and highly toxic non-polar pollutant. It is a potential hazard to human health and the ecological environment. For this reason, it is of great importance to remove benzene from the atmosphere as a pollutant. In this environmental improvement study, Derik Halhali olive seed was used as a natural cellulose (NC) source in the modification of magnetite ( $Fe_3O_4$ ). The adsorption properties of the successfully produced  $Fe_3O_4/NC$  nano-adsorbent against benzene removal were investigated.  $Fe_3O_4/NC$  nano-adsorbent obtained by co-precipitation method was characterized by SEM-EDS, FTIR and BET analyses. In the benzene removal process, the effects of different parameters such as benzene initial concentration, adsorbent amount, adsorption time and adsorption temperature were evaluated. Benzene adsorption capacity was found to

\*Sorumlu yazar: [sakirece@artuklu.edu.tr](mailto:sakirece@artuklu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 13.08.2021 Kabul Tarihi: 15.11.2021

be 298.15 mg/g under the optimum values such as 90 min adsorption time, 15 ppm initial concentration of benzene, 100 mg adsorbent amount and 25°C adsorption temperature. This result reveals the application potential of the successfully produced Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/NC nano-adsorbent in the removal of VOC pollutants. On the other hand, the adsorption process of gaseous benzene on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/NC nano-adsorbent following the Quasi-first-order kinetic model indicates the physical adsorption mechanism. In addition, the E value (Dubinin-Radushkevich model constant) calculated as 1.74 kJ/mol supports that the adsorption process takes place through the physical interaction mechanism. Finally, after five cycles, the Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/NC nano-adsorbent was found to maintain a reuse efficiency of 90.61%, meaning that the nano-adsorbent has great potential in practical applications.

**Keywords:** Adsorption, Benzene removal, Derik Halhali olive seed, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS, Nano-adsorbent.

## 1. Giriş

Uçucu organik bileşikler (UOB'ler), hava kirliliğinin ana kaynaklarından biridir. UOB'ler, yüksek oranda buharlaşan organik karbon (karbon, hidrojen, azot veya kükürde bağlı karbon) içeren sıvılar veya katılardır. UOB sadece stratosferik ozonun tükenmesini arttırmakla kalmaz, aynı zamanda yeraltı suyu ve toprak kirliliği gibi yaygın çevresel kirlenmeye de neden olur. Birkaç çeşit UOB'in kanserojen ve mutajenik etkileri nedeniyle insan sağlığına çok zararlı olduğu iyi bilinmektedir. Doğrudan toksisiteyi ve kötü kokulu olmaları sebebiyle hava kalitesini bozarlar. Asidik yağışa (asit yağmuru), küresel ısınmaya neden olurlar. UOB'ler arasında, benzen önemli bir kimyasal hammaddedir. Doğal ve antropojenik kaynaklı kimyasal bir kirleticidir. Ayrıca, kimyasal yapısı bakımından belirgin bir uçuculuğa, suda düşük çözünürlüğe ve çok yüksek stabiliteye sahiptir. Genellikle petrol depolama tanklarından, kok fırınlarından ve baskı ofislerinden yayılan gazlarda bulunur. Kimyasal işlemlerde bir çözücü olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek toksisiteye ve kanserojeniteye sahiptir. Bu sebeple birçok araştırmacı çeşitli sistemler kullanarak benzenin giderilmesine odaklanmıştır [1]. UOB'lerin uzaklaştırılması için yoğunlaşma, termal oksidasyon, katalitik oksidasyon, biyofiltrasyon, absorpsiyon ve adsorpsiyon gibi bir dizi teknik geliştirilmiştir. Bu teknikler arasında, adsorpsiyon süreci, daha düşük enerji ve daha ucuz işletme maliyetleri nedeniyle kanıtlanmış, güvenilir bir alternatif ve daha avantajlı bir teknolojidir [2- 4].

Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan selülozik maddeler çeşitli doğal kaynaklardan kolaylıkla elde edilebilmektedir ve ucuz adsorbentler olarak kullanılabilir. Doğal polimerler arasında selüloz, hem akademik hem de endüstriyel araştırmalarda yaygın olarak incelenen dünyanın en bol ve yenilenebilir polimerlerinden biridir. Selüloz, temiz ve etkileyici biyopolimer malzemeler üretmek için çeşitli fonksiyonel grupların birleştirilmesiyle etkili bir destek olarak kullanılabilen biyolojik olarak bozunur bir malzemedir. Zeytin çekirdeği, ana bileşenleri hemiselüloz, selüloz ve lignin olan lignoselülozik bir tarımsal atıktır. Bu çalışmada kullanılan selüloz Derik Halhali zeytin çekirdeğinden elde edilmiştir. Zeytin, Akdeniz ülkeleri için en popüler endüstridir. Türkiye, İspanya'dan sonra zeytin ağaçlarına sahip olmada ikinci sıradadır. Derik ilçesi (Mardin ili -TÜRKİYE) önemli bir zeytin yetiştirme alanıdır ve zeytin ağaçlarının anavatanıdır. Derik Halhali zeytini, Derik ilçesinde yetiştirilen altı zeytin çeşidinden (Derik Halhali, Belluti, Hursuki, Mavi, Melkabazi ve Zoncuk) biridir. Yüksek verime sahiptir ve genellikle sofralık zeytin olarak işlenir. Derik Halhali zeytini ekili zeytin çeşitleri arasında en belirgin DNA profiline sahip, en fazla sayıda yeni allel içeren benzersiz ve potansiyel olarak agronomik, morfolojik, fenolojik, pomolojik ve kimyasal özellikleri diğer zeytin türlerinden farklı bir zeytin çeşididir. Derik halhali zeytini, üzerinde son zamanlarda başlayan artan rağbetle araştırmaya yapılan önemli bir zeytin türüdür [5- 8]. Zeytin farmasötik ve nutrasötik özelliklere sahip bir üründür. Zeytinyağı, hayvan yemi, gübre, biyoyakıt gibi sanayinin ilgili pek çok alanında çok değerli doğal bir ürün olmasının yanında bulunabilirliği oldukça ucuz ve boldur. Lignoselülozik matriks, kimyasal işlevselleştirme için bol miktarda reaktif hidroksil grubuna sahiptir. Ayrıca, kimyasal olarak modifiye edilmiş selüloz, saf formundan daha yüksek adsorpsiyon kapasitesi sergilemektedir [9, 10].

Manyetik malzemeler içinde ferromagnetik oksit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), kolay hazırlanması, düşük maliyetli olması, çevre dostu olması ve iyi manyetik özelliğe sahip olması nedeniyle çok geniş yelpazedeki uygulamalar için iyi bir potansiyel sergilemektedir. Bununla beraber selülozün yüzeyindeki hidroksil grupları sayesinde Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile hidrojen bağı yaparak manyetik destekli selülozik malzemeler üretilmekte ve endüstriyel proseslerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin avantajları, iyi stabilite, düşük maliyetli, yüksek verimli, geri kazanım kolaylığı, etkin adsorpsiyon kapasitesi ve iyi manyetik özelliğe sahip olmalarıdır [11]. Diğer nano malzemelerle karşılaştırıldığında, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nano-adsorbentin

daha avantajlı ((i) kullanımını ve hazırlanması kolay ve ekonomik; (ii) çok yönlü işlevselleşebilme imkânı ve (iii) harici bir manyetik alan vasıtasıyla geri kazanımı kolay olması) olduğu bilinmektedir [12]. Çok yönlü işlevselleşebilme imkânı bulunan  $Fe_3O_4$ , toksik olmadığından adsorbent açısından yaygın olarak araştırılmaktadır. Bu bileşik, yüksek verim ve iyi atom ekonomisi ile birlikte çöktürme yöntemi ile hazırlanmaktadır. Manyetik nano-adsorbent olarak  $Fe_3O_4$ , özellikle giderimlerde diğer adsorbentlerden daha iyi bir performans göstermektedir. Bunun yanı sıra,  $Fe_3O_4$ , çok sayıda aktif bölge üreten yüksek ortalama gözenek çapı, gözenek hacmi ve yüzey alanı gibi son derece mükemmel fiziksel özelliklere sahiptir, bu da onu yüksek seçicilik, afinite ve kapasiteye sahip nano-adsorbent olarak endüstriyel uygulamalar için rağbet edilen önemli bir malzeme haline getirmiştir. Bununla birlikte,  $Fe_3O_4$  hazırlanırken gerçekleşen aglomerasyon olayı adsorpsiyon aktif bölgelerinde azalmaya neden olmaktadır. Organik veya inorganik yüzey aktif cisimleri ile kaplama, parçacık yığılmasını önlemenin bir yoludur.  $Fe_3O_4$  nano-adsorbentin fonksiyonel gruplar işlevselleştirilmesi hem aglomerasyonu azaltmakta hem de adsorpsiyon için yeni aktif bölgeler sağlamaktadır [13- 15].

Bu çalışmada, Derik halhalı zeytin çekirdeğinden elde edilen doğal selüloz (DS) ile modifiye edilmiş çevre dostu manyetik  $Fe_3O_4$  ( $Fe_3O_4/DS$ ) nano-adsorbenti elde edildi. Yüksek adsorpsiyon kapasiteli ve düşük maliyetli bu nano-adsorbent benzen arıtma teknolojisinde kullanıldı. Benzenin adsorpsiyon prosesini aydınlatmak için kinetik ve izoterm çalışmaları yapıldı. Ayrıca, başarıyla sentezlenen nano-adsorbentin uygulama potansiyelini değerlendirmek için ardışık beş yeniden kullanılabilirlik testi gerçekleştirildi.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kimyasallar ve Reaktanlar

Benzen Sigma Aldrich'ten, demir (III) klorür heksahidrat ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) MERCK Chemical Company'den, demir (II) klorür tetrahidrat ( $FeCl_2 \cdot 4H_2O$ ) ALFA AESAR Chemical Company'den temin edildi. Bu çalışmada kullanılan kimyasallar ve çözücüler analitik saflıktadır. DS kaynağı, Derik halhalı zeytin çekirdeğinin öğütülmesinden elde edildi.

### 2.2. Manyetik Nano-Adsorbentin Sentezlenmesi

Demir tuzlarının ileri derecede yükseltgenmesini önlemek için  $N_2$  atmosferinde 0.35 g DS kaynağı 10 mL oksijeni giderilmiş damıtılmış su içerisinde 30 dakika boyunca 1000 rpm'de karıştırıldı. Karışımın üzerine  $Fe/DS$  stokiometrik oranı 1:1 olması için  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  (940 mg, 4 mmol) ve  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$  (390 mg, 2 mmol) eklenip 30 dakika boyunca 1000 rpm'de karışmasına  $70^\circ C$  sıcaklıkta devam edildi. Bu çözelti üzerine 5 mL  $NH_3$  eklenerek siyah  $Fe_3O_4/DS$  parçacıkları oluşturuldu. 30 dakika sonra mıknatıs kullanılarak manyetik olarak parçacıklar çözeltiden ayrıldı. Parçacıkları reaksiyona girmemiş kimyasallardan arındırmak için deiyonize su ve etil alkol kullanılarak 5 kez yıkandı. Elde edilen manyetik  $Fe_3O_4/DS$  parçacıkları 10 saat boyunca  $60^\circ C$ 'de etüvde kurutuldu [16].

### 2.3. Karakterizasyon

Sentezlenen manyetik  $Fe_3O_4/DS$  partikülleri, farklı spektroskopik yöntemlerle karakterize edildi. Sırasıyla taramalı elektron mikroskopu (SEM) görüntüleri ve enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) ölçümleri gibi yüzey karakterizasyonları için bir JEOL/JSM-6610 ve OXFORD Instruments/INCA X-Act kullanıldı. Fourier transform kızılötesi spektroskopisi (FTIR) spektrumları, bir Perkin Elmer 100 FTIR spektrometresi ile kaydedildi. Brunauer-Emmett-Teller (BET) yöntemine göre manyetik  $Fe_3O_4/DS$  parçacıkların gözenek boyutu dağılımını ölçmek için bir QUAN-TACHROME cihazı kullanıldı.

### 2.4. Gaz Halindeki Benzenin Manyetik $Fe_3O_4/DS$ Nano-Adsorbenti Üzerine Adsorpsiyon Prosesi

Adsorpsiyon ölçümleri için kullanılan aparat ve prosedür, daha önce yayınlanmış çalışmada verilmiştir [17]. Gaz halindeki benzenin manyetik  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyon ölçümleri,

atmosfer basıncı altında gerçekleştirildi. Adsorpsiyon deneylerinde, giriş konsantrasyon değerleri ( $C_{in}$ , ppm) sabit tutularak adsorpsiyon kolonu boyunca gaz halindeki benzenin akışı sağlandı. Benzenin adsorpsiyonu için, adsorpsiyon kolonunun çıkışındaki benzenin çıkış konsantrasyon ( $C_{out}$ , ppm) değerleri giriş konsantrasyon değerlerine ulaştığında sabit-yatak doygunluğu elde edildi. Adsorpsiyon prosesleri sırasında giriş ve çıkış konsantrasyonlarını ölçmek için bir alev iyonizasyon dedektörü (FID) ile donatılmış bir gaz kromatografi (GC) cihazı (Buck Scientific, GC-910) kullanıldı. Adsorpsiyon deneyleri, 100 mL/min besleme akış hızında (F) gerçekleştirildi. Her adsorpsiyon ve desorpsiyon testi için 100 mg  $Fe_3O_4/DS$  (m) kullanıldı. Dinamik adsorpsiyon kapasiteleri atmosferik basınç altında ölçüldü. Adsorpsiyon prosesi dengeye ulaştıktan sonra,  $Fe_3O_4/DS$  üzerinden temizleme gazı olarak  $N_2$  geçirilerek 120 dakika temas süresi (t) için gaz halindeki benzenin desorpsiyonu sağlandı. Tekrarlanabilirlik testleri için adsorpsiyon ve desorpsiyon deneylerinde  $Fe_3O_4/DS$  ardışık 5 döngü için kullanıldı. Adsorpsiyon kapasitesi (q, mg/g), denge anında gaz halindeki benzenin giriş ve çıkış konsantrasyonları arasındaki değer farkı kullanılarak Eşitlik (1) ile hesaplandı [18].

$$q = \frac{F}{m} \left( C_{in}t - \int_0^t C_{out} dt \right) \quad (1)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Manyetik $Fe_3O_4/DS$ Nano-Adsorbent'in Hazırlanması ve Karakterizasyonu

Geleneksel adsorbentlere karşın manyetik nano-adsorbentler, geniş yüzey alanı ve yüksek spesifik afiniteleri, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, yüksek yeniden kullanılabilirlikleri, oda sıcaklığında sentezlenmeleri, ekonomiklikleri, ekoloji dostu olmaları, süper manyetizmaları, kuantum hapsedme davranışları gibi benzersiz fiziko-kimyasal özellikleri sebebiyle adsorpsiyon işlemlerinde üstün ve sürdürülebilir avantajlar sağlamaktadır [19].

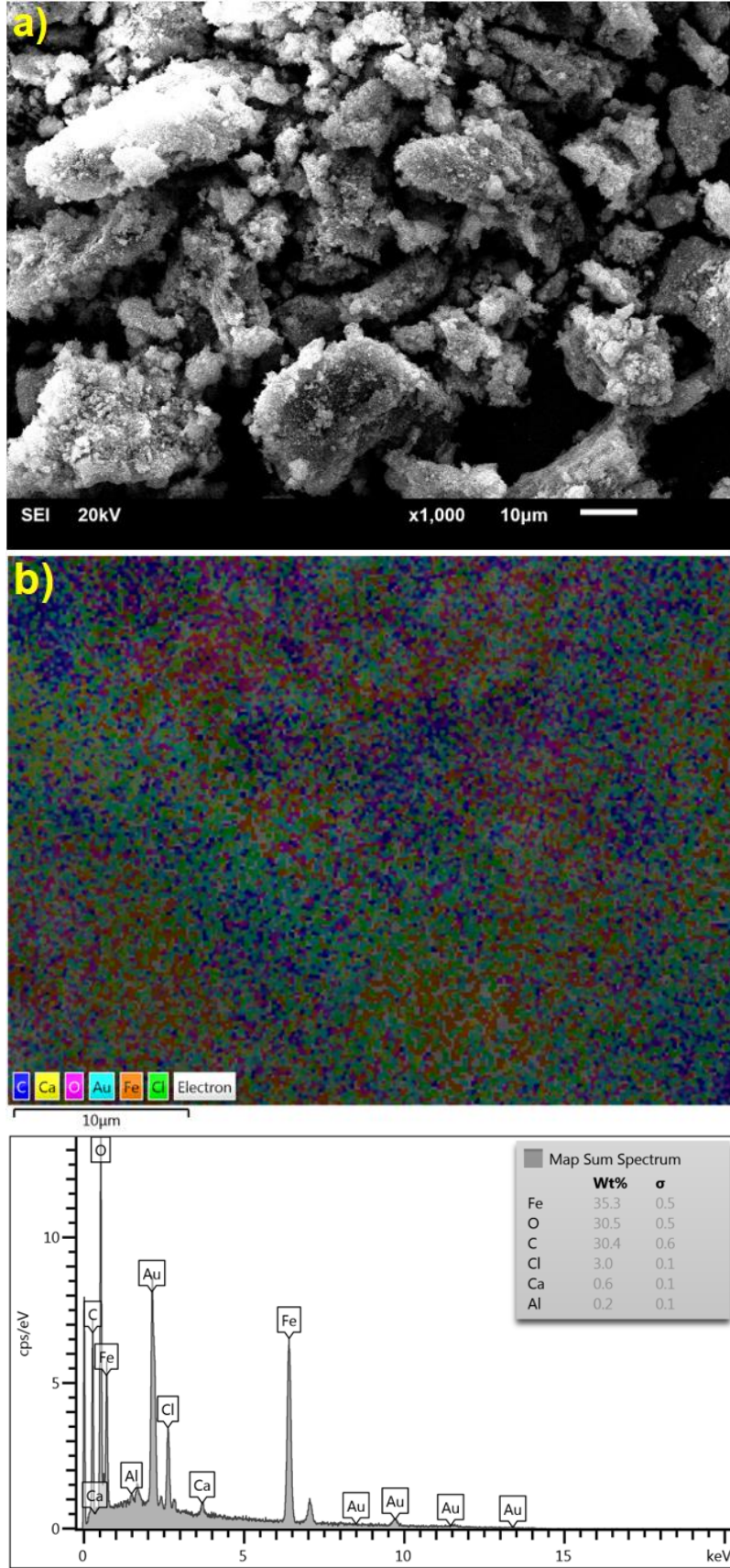
Bu çalışmada, gaz halindeki benzenin adsorpsiyon prosesini incelemek için manyetik  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbent'i birlikte çöktürme yöntemiyle hazırlandı. Hazırlanan  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbent'in karakterizasyonu SEM-EDX, BET ve FTIR gibi farklı spektroskopik yöntemler kullanılarak yapıldı.

Manyetik  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbent'in morfolojisini incelemek için elde edilen SEM görüntüsü Şekil 1a'da gösterilmektedir. Odunumsu çıkıntılar gibi görünen parçacıklar  $Fe_3O_4$ 'tür. Doğal selülozün (ışığın açısına göre beyaz ve gri)  $Fe_3O_4$ 'ü kapladığı görülmektedir.  $Fe_3O_4/DS$ 'ün düzgün ve homojen bir yüzey morfolojisinin olduğu açıktır. Gözenekler ve boşluklar belirgin olup yüzeyin pürüzlü olması adsorpsiyon aktif sahalarını göstermektedir. Gözenekler, boşluklar ve pürüzlü yüzey adsorpsiyon kapasitesinin artması için avantaj olmuştur. Şekil 1b'deki dağılım haritasından Fe elementinin  $Fe_3O_4/DS$  parçacıkları içinde düzgün bir şekilde dağıldığı görülmektedir. Ayrıca,  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbent'in hem homojenliği hem de hapsolünmasının iyi olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 1b'de sunulan EDS kullanılarak  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbent'in karakterizasyonu yapıldı. EDS spektrumunda, Fe, O ve C'nun güçlü pikleri görülmektedir. Birlikte çökelme yöntemiyle sentezlenen  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbent'in bileşenlerinin oranı EDS grafiğinde gösterilmektedir. Bu sonuçlar sentez sonuçlarının saflığını işaret etmektedir [8].

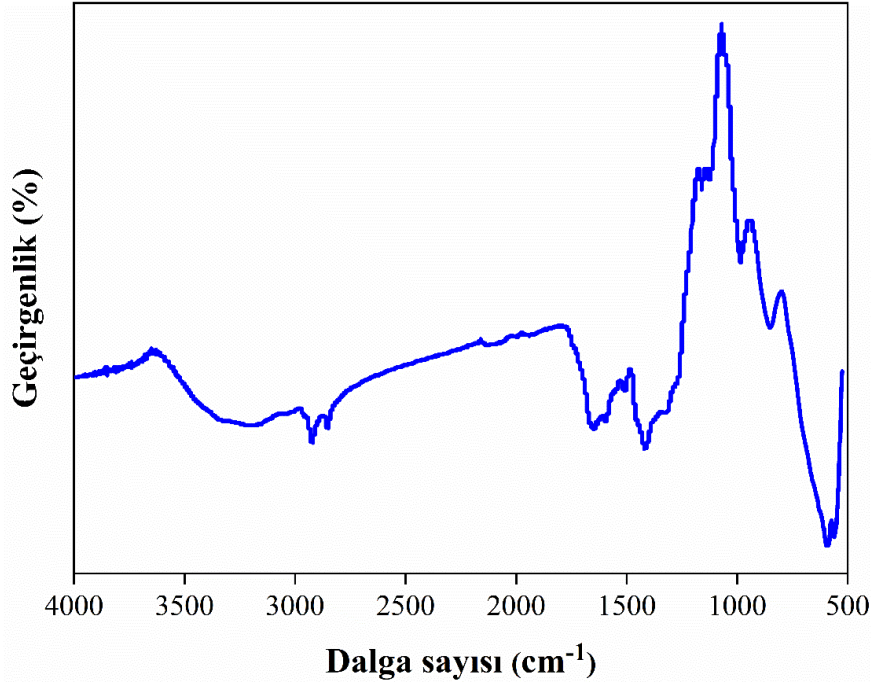
Manyetik  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbent'i için BET teorisi esas alınarak hesaplanan spesifik yüzey alanı, toplam gözenek hacmi ve ortalama gözenek çapı değerleri sırasıyla 25,052 m<sup>2</sup>/g, 0,267 cm<sup>3</sup>/g ve 21,282 nm olarak belirlendi. Gözenekler IUPAC sınıflandırmasına göre, üç tipe (makro gözenekler (d > 50 nm, mezoporlar (2 < d < 50 nm, mikro gözenekler (d < 2 nm)) ayrılmaktadır. BJH yöntemine göre hesaplanan gözenek boyutu dağılımı bulguları gözenek çapının mezopoz aralığında olduğunu gösterdi.

Şekil 2'de sunulan manyetik  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbent'in FTIR spektrumlarına göre, 582 cm<sup>-1</sup>'deki pik, Fe-O grubunun bükülme titreşimlerine aittir. 839 cm<sup>-1</sup>'de elde edilen pik, C-H bağının bükülme titreşiminden kaynaklanmaktadır. 982 cm<sup>-1</sup>'deki pik, C-O grubunun eğilme titreşimlerine aittir. 1150 cm<sup>-1</sup>'deki pik, C-O antisimetrik gerilmesine aittir. 1400 cm<sup>-1</sup>'de görülen pik, C-H eğilme titreşimine aittir. 1620 cm<sup>-1</sup>'de görülen pik, emilen suyun H-O-H bükülmesinden kaynaklanır. 2910 cm<sup>-1</sup>'deki pik, C-H gerilme titreşim pikine aittir. 3250 cm<sup>-1</sup>'de görülen pik, -OH grubunun gerilme titreşim pikine aittir. Elde edilen pikler literatürle [20] uyumludur.





Şekil 1. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbentin SEM görüntüsü (a) ve EDS haritalaması (b)



Şekil 2. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbentin FTIR spektrumları

### 3.2. Gaz Halindeki Benzenin Adsorpsiyon Kapasitesine Proses Parametrelerinin Etkilerinin Değerlendirilmesi

Gaz halindeki benzenin manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyonda, benzen başlangıç konsantrasyonu (5-20 ppm), adsorbent miktarı (25-150 mg), temas süresi (30-120 dakika) ve adsorpsiyon sıcaklığı (25-40°C) gibi farklı parametrelerin etkileri incelendi.

Temas süresi parametresinin gaz halindeki benzenin adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisini gösteren Şekil 3'te görüldüğü üzere, artan temas süresi ile birlikte adsorpsiyon kapasitesi de artmış ve 90 dakikadan sonra dengeye ulaşmıştır. Ortaya çıkan bu sonuç, benzen adsorpsiyon kapasitesinin temas süresine bağlı olduğunu göstermektedir. Burada, yüksek adsorpsiyon kapasitesi değerleri için temas süresinin, optimum noktayı temsil eden yüksek değerlerinin gerekli olduğu gözlenebilir. Ayrıca, optimum temas süresi değerinden sonra adsorpsiyon kapasitesinde önemli bir değişim olmadığı ve maksimum noktaya ulaşıldığı belirlenmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi değerine belli bir temas süresinden sonra ulaşılmasının muhtemel nedeni, mevcut spesifik yüzey alanı ve adsorbent yüzeyindeki aktif bölgelerin sabit olmasıdır [21].

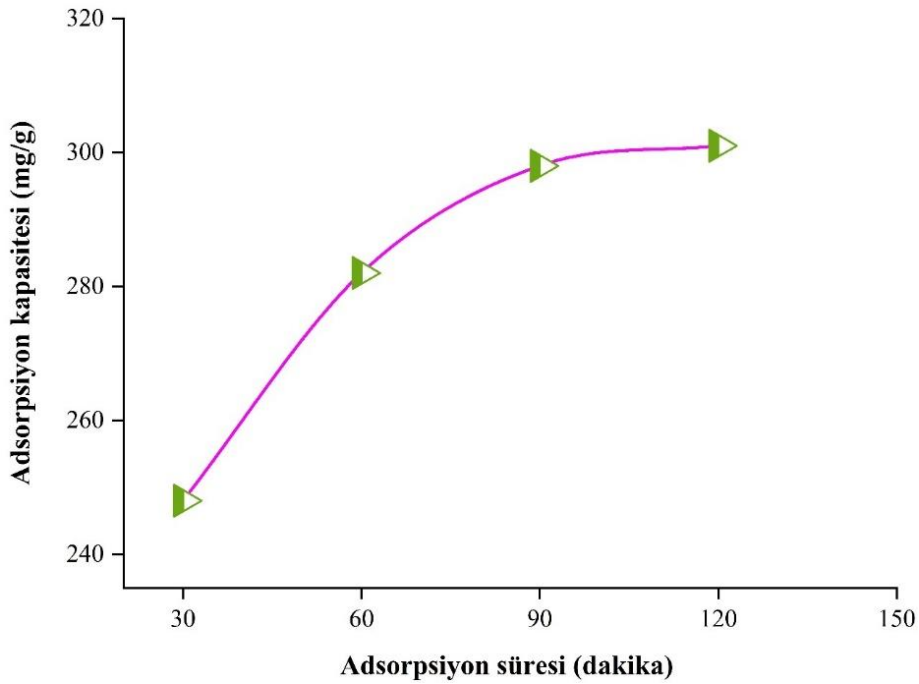
Adsorbent miktarının gaz halindeki benzenin adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisini temsil eden Şekil 4'te, adsorbent miktarının 25 mg değerinden 100 mg değerine çıkarılması ile birlikte adsorpsiyon kapasitesinin de arttığı görülmektedir. Ancak 100 mg değerinden sonra adsorpsiyon kapasitesinin önemli derecede azaldığı görülmektedir. Ortaya çıkan bu sonuç, benzen adsorpsiyon kapasitesinin uygun miktarda adsorbent kullanımına bağlı olduğunu göstermektedir. Bu açıdan optimum adsorbent miktarının belirlenmesi adsorpsiyon prosesleri için kritik öneme sahiptir. Bu sonucun muhtemel nedenleri olarak; adsorbent miktarının artması ile kullanılabilir aktif bölge sayısının artması ve bu bölgelerin doymadan kalması, gaz halindeki benzen ve adsorbent yüzeyindeki aktif bölge oranının artması, ortamda yeteri kadar benzen iyonlarının bulunmaması gösterilebilir [17]. Bu çalışmada, maksimum adsorpsiyon kapasitesine karşılık gelen optimum adsorbent miktarı 100 mg'dır.

Başlangıç konsantrasyonunun gaz halindeki benzenin adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisini temsil eden Şekil 5'te görüldüğü gibi, benzenin artan başlangıç konsantrasyonu ile birlikte adsorpsiyon kapasitesi de artmış ve 15 ppm'den sonra dengeye ulaşmıştır. Ortaya çıkan bu sonuç, benzen adsorpsiyon kapasitesinin başlangıç konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermektedir. Adsorbentlerin aktif yüzey alanlarının sabit olması nedeniyle, optimum başlangıç konsantrasyonu değerinden daha

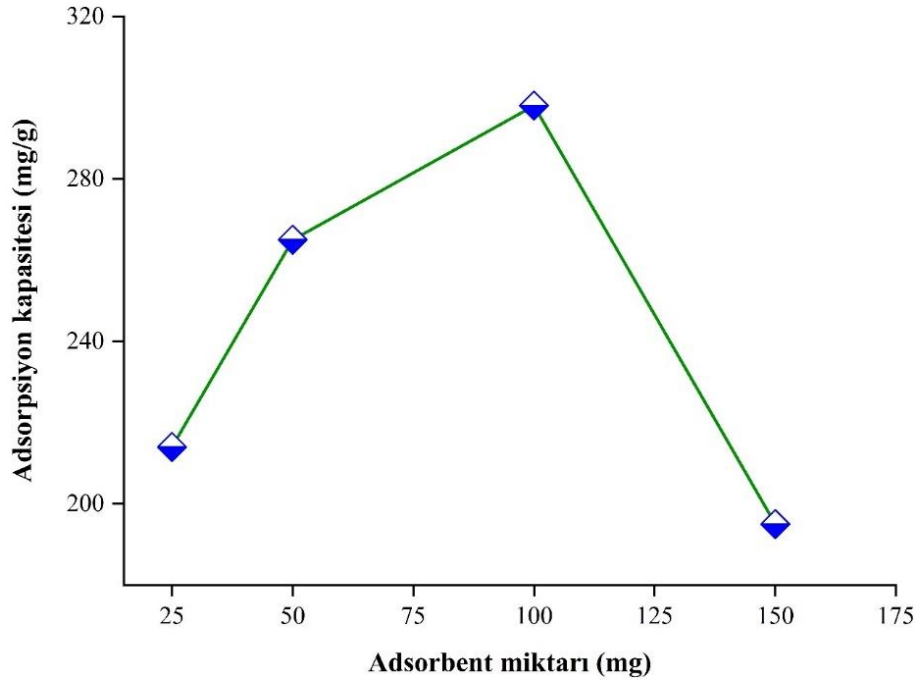


yüksek değerler için söz konusu yüzey doygunluğa ulaşır böylece adsorpsiyon kapasitesinde önemli sayılabilecek bir değişim gözlenmez [14, 15, 22, 23].

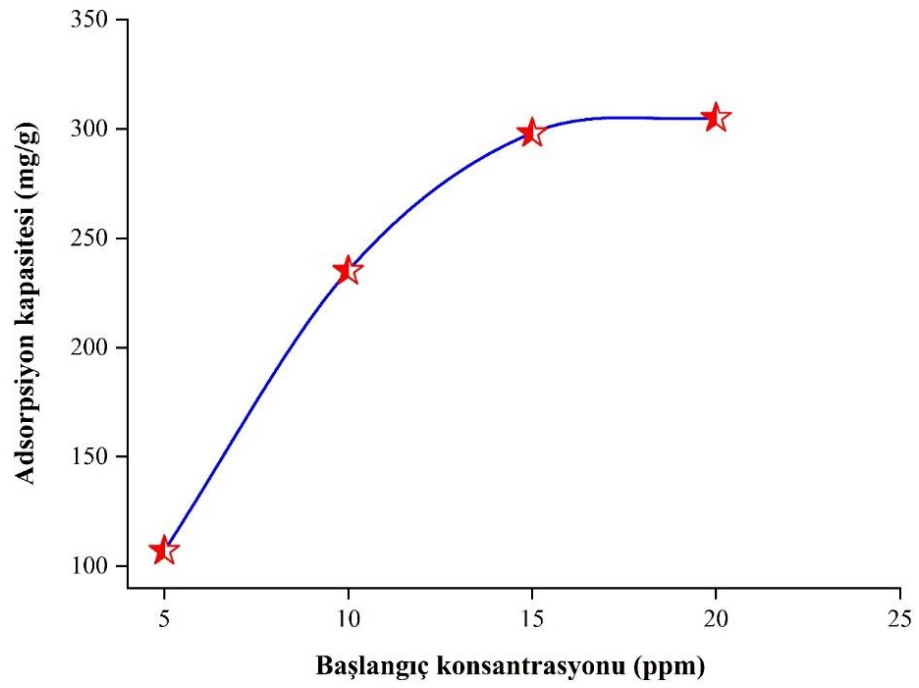
Şekil 6, adsorpsiyon sıcaklığının gaz halindeki benzenin adsorpsiyon kapasitesi üzerindeki etkisini göstermektedir. Burada, sıcaklıktaki artışla birlikte, adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı görülmektedir. Adsorpsiyon kapasitesinin, daha düşük adsorpsiyon sıcaklıklarında daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu sonuçlar, çoğu gözenekli adsorbentler için, UOB'lerin adsorpsiyonunun esas olarak adsorpsiyon sıcaklığının önemli bir rol oynadığı fiziksel ekzotermik etkileşime bağlı olduğu gerçeğine atfedilebilir [24, 25]. Genel olarak, UOB'lerin adsorpsiyonu, adsorpsiyon sıcaklığının yükselmesiyle azalır. Bununla ilgili olarak, adsorpsiyon sıcaklığı 20°C'den 60°C'ye arttırıldığında, CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> ve CH<sub>3</sub>I'nin adsorpsiyon kapasitelerinin sırasıyla %46.2 ve %47.4 azaldığı gösterilmiştir [26]. Toluen, aseton ve bazı alkan, keton ve aromatik bileşiklerin buharlarının adsorpsiyonunda da benzer sonuçlar gözlemlendiği bildirilmiştir [27, 28]. Ayrıca, farklı tip adsorbentler ile yapılan çalışmalarda da sıcaklıkla benzer varyasyon eğilimlerinin görüldüğü ifade edilmiştir [13, 29, 30].



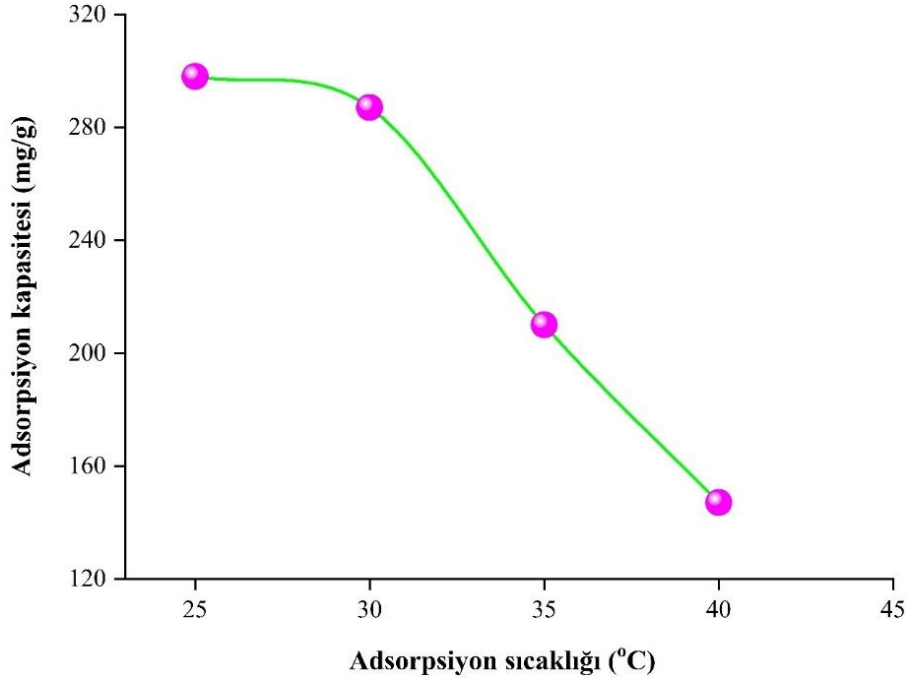
Şekil 3. Temas süresinin adsorpsiyon kapasitesine etkisi



Şekil 4. Adsorbent miktarının adsorpsiyon kapasitesine etkisi



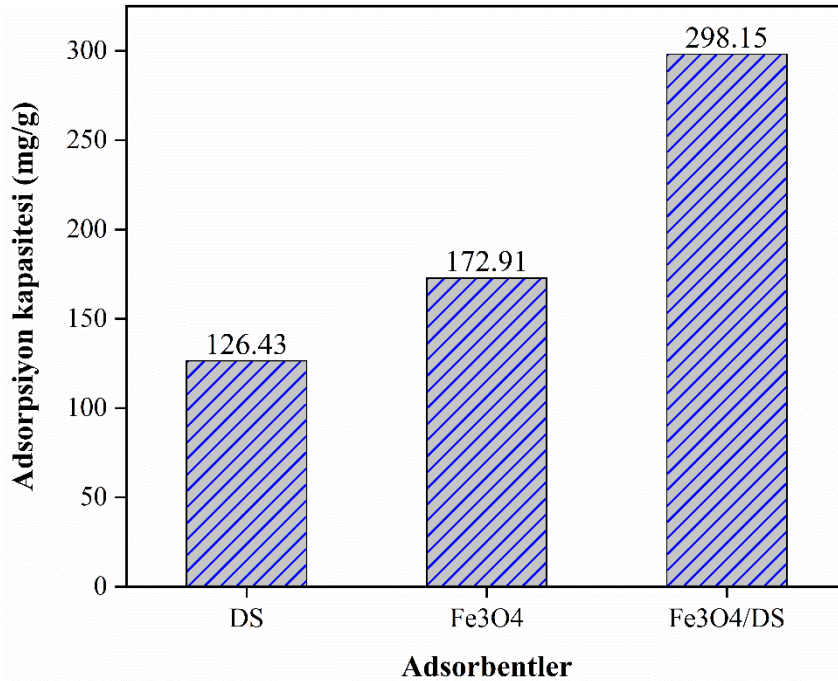
Şekil 5. Benzen başlangıç konsantrasyonunun adsorpsiyon kapasitesine etkisi



Şekil 6. Sıcaklığın adsorpsiyon kapasitesine etkisi

### 3.3. Gaz Halindeki Benzen için DS, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS Adsorbentlerinin Adsorpsiyon Performansı

Bu etapta, optimum proses koşulları olan 90 dakika temas süresi, 100 mg adsorbent miktarı, 15 ppm benzen giriş konsantrasyonu ve 25°C adsorpsiyon sıcaklığı altında gaz halindeki benzen için DS, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS adsorbentlerinin adsorpsiyon kapasiteleri kıyaslandı ve elde edilen sonuçlar Şekil 7’de gösterilmektedir. DS, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS adsorbentleri için adsorpsiyon kapasitesinin sırasıyla 126.43, 172.91 ve 298.15 mg/g olduğu gözlemlendi. Bu durum, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>’ün DS ile modifiye edilmesinin, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbentinin gaz halindeki benzen için adsorpsiyon kapasitesini önemli ölçüde artırabileceğini göstermektedir.



Şekil 7. Gaz halindeki benzen için DS, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS adsorbentlerinin adsorpsiyon kapasitelerinin kıyaslanması

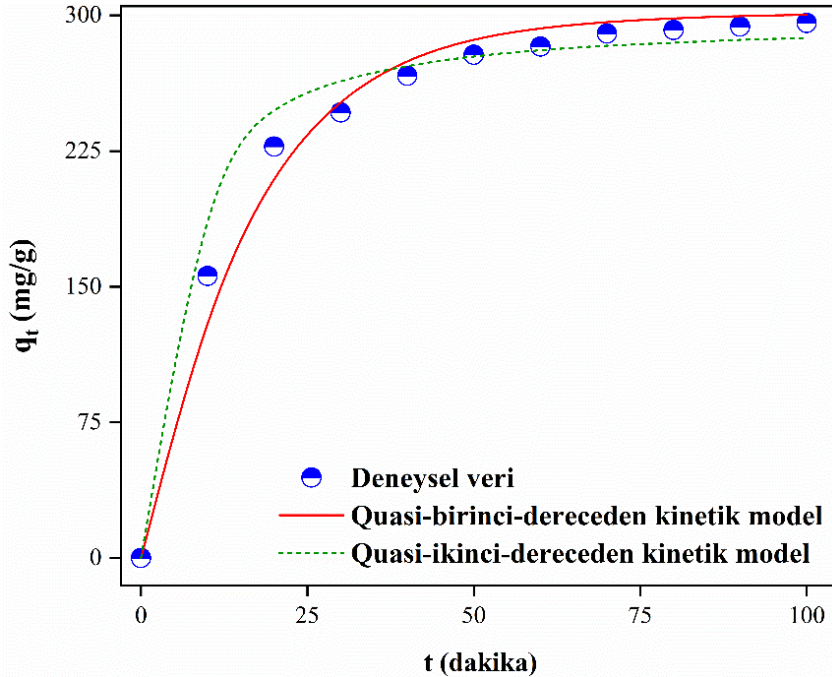
### 3.4. Gaz Halindeki Benzenin Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS Nano-Adsorbenti Üzerine Adsorpsiyon Kinetiği

Yararlı bir adsorpsiyon işlemi gerçekleştirmek için devam eden adsorpsiyon işleminin kinetiklerini tahmin etmek gereklidir. Literatürde bu amaçla bir dizi kinetik model çalışılmıştır. Önerilen kinetik modeller arasında, adsorpsiyon kinetiğini ve adsorbent-adsorbat etkileşimini daha basit tanımlayan Quasi-birinci-dereceden ve Quasi-ikinci-dereceden kinetik modelleri yaygın şekilde uygulanmaktadır [31, 32]. Quasi-birinci-dereceden kinetik model, başlangıçta adsorban yüzeyinde hiçbir kirletici (adsorbat) iyonunun bulunmadığını varsayarken, zaman geçtikçe adsorbatın adsorbent yüzeyini işgal ettiğini varsayar. Quasi-ikinci-dereceden kinetik model ise, adsorpsiyon sisteminin adsorpsiyon denge kapasitesine dayanmaktadır. Adsorbent adsorpsiyon kapasitesinin yüzeyde kullanılmayan site sayısı ile ilgili olduğunu varsayar [33]. Gaz halindeki benzenin manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyon mekanizması, deneysel adsorpsiyon verilerine Quasi-birinci-dereceden ve Quasi-ikinci-dereceden kinetik modellerin uydurulması ile açıklığa kavuşturuldu. Bu kinetik modellerin non-lineer formları sırasıyla Eşitlikler (2) ve (3) ile verilmektedir.

$$q_t = q_e(1 - e^{-k_1 t}) \quad (2)$$

$$q_t = \frac{k_2 q_e^2 t}{1 + k_2 q_e t} \quad (3)$$

Bu eşitliklerde,  $q_e$  (mg/g),  $q_t$  (mg/g),  $k_1$  (1/dakika) ve  $k_2$  (g/dakika/mg) sırasıyla, dengede adsorpsiyon kapasitesini,  $t$  (dakika) zamanında adsorpsiyon kapasitesini, Quasi-birinci-dereceden kinetik modelin hız sabitini ve Quasi-ikinci-dereceden kinetik modelin hız sabitini tanımlamaktadır.



Şekil 8. Gaz halindeki benzenin manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyonu için uydurulan kinetik modeller

Gaz halindeki benzenin manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyon prosesinin kinetik değerlendirmesi için, Quasi-birinci-dereceden ve Quasi-ikinci-dereceden kinetik modelleri optimum proses koşulları olan 100 mg adsorbent miktarı, 15 ppm giriş konsantrasyonu, 25°C adsorpsiyon sıcaklığı ve farklı temas süreleri (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 dakika) altında elde edilen deneysel verilere uyduruldu. Kinetik modelleri için uydurulan grafik Şekil 8'de

gösterilmektedir. En küçük kareler regresyonu ile hesaplanan kinetik model sabitlerinin ve uydurma verilerinin özeti Tablo 1’de listelenmektedir. Tablo 1 ve Şekil 8 verileri çerçevesinde, Quasi-birinci-dereceden kinetik modelin  $R^2$  değerleri Quasi-ikinci-dereceden kinetik modelin değerlerine göre daha yüksektir, ayrıca hesaplanan denge adsorpsiyon kapasitesi değerleri deneysel sonuçlara daha yakındır, bu bulgular gaz halindeki benzenin adsorpsiyon prosesinin Quasi-birinci-dereceden kinetik model ile daha iyi tanımlandığını göstermektedir. Ek olarak, Quasi-birinci-dereceden kinetik modeli takip eden gaz halindeki benzenin  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyon prosesleri fiziksel adsorpsiyon mekanizmasını işaret etmektedir [34].

**Tablo 1.** Gaz halindeki benzenin manyetik  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyonu için lineer olmayan Quasi-birinci-dereceden ve Quasi-ikinci-dereceden kinetik model sabitlerinin özeti ve bunların uydurma verileri

Kinetik modeller	Parametreler	Değerler
Quasi-birinci-dereceden	$q_e$ (mg/g)	283.10
	$k_1$ (1/dakika)	0.057
	$R^2$	0.995
Quasi-ikinci-dereceden	$q_e$ (mg/g)	280.12
	$k_2$ (g/mg/dakika)	$5.36 \times 10^{-4}$
	$R^2$	0.958

### 3.5. Gaz Halindeki Benzenin Manyetik $Fe_3O_4/DS$ Nano-Adsorbenti Üzerine Adsorpsiyon İzotermi

Gaz halindeki benzenin manyetik  $Fe_3O_4/DS$  nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyon denge mekanizmasını tanımlamak için Langmuir, Freundlich ve Dubinin-Radushkevich izoterm modelleri uygulandı. Langmuir izoterm modeli, adsorbanın sınırlı sayıda adsorpsiyon bölgesi içeren tek tabakalı yüzeyde adsorpsiyonun gerçekleştiğini bu yüzeyde başka adsorpsiyon olmadığını varsayar. Yüzeyin maksimum adsorpsiyonu, yüzey doygunluğa ulaştığında elde edilebilir. Adsorpsiyon bölgelerinin enerjide eşdeğer tek tip bir yapı olduğunu, maksimum adsorpsiyonun yüzey doygunluğa ulaştığında elde edildiğini ifade eder. Freundlich izoterm modeli, adsorbe edilmiş moleküller ile etkileşime giren heterojen yüzeydeki adsorpsiyon tipini gösterdiğini ifade eder. Adsorpsiyon enerjisi, polimerin adsorpsiyon merkezine göre katlanarak azaldığını, tersinir adsorpsiyonun böylelikle tamamlandığını ve bir tek tabakanın oluşumu ile sınırlı olmadığını varsayar [35]. Dubinin-Radushkevich izotermi, başlangıçta gözenek doldurma mekanizmasının ardından subkritik buharların mikro gözenekli katılara adsorbe edilmesi için tasarlanan ampirik bir modeldir. Genellikle heterojen bir yüzeye Gauss enerji dağılımı ile adsorpsiyon mekanizmasını ifade etmek için uygulanır. Yaklaşım genellikle fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonu ayırt etmek için uygulanmaktadır [36]. Uygulanan izoterm modellerin non-lineer formları sırasıyla Eşitlikler (4), (5) ve (6-8) ile verilmektedir.

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (4)$$

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (5)$$

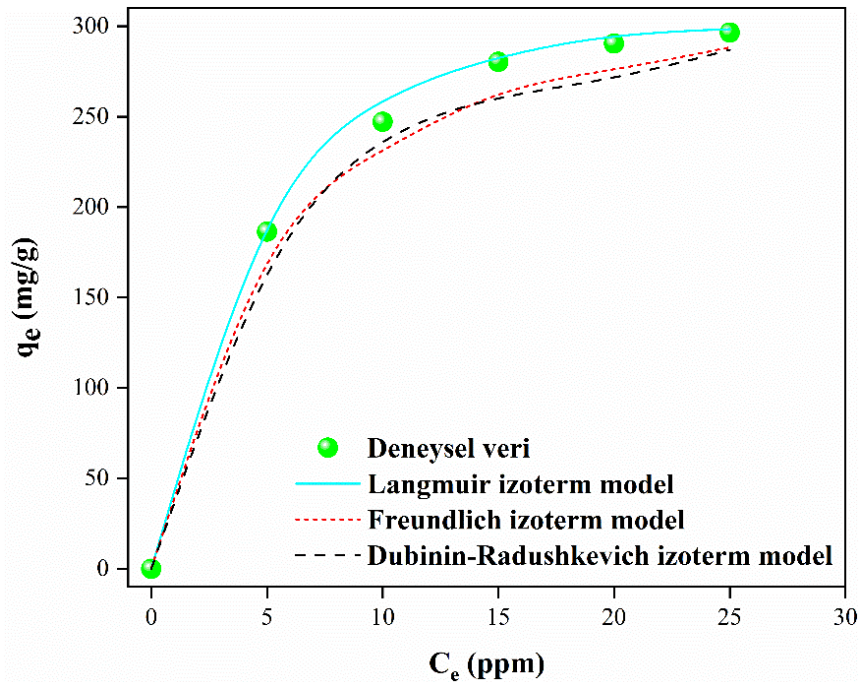
$$q_e = q_s \exp(-\beta \varepsilon^2) \quad (6)$$

$$\varepsilon = RT \ln \left( 1 + \frac{1}{C_e} \right) \quad (7)$$

$$E = \frac{1}{\sqrt{2\beta}} \quad (8)$$

Bu eşitliklerde,  $K_L$  (L/mg),  $C_e$  (mg/L),  $q_m$  (mg/g),  $q_e$  (mg/g),  $K_f$  (mg/g)(L/mg)<sup>1/n</sup>,  $n$ ,  $q_s$  (mg/g),  $\beta$  (mol<sup>2</sup>/kJ),  $\varepsilon$  (J/mol),  $R$  (kJ/mol/K),  $T$  (K) ve  $E$  (kJ/mol) sırasıyla Langmuir model sabitini, gaz halindeki benzenin denge konsantrasyonunu, maksimum tek katmanlı adsorpsiyon kapasitesini, dengedeki adsorpsiyon kapasitesini, Freundlich model sabitini, adsorpsiyon yoğunluğu ile ilgili Freundlich model sabitini, maksimum adsorpsiyon kapasitesini, adsorpsiyon enerjisine bağlı aktivite katsayısı sabitini, Polanyi adsorpsiyon potansiyelini, ideal gaz sabitini, mutlak sıcaklığı ve ortalama serbest adsorpsiyon enerjisini tanımlamaktadır [37].

Gaz halindeki benzenin manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyon prosesinin denge mekanizmasını değerlendirmek için, izoterm modelleri optimum proses koşulları olan 90 dakika temas süresi, 100 mg adsorbent miktarı, 25°C adsorpsiyon sıcaklığı ve farklı giriş konsantrasyonları (5, 10, 15, 20 ve 25 ppm) altında elde edilen deneysel verilere uyduruldu. İzoterm modellerin uydurulan temsili grafiği Şekil 9'da gösterilmektedir. En küçük kareler regresyonu ile hesaplanan izoterm model sabitlerinin ve uydurma verilerinin özeti Tablo 2'de listelenmektedir. Tablo 2 ve Şekil 9 verileri esas alındığında, diğer modellere kıyasla Langmuir modeli deneysel verileri daha iyi tanımlamaktadır. Bu çalışmada, gaz halindeki benzen için 2.12 olarak hesaplanan  $n$  değeri (Freundlich model sabiti), adsorpsiyon prosesinin elverişli olduğunu işaret etmektedir [38]. Bunun yanı sıra, 1'den büyük  $n$  değeri adsorpsiyon prosesinin fiziksel olduğunu ifade etmektedir [39]. Ayrıca, gaz halindeki benzen için 1.74 kJ/mol olarak hesaplanan  $E$  değeri (Dubinin-Radushkevich model sabiti) adsorpsiyon prosesinin fiziksel etkileşim mekanizması üzerinden gerçekleştiğini işaret etmektedir [37].



Şekil 9. Gaz halindeki benzenin manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyonu için uydurulan izoterm modeller

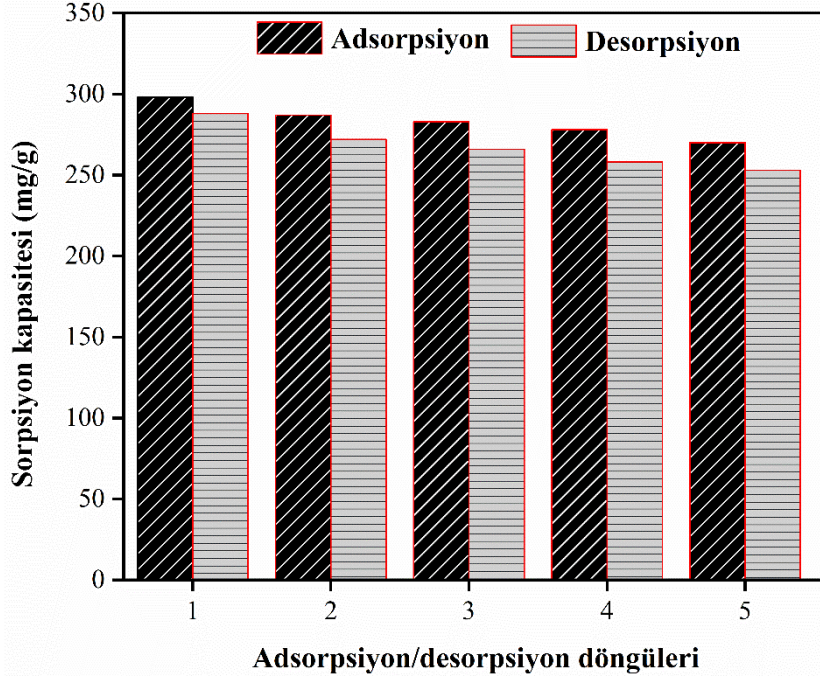
**Tablo 2.** Gaz halindeki benzenin manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyonu için lineer olmayan Langmuir, Freundlich and D-R isotherm model sabitlerinin özeti ve bunların uydurma verileri

İzoterm modeller	Parametreler	Değerler
Langmuir	q <sub>max</sub> (mg/g)	342.70
	K <sub>L</sub> (L/mg)	0.14
	R <sup>2</sup>	0.998
Fruendlich	K <sub>F</sub> [(mg/g) (L/mg) <sup>1/n</sup> ]	94.23
	n	2.12
	R <sup>2</sup>	0.976
D-R	q <sub>s</sub> (mg/g)	333.76
	β (mol <sup>2</sup> /kJ)	2.32×10 <sup>-5</sup>
	E (kJ/mol)	1.74
	R <sup>2</sup>	0.985

### 3.6. Manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS Nano-Adsorbentin Yeniden Kullanılabilirlik Performansı

Adsorbentler için geliştirilen yöntemin uygulanabilirliğinin değerlendirmesinde, onların sahip olduğu rejenerasyon ve yeniden kullanım verimliliği oldukça önemli birer husustur. Ek olarak, pratik uygulamalar ve adsorpsiyon prosesinin maliyeti için en önemli kriter geliştirilen adsorbentlerin sergilediği yeniden kullanım kabiliyetidir. Sentezlenen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbentin tekrar kullanılabilirliğini belirlemek için, beş ardışık adsorpsiyon/desorpsiyon döngüsü gerçekleştirildi ve sonuçlar Şekil 10'da sunulmaktadır. Burada, en önemli düşüş ilk döngüden sonra görülürken, sonraki dört döngüde önemli sayılabilecek değişiklikler gözlemlenmedi. Şekil 10'daki bulgularda, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbentin, gaz halindeki benzen için beş döngüden sonra %90.61'lik yeniden kullanım verimliliği sürdürdüğü görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen yüksek rejenerasyon ve yeniden kullanım verimliliği, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti ve gaz halindeki benzen arasındaki olası etkileşimlerin van der Waals kuvveti veya π – π etkileşimleri olduğunu işaret etmektedir [40, 41]. Öte yandan, adsorbe edici yüzey üzerinde kalıcı bağların oluşumu ve adsorbe edilen grupların tersinmez bir dönüşümünün gerçekleşmesinin nedeni olarak desorpsiyon/rejenerasyon proseslerinin tamamlanmaması olabilir. Başka bir ifadeyle, desorbe olmayan bazı kimyasal bağlı adsorbatların gözenekleri tıkanması ve böylece kalıntı oluşumuna neden olması muhtemel bir sonuçtur [41, 42]. Bu değerlendirmeler çerçevesinde, inovatif bir şekilde sentezlenen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti gaz halindeki benzen için mükemmel tekrar kullanılabilirliğe sahip olduğu bulundu, bu da nano-adsorbentin pratik uygulamalarda büyük potansiyele sahip olduğu anlamına gelir.





**Şekil 10.** Gaz halindeki benzen için manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbentın ardışık beş adsorpsiyon/desorpsiyon döngüsünden sonra yeniden kullanılabilirliği

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, başarıyla üretilen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbentın benzen giderimine karşı adsorpsiyon özellikleri incelendi. Birlikte çöktürme yöntemiyle elde edilen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti SEM-EDS, FTIR ve BET analizleri ile karakterize edildi. Benzen giderim sürecinde, benzen başlangıç konsantrasyonu, adsorbent miktarı, adsorpsiyon süresi ve adsorpsiyon sıcaklığı gibi farklı parametrelerin etkileri değerlendirildi. Optimum değerler olarak belirlenen 90 dakika adsorpsiyon süresi, 15 ppm benzen başlangıç konsantrasyonu, 100 mg adsorbent miktarı ve 25°C adsorpsiyon sıcaklığı gibi koşullar altında benzen adsorpsiyon kapasitesi 298.15 mg/g olarak bulundu. Bu sonuç, başarıyla üretilen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbentın uçucu organik bileşik kirleticilerin giderimindeki uygulama potansiyelini ortaya koymaktadır. Öte yandan, Quasi-birinci-dereceden kinetik modeli takip eden gaz halindeki benzenin Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbenti üzerine adsorpsiyon prosesi fiziksel adsorpsiyon mekanizmasını işaret etmektedir. Ayrıca, 1.74 kJ/mol olarak hesaplanan E değeri (Dubinin-Radushkevich model sabiti) adsorpsiyon prosesinin fiziksel etkileşim mekanizması üzerinden gerçekleştiğini desteklemektedir. Son olarak, beş döngüden sonra, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/DS nano-adsorbentın %90.61'lik bir yeniden kullanım verimini koruduğu bulundu, bu da nano-adsorbentın pratik uygulamalarda büyük bir potansiyele sahip olduğu anlamına geliyor.

#### Yazarların Katkısı

Sinan KUTLUAY: Kavramsallaştırma, araştırma, görselleştirme, yazma-inceleme ve düzenleme. Mehmet Şakir ECE: Kavramsallaştırma, araştırma, görselleştirme, yazma-inceleme ve düzenleme. Ömer ŞAHİN: Denetim, gözden geçirme ve araştırma. Zafer KAHRAMAN: Laboratuvar analizleri, literatür tarama. Ferat ÖNAL: Laboratuvar analizleri, literatür tarama. Fesih ATKU: Laboratuvar analizleri, literatür tarama.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.



## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Chavadej S., Kiatubolpaiboon W., Rangsunvigit P., Sreethawong T. 2007. A combined multistage corona discharge and catalytic system for gaseous benzene removal. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 263 (1-2): 128-136.
- [2] Batur E., Baytar O., Kutluay S., Horoz S., Şahin Ö. 2021. A comprehensive new study on the removal of pb (ii) from aqueous solution by Şırnak coal-derived char. *Environmental Technology*, 42 (3): 505-520.
- [3] Baytar. O, Şahin Ö., Horoz S., Kutluay S. 2020. High-performance gas-phase adsorption of benzene and toluene on activated carbon: response surface optimization, reusability, equilibrium, kinetic, and competitive adsorption studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (21): 26191-26210.
- [4] Kutluay S., Baytar O., Şahin Ö., Arran A. 2020. Optimization of Process conditions for adsorption of methylene blue on formaldehyde-modified peanut shells using box-behnken experimental design and response surface methodology. *European Journal of Technique*, 10 (1): 131-142.
- [5] Ozkaya M., Cakir E., Gokbayrak Z., Ercan H., Taskin N.. 2006. Morphological and molecular characterization of derik halhali olive (*olea europaea* l.) accessions grown in Derik–Mardin province of Turkey. *Scientia Horticulturae*, 108 (2): 205-209.
- [6] Shendi E.G., Özyay D.S., Özkaya M.T., Üstünel N.F. 2019. Chemical characterization and storage stability of extra virgin olive oil extracted from Derik Halhali cultivar. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 11 (1): 52-58.
- [7] Hokkanen S., Bhatnagar A., Sillanpää M. 2016. A Review on modification methods to cellulose-based adsorbents to improve adsorption capacity. *Water Research*, 91: 156-173.
- [8] Maleki A., Kamalzare M. 2014. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@Cellulose composite nanocatalyst: preparation, characterization and application in the synthesis of benzodiazepines. *Catalysis Communications*, 53: 67-71.
- [9] Alslaibi T.M., Abustan I., Ahmad M.A., Foul A.A. 2014. Kinetics and equilibrium adsorption of iron (ii), lead (ii), and copper (ii) onto activated carbon prepared from olive stone waste. *Desalination and Water Treatment*, 52 (40-42): 7887-7897.
- [10] Alu'datt M.H., Alli I., Ereifej K., Alhamad M.N., Alsaad A., Rababeh T. 2011. Optimisation and characterisation of various extraction conditions of phenolic compounds and antioxidant activity in olive seeds. *Natural Product Research*, 25 (9): 876-889.
- [11] Cao L., Cheng Z., Yan M., Chen Y. 2019. Anisotropic rubber nanocomposites via magnetic-induced alignment of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Cellulose nanocrystals hybrids obtained by templated assembly. *Chemical Engineering Journal*, 363: 203-212.
- [12] De las Nieves Piña M., Rodríguez P., Gutiérrez M.S., Quiñonero D., Morey J., Frontera A. 2018. Adsorption and quantification of volatile organic compounds (VOCs) by using hybrid magnetic nanoparticles. *Chemistry–A European Journal*, 24 (49): 12820-12826.
- [13] Ece M.Ş. 2021. Synthesis and characterization of activated carbon supported magnetic nanoparticles (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/AC@SiO<sub>2</sub>@Sulfanilamide) and its application in removal of toluene and benzene. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 617: 126231.
- [14] Ece M.Ş., Kutluay S., Şahin Ö., Horoz S. 2020. Development of novel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/AC@SiO<sub>2</sub>@1,4-DAAQ magnetic nanoparticles with outstanding VOC removal capacity: characterization, optimization, reusability, kinetics, and equilibrium studies. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59 (48): 21106-21123.
- [15] Kutluay S. 2021. Excellent Adsorptive performance of novel magnetic nano-adsorbent functionalized with 8-Hydroxyquinoline-5-Sulfonic acid for the removal of volatile organic compounds (BTX) vapors. *Fuel*, 287: 119691.
- [16] Low L.E., Tey B.T., Ong B.H., Tang S.Y. 2018. A facile and rapid sonochemical synthesis of monodispersed Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@Cellulose nanocrystal nanocomposites without inert gas protection. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 13 (4): e2209.

- [17] Kutluay S., Baytar O., Şahin Ö. 2019. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies for dynamic adsorption of benzene in gas phase onto activated carbon produced from elaeagnus angustifolia seeds. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7 (2): 102947.
- [18] Zhao Z., Wang S., Yang Y., Li X., Li J., Li Z. 2015. Competitive adsorption and selectivity of benzene and water vapor on the microporous metal organic frameworks (HKUST-1). *Chemical Engineering Journal*, 259: 79-89.
- [19] Khan N.A., Khan S.U., Ahmed S., Farooqi I.H., Dhingra A., Hussain A., Changani F. 2019. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment: A review. *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, 16 (4): 81-86.
- [20] Azizi A. 2020. Green synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles and its application in preparation of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Cellulose magnetic nanocomposite: a suitable proposal for drug delivery systems. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30: 3552–3561.
- [21] De Luna M.D.G., Flores E.D., Genuino D.A.D., Futralan C.M., Wan M.W. 2013. Adsorption of Eriochrome Black T (EBT) dye using activated carbon prepared from waste rice hulls—optimization, isotherm and kinetic studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 44 (4): 646-653.
- [22] Kutluay S., Ece M.Ş., Şahin Ö. 2020. Synthesis of magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/AC nanoparticles and its application for the removal of gas-phase toluene by adsorption process. *International Journal of Chemistry and Technology*, 4 (2): 146-155.
- [23] Şahin Ö., Kutluay S., Horoz S., Ece M.Ş. 2021. Fabrication and characterization of 3,4-diaminobenzophenone-functionalized magnetic nano-adsorbent with enhanced VOC adsorption and desorption capacity. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (5): 5231-5253.
- [24] Dou B., Hu Q., Li J., Qiao S., Hao Z. 2011. Adsorption performance of VOCs in ordered mesoporous silicas with different pore structures and surface chemistry. *Journal of Hazardous Materials*, 186 (2-3): 1615-1624.
- [25] Tsai J.H., Chiang H.M., Huang G.Y., Chiang H.L. 2008. Adsorption characteristics of acetone, chloroform and acetonitrile on sludge-derived adsorbent, commercial granular activated carbon and activated carbon fibers. *Journal of Hazardous Materials*, 154 (1-3): 1183-1191.
- [26] Qian Q., Gong C., Zhang Z., Yuan G. 2015. Removal of VOCs by activated carbon microspheres derived from polymer: a comparative study. *Adsorption*, 21 (4): 333-341.
- [27] Mao H., Huang R., Hashisho Z., Wang S., Chen H., Wang H., Zhou D. 2016. Adsorption of toluene and acetone vapors on microwave-prepared activated carbon from agricultural residues: isotherms, kinetics, and thermodynamics studies. *Research on Chemical Intermediates*, 42 (4): 3359-3371.
- [28] Ramirez D., Sullivan P.D., Rood M.J., Hay K.J. 2004. Equilibrium adsorption of phenol-, tire-, and coal-derived activated carbons for organic vapors. *Journal of Environmental Engineering*, 130 (3): 231-241.
- [29] Ece M.Ş., Kutluay S., Şahin Ö. 2021. Silica-coated magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles as efficient nano-adsorbents for the improvement of the vapor-phase adsorption of benzene. *International Journal of Chemistry and Technology*, 5 (1): 33 - 41.
- [30] Kutluay S. 2019. Benzen uçucu organik bileşiğinin badem kabuğundan üretilen char üzerine gaz fazı adsorpsiyonu: kinetik, denge ve termodinamik. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (4): 1432-1445.
- [31] Freundlich H. 1906. Over the adsorption in solution. *The Journal of Physical Chemistry*, 57: 385-471.
- [32] Sari A., Tuzen M., Citak D., Soylak M. 2007. Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies of adsorption of Pb (II) from aqueous solution onto Turkish kaolinite clay. *Journal of Hazardous Materials*, 149 (2): 283-291.
- [33] Aziz A., Kim M., Kim S., Kim K.S. 2017. Adsorption and kinetic studies of volatile organic compounds (VOCs) on seed assisted template free ZSM-5 zeolite in air. *Journal of Nanotechnology & Advanced Materials*, 5: 1-9.
- [34] Song G., Zhu X., Chen R., Liao Q., Ding Y.D., Chen L. 2016. An investigation of CO<sub>2</sub> adsorption kinetics on porous magnesium oxide. *Chemical Engineering Journal*, 283: 175-183.

- [35] Wang Y., Tao H., Yu D., Chang C. 2018. Performance assessment of ordered porous electrospun honeycomb fibers for the removal of atmospheric polar volatile organic compounds. *Nanomaterials*, 8 (5): 350.
- [36] Foo K.Y., Hameed B.H. 2010. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*, 156 (1): 2-10.
- [37] Sadeghalvad B., Azadmehr A., Hezarkhani A. 2016. Enhancing adsorptive removal of sulfate by metal layered double hydroxide functionalized quartz-albitophire iron ore waste: preparation, characterization and properties. *RSC Advances*, 6 (72): 67630-67642.
- [38] Wang C., Zhong H., Wu W., Pan C., Wei X., Zhou G., Yang F. 2019. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@C core-shell carbon hybrid materials as magnetically separable adsorbents for the removal of dibenzothiophene in fuels. *ACS Omega*, 4 (1): 1652-1661.
- [39] Zou W., Gao B., Ok Y.S., Dong L. 2019. Integrated adsorption and photocatalytic degradation of volatile organic compounds (VOCs) using carbon-based nanocomposites: a critical review. *Chemosphere*, 218: 845-859.
- [40] Gan F., Cheng B., Jin Z., Dai Z., Wang B., Yang L., Jiang X. 2021. Hierarchical porous biochar from plant-based biomass through selectively removing lignin carbon from biochar for enhanced removal of toluene. *Chemosphere*, 279: 130514.
- [41] Kutluay S., Temel F. 2021. Silica gel based new adsorbent having enhanced VOC dynamic adsorption/desorption performance. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 609: 125848.
- [42] Temel F., Kutluay S. 2020. Investigation of high-performance adsorption for benzene and toluene vapors by calix[4]arene based organosilica (CBOS). *New Journal of Chemistry*, 44 (30): 12949-12961.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Akciğer Histopatoloji Görüntülerinden Çıkarılan Derin Özellikleri Kullanan Makine Öğrenmesi Sınıflandırıcıları ile Akciğer Kanseri Tespiti**

Emine UÇAR\*

*İskenderun Teknik Üniversitesi, İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü,  
Hatay  
(ORCID: [0000-0002-6838-3015](https://orcid.org/0000-0002-6838-3015))*

---

### **Öz**

Kanser dünyada ve ülkemizde gözlenme sıklığı giderek artan sağlık sorunlarının başında gelmekte ve her yıl milyonlarca insan kanser nedeniyle hayatını kaybetmektedir. Histopatolojik tanı, kanser türünün teşhisinde ve tedavi stratejisinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada akciğer histopatoloji görüntüleri kullanılarak derin öğrenme yöntemlerine dayalı bir otomatik model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen modelde öncelikle DenseNet201, MobileNetV2, VGG16, NASNetLarge, Xception, InceptionV3, VGG19, EfficientNetB7 ve ResNet152 gibi önceden eğitilmiş derin öğrenme mimarileri kullanılarak özellik çıkarımı gerçekleştirilmiş ve daha sonra Adaboost, Çok katmanlı algılayıcı, Rastgele orman ve Destek vektör makinesi gibi makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılmıştır. Ardından sınıflandırıcılardan elde edilen değerlendirme sonuçlarına göre en iyi performansa sahip ilk üç derin öznelik birleştirilerek makine öğrenmesi sınıflandırıcılarına girdi olarak kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar en iyi özneliklerin birlikte kullanılmasının sınıflandırma başarısına olumlu yönde katkı sağladığını göstermiştir. Test veri setinden elde edilen sonuçlar, önerilen hibrit yaklaşımın %97.22 ortalama sınıflandırma başarısı ile akciğer histopatoloji görüntülerinden adenokarsinom, skuamöz hücreli karsinom ve normal dokuların otomatik sınıflandırmasında etkili olduğunu göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Akciğer kanseri tespiti, Sınıflandırma, Derin öğrenme, Makine öğrenmesi.

---

## **Lung Cancer Detection with Machine Learning Classifiers using Deep Features Extracted from Lung Histopathology Images**

---

### **Abstract**

Cancer is one of the health problems with an increasing incidence in the world and in our country, and millions of people die every year due to cancer. Histopathological diagnosis plays an important role in diagnosing the type of cancer and determining the treatment strategy. In this study, it is aimed to develop an automatic model based on deep learning methods using lung histopathology images. In the developed model, firstly feature extraction was performed using pre-trained deep learning architectures such as DenseNet201, MobileNetV2, VGG16, NASNetLarge, Xception, InceptionV3, VGG19, EfficientNetB7 and ResNet152, and then classified with machine learning methods such as Adaboost, Multi-layer perceptron, Random forest and Support vector machines. Afterwards, according to the evaluation results obtained from the classifiers, the first three deep features with the best performance were combined and used as input to the machine learning classifiers. Experimental results showed that using the best features together contributes positively to the classification success. Results from the test dataset showed that the proposed hybrid approach was effective in automatic classification of adenocarcinoma, squamous cell carcinoma and benign tissues from lung histopathology images, with an average classification accuracy of 97.22%.

**Keywords:** Lung cancer detection, Classification, Deep learning, Machine learning.

---

---

\*Sorumlu yazar: [emine.ucar@iste.edu.tr](mailto:emine.ucar@iste.edu.tr)

Geliş Tarihi: 16.08.2021, Kabul Tarihi: 18.11.2021

## 1. Giriş

Akciğer kanseri, hem ülkemizde hem de dünyada en çok ölüme neden olan hastalıklar arasında ilk sıralarda yer almaktadır. Kanser nedeni ile gerçekleşen ölümlere bakıldığında; akciğer kanseri erkeklerde birinci sırada yer alırken kadınlarda ise meme kanserinden sonra 2. sırada yer almaktadır [1]. Dünyada ölüm oranı yüksek olan akciğer kanserlerinin yaklaşık %80'i küçük hücreli dışı akciğer kanseri (KHDAK)'dir. KHDAK'ler, adenokarsinom, skuamöz (yassı) hücreli kanser, büyük hücreli kanser ve karma tip olmak üzere dört alt tipe sahiptir. Adenokarsinomlar ve skuamöz karsinomlar tüm KHDAK'lerin yaklaşık %50'sini temsil eder [2, 3]. Akciğer kanserinin henüz tam olarak bir tedavisi bulunmadığından hastalığın erken aşamada teşhis edilmesi tedavi açısından oldukça büyük önem arz etmektedir.

Derin öğrenme yöntemlerinin kullanım alanları son yıllarda sağlık sektöründe oldukça artmıştır. Özellikle tıbbi görüntü işleme alanında oldukça iyi sonuçlar vermektedir [4]. Histopatolojik görüntü, kanser tanısının altın standardı olarak görülmektedir ve derin öğrenme histopatolojik görüntü analizi zorlukları için de umut verici çözümler sunmaktadır [5]. Bu çalışmada akciğer histopatoloji görüntülerinden adenokarsinom, skuamöz hücreli karsinom ve normal dokuların sınıflandırılması için önceden eğitilmiş derin öğrenme yöntemleri ve klasik makine öğrenmesi yöntemleri birlikte kullanılarak hibrit bir yaklaşım sunulmuştur. Önerilen yaklaşımda öncelikle derin özellikleri çıkarmak için birçok önceden eğitilmiş konvolüsyonel sinir ağı modeli kullanılmış ardından makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Özetle önerilen yaklaşımın katkıları şunlardır:

- Akciğer histopatoloji görüntülerinden tümör tipinin etkili bir şekilde sınıflandırılması için derin özellik çıkarmaya dayalı otomatik bir model tasarlanmıştır.
- Çıkarılan derin özelliklerden en iyi performansa sahip ilk üç derin özellik makine öğrenmesi teknikleri ile sınıflandırılmış ve yüksek bir doğruluk performansı elde edilmiştir.

Bu çalışmanın geri kalanı şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2'de mevcut alanda daha önce gerçekleştirilen çalışmalardan bahsedilmiştir. Bölüm 3'te çalışmada kullanılan veri seti ve önerilen derin öğrenme modelinin detayları sunulmuştur. Deneysel analizler ve elde edilen sonuçlar Bölüm 4'te paylaşılmıştır. Bölüm 5'te çalışmada elde edilen sonuçların literatürde daha önce gerçekleştirilen çalışmalarla kıyaslandığı bir tartışma bölümü sunulmuştur. Son olarak çalışma Bölüm 6'da sonuçlandırılmıştır.

## 2. Literatür Taraması

Literatürde akciğer kanserinin tespiti için önerilen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [6]. Bazı araştırmacılar geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerini kullanarak akciğer kanserini tespit etmeye ve sınıflandırmaya çalışmışlardır. Dandil ve diğerleri akciğer kanseri teşhisi için yapay sinir ağları yöntemiyle iyi huylu ve kötü huylu nodülleri sınıflandırdıkları çalışmalarında modelin %90.63 doğruluk elde ettiğini bildirmişlerdir [7]. Chauhan ve Jaiswal temel bileşenler analizi ve lineer diskriminant analizi yöntemlerini kullanarak akciğer kanserini tespit etmeye çalışmışlar ve önerilen modelin %97.97 gibi yüksek bir doğruluk elde ettiğini bildirmişlerdir [8]. Faisal ve diğerleri akciğer kanseri tanısı için halka açık bir veri seti üzerinde destek vektör makinesi (DVM), çok katmanlı algılayıcı, Naive Bayes, karar ağacı, Rastgele Orman (RO) ve gradient boosting gibi birçok yöntem kullanmıştır. Gradient boosting algoritmasının %90 kesinlik sağlayarak en iyi sonucu verdiğini bildirmişlerdir [9]. Nasser ve Abu-Naser akciğer kanserini teşhis etmek için yapay sinir ağlarını (YSA) kullanmışlardır. Hastalara ait cinsiyet, yaş gibi değişkenlerin yanı sıra akciğer kanserinin tespitinde kullanılan bazı semptomları da YSA için girdi değişkenleri olarak kullandıkları çalışmalarında modelin %96.67 doğruluğa eriştiğini bildirmişlerdir [10]. Thallam ve diğerleri çalışmalarında akciğer kanserini erken bir aşamada tespit edebilmek için DVM, k en yakın komşu, RO, YSA ve hibrit bir model kullanarak modellerin doğruluk performanslarını karşılaştırmışlardır [11].

Bazı araştırmacılar ise akciğer kanseri tespiti için derin öğrenme yöntemlerini kullanmıştır. Shen ve diğerleri akciğer nodüllerini sınıflandırmak için çok ölçekli konvolüsyonel sinir ağlarını için

kullandıkları çalışmada %86.84 başarı elde ettiklerini bildirmişlerdir [12]. Rao ve diğerleri akciğer görüntülerinde görülen tümörleri iyi huylu ve kötü huylu olarak sınıflandırdıkları çalışmada konvolüsyonel sinir ağlarına dayalı yeni bir model önermişlerdir ve önerilen modelin hem geleneksel sinir ağlarından hem de görüntü sınıflandırma amaçları için oluşturulmuş mevcut CNN'lerden daha iyi performans gösterdiğini bildirmişlerdir [13]. Alakwaa ve diğerleri akciğer kanseri tespiti için sırasıyla segmentasyon, nodül tespiti ve sınıflandırma süreçlerini içeren bir model önermişlerdir. Sınıflandırma aşamasında kullanılan 3D konvolüsyonel sinir ağı modeli test veri seti üzerinde %86.6'lık bir doğruluk elde etmiştir [14]. Bir başka çalışmada Song ve diğerleri akciğerde bulunan nodülleri iyi huylu ve kötü huylu olarak tespit edebilmek için konvolüsyonel sinir ağı, derin sinir ağı ve yığın oto kodlayıcı sinir ağı olmak üzere üç farklı derin sinir ağı tasarlamışlardır. Tasarlanan modellerin performansını test ettiklerinde en başarılı modelin %84.15 doğruluk ile konvolüsyonel sinir ağı olduğunu bildirmişlerdir [15]. Shakeel ve diğerleri akciğer kanseri tespiti probleminin çözümü için öncelikle görüntü iyileştirme ardından derin öğrenme modelleri kullanarak sınıflandırma içeren bir yaklaşım önermişlerdir. Önerilen modelin %98.42 doğruluğa eriştiğini bildirmişlerdir [16]. Abbas ve diğerleri akciğer histopatolojik görüntülerinden adenokarsinom, skuamöz hücreli karsinom ve normal dokuların tespiti için öncelikle yatay-dikey döndürme, yakınlaştırma ve aydınlatma yöntemlerini kullanarak veri artırımı gerçekleştirmiş daha sonra altı farklı derin öğrenme mimarisinden yararlanarak görüntüleri sınıflandırmıştır. Önerilen yöntemlerin %97 üzerinde doğruluk oranına ulaştığını bildirmişlerdir [17]. Masud ve diğerleri akciğer ve kolon kanseri teşhisi için histopatolojik görüntüleri analiz ederek sınıflandıran derin öğrenme temelli yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda önerilen yaklaşımın en yüksek %96.33 sınıflandırma doğruluğuna ulaştığını bildirmişlerdir [18]. Garg ve Garg histopatolojik görüntülerden akciğer ve kolon kanseri tanısı için öncelikle çeşitli veri artırım teknikleri aracılığıyla yeni veriler üretmiş daha sonra VGG16, NASNetMobile, InceptionV3, InceptionResNetV2, ResNet50, Xception, MobileNet, ve DenseNet169 gibi önceden eğitilmiş konvolüsyonel sinir ağı modellerini kullanarak sınıflandırma yapmışlardır. Sınıflandırmada kullanılan modellerin %96 ila %100 arasında doğruluk değeri elde ettiklerini bildirmişlerdir [19]. Bir başka çalışmada Hatuwal ve Thapa akciğer kanseri sınıflandırma görevi için histopatolojik görüntülerde öncelikle yatay-dikey döndürme ve yakınlaştırma yöntemlerini kullanarak veri artırımı gerçekleştirmiştir. Daha sonra konvolüsyonel sinir ağı modelini kullanarak sınıflandırdıkları çalışmada %97.2 doğruluk değeri elde ettiklerini bildirmişlerdir [20].

Son yıllarda akciğer kanseri tanısında derin öğrenme mimarilerinin kullanımında bir artış olduğu ancak yeni modeller ve deneysel çalışmalarla ilgili literatürde hala bazı boşluklar olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu çalışmada önerilen derin özellik çıkarmaya dayalı hibrit yaklaşımın yüksek doğruluk oranı ile mevcut literatüre geçerli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

### 3. Materyal ve Metot

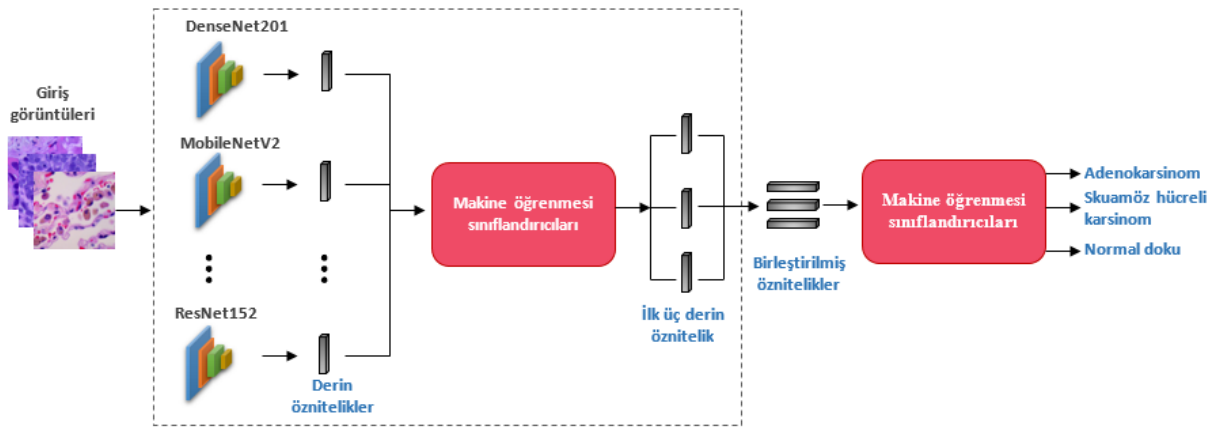
#### 3.1. Veri Seti

Bu çalışmada Borkowski ve diğerleri tarafından oluşturulan akciğer ve kolon kanseri histopatolojik görüntü veri seti (LC25000) kullanılmıştır [21]. Veri seti içerisinde 25000 adet görüntü bulunmaktadır ancak bu çalışmada akciğer kanseri teşhisi amaçlandığından sadece akciğer histopatolojik görüntülerinden adenokarsinom, skuamöz hücreli karsinom ve normal dokuların her birine ait 5000 görüntü dahil edilmiştir. Toplamda 15000 görüntüden oluşan veri seti 768×768 çözünürlüğe sahip jpeg formatındadır. Şekil 1'de her bir sınıfa ait örnek görüntüler sunulmaktadır.



### 3.2. Önerilen Yöntem

Akciğer histopatoloji görüntülerinden adenokarsinom, skuamöz hücreli karsinom ve normal dokuların tespiti için geliştirilen yöntemde öncelikle görüntüler çalışmada kullanılan önceden eğitilmiş konvolüsyonel sinir ağı modellerinin giriş boyutlarına uygun olarak yeniden boyutlandırılmıştır. İkinci aşamada DenseNet201, MobileNetV2, VGG16, NASNetLarge, Xception, InceptionV3, VGG19, EfficientNetB7 ve ResNet152 mimarileri kullanılarak öznelikler çıkarılmış ve Adaboost, Çok katmanlı algılayıcı, Rastgele orman ve Destek vektör makinesi gibi makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılmıştır. Ardından sınıflandırıcılardan elde edilen değerlendirme sonuçlarına göre en iyi performansa sahip ilk üç derin öznelik topluluk modülünde birleştirilmiş ve nihai çıktıyı tahmin etmek için makine öğrenmesi sınıflandırıcılarına girdi olarak kullanılmıştır. Çalışmada önerilen yöntemin mimarisi Şekil 2’de gösterilmektedir.



### 3.3. Önceden Eğitilmiş Konvolüsyonel Sinir Ağı Modelleri ile Özellik Çıkarımı

Derin öğrenme, özellik çıkarma ve dönüştürme için derin konvolüsyonel sinir ağları kullanan makine öğrenmesi yaklaşımıdır. Konvolüsyonel sinir ağları, günümüzde sınıflandırma ve nesne tanıma problemlerinin çözümünde oldukça başarılı sonuçlar elde etmektedir. Konvolüsyonel sinir ağları özellikle büyük veri setlerinde daha iyi performansa sahiptir. Transfer öğrenmede genellikle büyük veri kümeleri üzerinde önceden eğitilmiş model farklı bir görev için özellik çıkarıcı olarak kullanılabilir [22]. Transfer öğrenimi sayesinde derin öğrenme modellerini sıfırdan eğitmek için normalde gerekli olan uzun eğitim süresi azaltılır ve aynı zamanda eğitim modeli için büyük bir veri kümesine sahip olma gereksinimi ortadan kalkar [23, 24].

Bu çalışmada transfer öğrenme yaklaşımı kullanılarak derin öğrenme tabanlı bir özellik çıkarıcı olarak önceden eğitilmiş konvolüsyonel sinir ağı modelleri kullanılmıştır. Özellik çıkarma aşamasında DenseNet201, MobileNetV2, VGG16, NASNetLarge, Xception, InceptionV3, VGG19, EfficientNetB7 ve ResNet152 derin öğrenme mimarilerinden yararlanılmıştır.

### 3.4. Makine Öğrenmesi Sınıflandırıcıları

Önceden eğitilmiş konvolüsyonel sinir ağı modellerinden çıkarılan derin özellikler daha sonra çıkışı tahmin etmek için, Adaboost, Çok katmanlı algılayıcı, Rastgele orman ve Destek vektör makinesi gibi geleneksel makine öğrenmesi sınıflandırıcılarının girdisi olarak kullanılmıştır.

Adaboost topluluk sınıflandırıcı yöntemi ilk olarak Freund ve Schapire tarafından önerilmiştir. Bu yöntem zayıf sınıflandırıcıları bir araya getirerek güçlü bir sınıflandırıcı oluşturur. Her bir iterasyonda temel öğrenici adı verilen bir öğrenme algoritması çağırılarak sınıflandırıcı oluşturulur. Ardından bu sınıflandırıcıya ağırlık katsayısı atanır. Son sınıflandırma kararı ise zayıf sınıflandırıcıların ağırlık katsayılarına bağlı olarak ağırlıklı oylama sonucunda elde edilir [25].

Çok katmanlı algılayıcı yapay sinir ağı algoritmaları arasında en çok tercih edilen yöntemler arasında olup çeşitli hastalıkların teşhisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Genellikle çalışmalarda giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanından oluşan üç katmanlı yapı kullanılmaktadır. Bu yapıda katmanları birbirine bağlayan ağ ağırlıkları, hata geri yayılım öğrenme yöntemi kullanılarak güncellenir. Daha sonra hesaplanan ağ çıkışı ile gerçek çıkış arasındaki ortalama kare hatası elde edilir ve bu hata değeri ağ ağırlıklarını güncellemek için kullanılır. Bu rutin ortalama kare hatası belirli bir eşik değerine düşürülene kadar tekrarlanır [26].

Rastgele orman, ilk olarak 1996 yılında Breiman tarafından ortaya atılmış olup karar ağaçlarının birleşiminden oluşan bir algoritmadır. Bu yöntemde kullanılan her bir ağaç veri setindeki özelliklere göre dallanmaktadır ve her bir ağaç giriş vektörünü sınıflandırmak için birim oyu verir. Rastgele orman algoritmasında aşırı öğrenme sorununu aşmak için öznelik setinden rassal olarak birçok alt set seçilir. Seçilen alt setlerin ürettiği sonuçlar arasında en fazla birim oyunu alan değer, Rastgele orman algoritmasının sonucunu oluşturur [27].

Destek vektör makineleri ilk olarak Vapnik tarafından geliştirilmiş ve bugünkü standart halini Cortes ve Vapnik'in birlikte geliştirmesiyle almıştır [28]. DVM, sınıflandırma problemlerinin çözümü için ilk olarak verileri lineer olarak ayrılabilirliği yüksek bir boyuta aktarmaktadır. Sonrasında da bunlar arasındaki maksimum sınırın bulunmasını sağlamaktadır. DVM, birçok sınıflandırma probleminin çözümünde başarıyla uygulanmış ve yüksek genelleme performansı ile ön plana çıkmış bir makine öğrenmesi algoritmasıdır.

### 3.5. Performans Ölçütleri

Bu çalışmada önerilen yaklaşımın sınıflandırma başarısının ölçümü için karmaşıklık matrisi kullanılmış ve doğruluk, duyarlılık, kesinlik, özgüllük ve  $F_1$  ölçütü olmak üzere toplamda 5 farklı performans ölçütü kullanılmıştır. Doğruluk; doğru olarak sınıflandırılan örnek sayısının toplam örnek sayısına oranı olarak hesaplanmaktadır. Duyarlılık; gerçek pozitif değerler içinde doğru sınıflandırılmış örnek sayısının, tüm gerçek pozitif örnek sayısına oranı olarak hesaplanmaktadır. Kesinlik; doğru tahmin edilen pozitif örnek sayısının toplam pozitif örnek sayısına oranı olarak hesaplanmaktadır. Özgüllük; gerçek negatif değerler içinde doğru sınıflandırılmış örnek sayısının, tüm gerçek negatif örnek sayısına oranı olarak hesaplanmaktadır.  $F_1$  ölçütü kesinlik ve duyarlılık değerlerinin harmonik ortalamasını ifade etmektedir. Ölçütlere ait formüller aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$\text{Doğruluk} = \frac{(DP+DN)}{(DP+YP+DN+YN)} \quad (1)$$

$$\text{Duyarlılık} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (2)$$

$$\text{Özgüllük} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (3)$$

$$\text{Kesinlik} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (4)$$



$$F_1 \text{ ölçütü} = 2 \times \frac{\text{Kesinlik} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (5)$$

#### 4. Deneysel Analizler ve Sonuçlar

Bu çalışmada deneysel çalışmalar Google Colaboratory ortamında Python programlama dili ve Keras Kütüphanesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim ve test verileri belirlenirken k katlı çapraz doğrulama tekniği kullanılmış ve k sayısı 5 olarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan veri seti her bir katta %80 eğitim ve %20 test olarak bölünmüştür. Ayrıca çok katmanlı algılayıcı sınıflandırıcısında eğitim veri setinin %10'u doğrulama için kullanılmıştır.

Çalışmada özellik çıkarımı için DenseNet201, MobileNetV2, VGG16, NASNetLarge, Xception, InceptionV3, VGG19, EfficientNetB7 ve ResNet152 olmak üzere 9 farklı ön-eğitilmiş ağ kullanılmıştır. Özellik çıkarımı aşamasında öncelikle giriş görüntüleri her bir ön-eğitilmiş ağ mimarisine uygun olarak yeniden boyutlandırılmıştır. Giriş görüntü boyutları DenseNet201, MobileNetV2, VGG16, VGG19 ve ResNet152 modelleri için 224×224; Xception ve InceptionV3 modelleri için 299×299; NASNetLarge modeli için 331×331; EfficientNetB7 modeli için ise 600×600 olarak ayarlanmıştır.

Derin özellikler çıkarıldıktan sonra sınıflandırıcılara giriş olarak verilmeden önce Z-skor normalizasyon tekniği kullanılarak normalize edilmiştir. Sınıflandırma aşamasında çok katmanlı algılayıcı sınıflandırıcısında 2 adet gizli katman kullanılmıştır. Gizli katman nöron sayıları sırasıyla 1024 ve 512'dir. Aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU (Rectified Linear Unit) seçilmiştir. Aşırı öğrenmeyi engellemek için son gizli katman ile çıkış katmanı arasında bir bırakma(dropout) katmanı eklenmiştir. Bırakma katmanı değeri 0.2, batch size 32 ve öğrenme oranı 0.0001 olarak ayarlanmıştır. Optimizasyon için Adam optimizasyon algoritması ve kayıp fonksiyon için ise kategorik çapraz entropi kullanılmıştır. Çok katmanlı algılayıcı modelin eğitim aşamasında erken durdurma tekniği kullanılmış ve eğer doğrulama kaybı 50 devir boyunca düşmüyorsa eğitim otomatik durdurulmuştur. Adaboost yönteminde temel sınıflandırıcı olarak karar ağacı seçilmiş ve tahmin edici(estimator) değeri 300 olarak uygulanmıştır. Rastgele orman yönteminde tahmin edici(estimator) değeri 1000 olarak uygulanmıştır. Son olarak destek vektör makineleri yönteminde lineer çekirdek fonksiyonu kullanılmıştır.

Bu çalışmada akciğer histopatoloji görüntülerinden tümör tipinin etkili bir şekilde sınıflandırılması için ilk olarak 9 farklı ön-eğitilmiş ağ aracılığıyla öz nitelikler çıkarılmış ve bu öz nitelikler kullanılarak Adaboost, Çok katmanlı algılayıcı, Rastgele orman ve Destek vektör makinesi gibi geleneksel makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırma yapılmıştır. Ayrıca bu aşamada sınıflandırıcılardan elde edilen ortalama başarılar da hesaplanmıştır. İlk aşamaya ait analiz sonuçları Tablo 1'de gösterilmiştir. Tablo 1'den görülebileceği üzere en yüksek ortalama sınıflandırma başarısı 0.96223 ile VGG16 modelinden çıkarılan öz-nitelikler ile elde edilirken en düşük ortalama sınıflandırma başarısı 0.80428 ile ResNet152 modelinden çıkarılan öz-nitelikler ile elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Ön-eğitilmiş ağ öz nitelikleri ile makine öğrenmesi sınıflandırıcı doğrulukları

Derin öz-nitelik çıkarılan ağ	Sınıflandırıcı doğrulukları				Ortalama Başarı
	Adaboost	Çok katmanlı Algılayıcı	Rastgele Orman	Destek Vektör Makinesi	
VGG16	0.90520	0.98647	0.97333	0.98393	0.96223
MobileNetV2	0.86807	0.98980	0.97360	0.98213	0.95340
Xception	0.87040	0.98340	0.97067	0.98000	0.95112
VGG19	0.87333	0.98267	0.95867	0.97793	0.94815
NASNetLarge	0.83973	0.97973	0.97180	0.98420	0.94387
DenseNet201	0.83907	0.97793	0.97587	0.97400	0.94172
InceptionV3	0.84140	0.97413	0.96707	0.96920	0.93795
EfficientNetB7	0.75547	0.88300	0.83427	0.90600	0.84468
ResNet152	0.74347	0.85120	0.76387	0.85860	0.80428

İkinci aşamada en iyi ortalama başarı performansına sahip üç modele ait öz nitelikler seçilerek bu öz-niteliklerin ikili ve üçlü kombinasyonları ile sınıflandırma gerçekleştirilmiş ve öz-nitelik

seçiminin sınıflandırma başarısına etkisi araştırılmıştır (Tablo 2). Tablo 1’den görülebileceği üzere en iyi ortalama sınıflandırma başarıları sırasıyla VGG16, MobileNetV2 ve Xception modellerinden çıkarılan öz-nitelikler kullanılarak elde edilmiştir. Tablo 2’den görülebileceği üzere öz-niteliklerin birlikte kullanılması sınıflandırma başarısını olumlu yönde etkilemiş ve en yüksek ortalama sınıflandırma başarısı 0.97217 olarak elde edilmiştir.

**Tablo 2.** Öz-niteliklerin birleşimi ile elde edilen makine öğrenmesi sınıflandırıcı doğrulukları

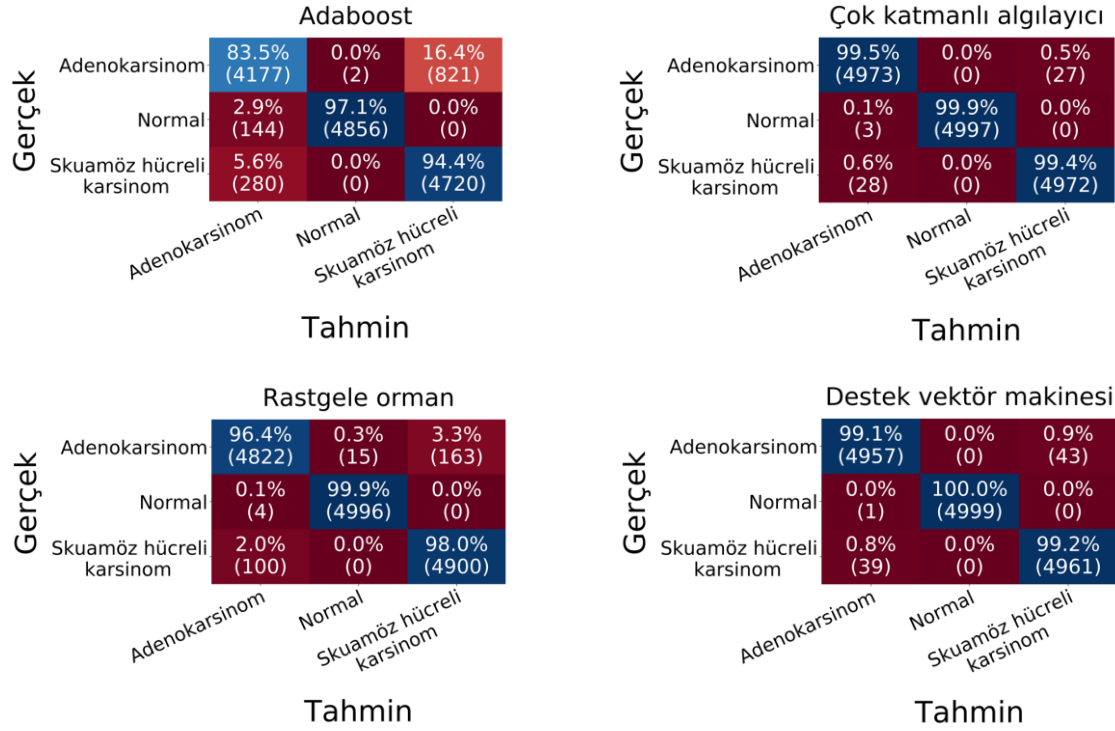
Derin öz-nitelik çıkarılan ağ	Sınıflandırıcı doğrulukları				Ortalama Başarı
	Adaboost	Çok katmanlı Algılayıcı	Rastgele Orman	Destek Vektör Makinesi	
VGG16 + Xception	0.92433	0.99487	0.97920	0.98867	0.97177
VGG16 + MobileNetV2	0.90213	0.99413	0.98113	0.99020	0.96690
Xception + MobileNetV2	0.88287	0.99393	0.97767	0.99100	0.96137
<b>VGG16 + MobileNetV2 + Xception</b>	<b>0.91687</b>	<b>0.99613</b>	<b>0.98120</b>	<b>0.99447</b>	<b>0.97217</b>

En yüksek ortalama sınıflandırma başarısına sahip öz-niteliklerin birlikte kullanıldığı durum için her bir modelin test veri setinde elde etmiş olduğu doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik, ve F<sub>1</sub> ölçütü değerleri Tablo 3’te sunulmuştur.

**Tablo 3.** Öz-niteliklerin birleşimi sonucunda sınıflandırıcılara ait sonuçlar

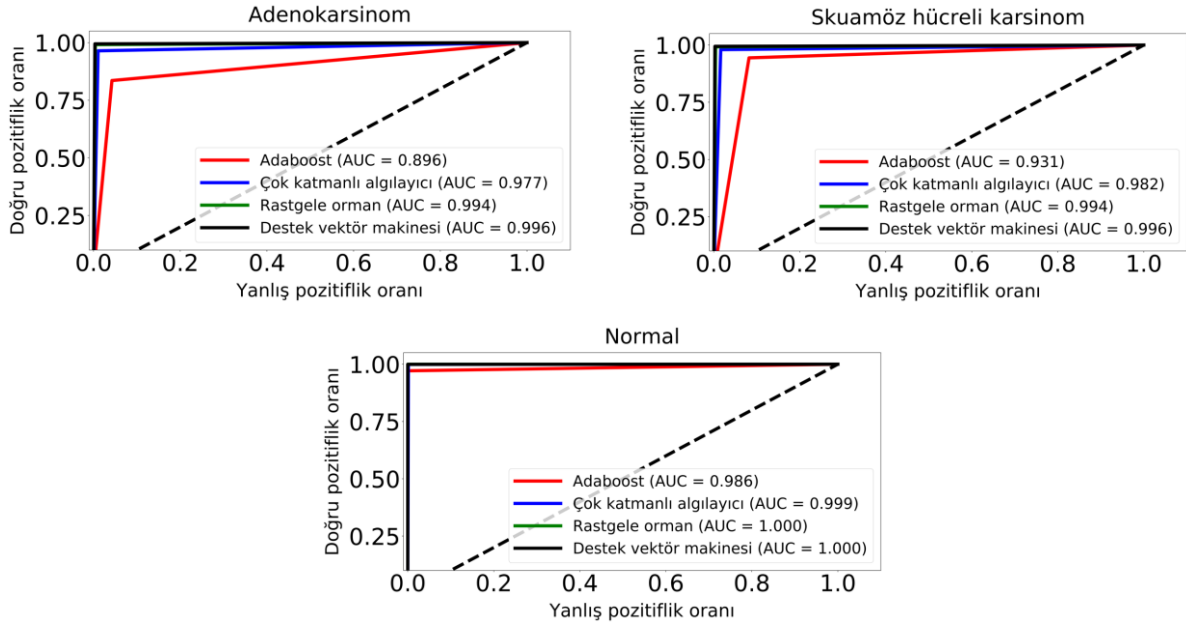
Model	Sınıflandırıcı	Kat	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	F <sub>1</sub> ölçütü
<b>VGG16+ MobileNetV2+ Xception</b>	Adaboost	1	0.94133	0.91200	0.95100	0.93020	0.91200
		2	0.94422	0.91633	0.97400	0.95883	0.91633
		3	0.95000	0.92500	0.97350	0.96007	0.92500
		4	0.94556	0.91833	0.97967	0.96647	0.91833
		5	0.94178	0.91267	0.95750	0.93808	0.91267
	Çok katmanlı algılayıcı	1	0.99822	0.99733	0.99833	0.99767	0.99733
		2	0.99622	0.99433	0.99617	0.99467	0.99433
		3	0.99844	0.99767	0.99700	0.99600	0.99767
		4	0.99800	0.99700	0.99750	0.99667	0.99700
		5	0.99622	0.99433	0.99650	0.99533	0.99433
	Rastgele orman	1	0.98711	0.98067	0.98933	0.98556	0.98067
		2	0.99022	0.98533	0.99100	0.98763	0.98533
		3	0.98511	0.97767	0.98500	0.97958	0.97767
		4	0.98844	0.98267	0.99217	0.98889	0.98267
		5	0.98644	0.97967	0.98933	0.98487	0.97967
	Destek vektör makinesi	1	0.99644	0.99467	0.99500	0.99335	0.99467
		2	0.99600	0.99400	0.99650	0.99532	0.99400
		3	0.99733	0.99600	0.99650	0.99534	0.99600
		4	0.99644	0.99467	0.99683	0.99566	0.99467
		5	0.99533	0.99300	0.99550	0.99399	0.99300

Çalışmada makine öğrenmesi sınıflandırıcı performanslarını değerlendirmek amacıyla en yüksek ortalama sınıflandırma başarısına sahip öz-niteliklerin birlikte kullanıldığı duruma ait karmaşıklık matrisleri (confusion matrix) elde edilmiştir. Her bir sınıflandırıcıya ait karmaşıklık matrisleri Şekil 3’te sunulmuştur. Şekil 3’ten görülebileceği üzere normal dokuların sınıflandırılmasında en iyi performansı sağlayan sınıflandırıcı destek vektör makinesi olurken adenokarsinom ve skuamöz hücreli karsinom dokuların sınıflandırılmasında en iyi performansı sağlayan sınıflandırıcı çok katmanlı algılayıcı olmuştur. Adaboost yöntemi ise en düşük performansı sergileyen sınıflandırıcı olmuştur.



Şekil 3. Sınıflandırıcılara ait karmaşıklık matrisleri

Bu çalışmada makine öğrenmesi sınıflandırıcı performansları ayrıca AUC – ROC (Area Under The Curve - Receiver Operating Characteristics) eğrileri ile de değerlendirilmiştir. Her bir durumda sınıflandırıcılara ait ROC eğrileri ve AUC değerleri Şekil 4’te verilmiştir.



Şekil 4. Sınıflandırıcılara ait ROC eğrisi ve AUC değerleri

## 5. Tartışma

Tablo 4’te akciğer kanseri teşhisi için geliştirilen modeller ve literatürde kullanılan veri setleri üzerindeki performansları sunulmuştur. Tablo 4’ten görüleceği üzere araştırmacılar akciğer kanseri tanısında hem geleneksel makine öğrenmesi yöntemlerini hem de derin öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. Geleneksel makine öğrenmesi yöntemleri ile en yüksek başarı %97.97 ile Chauhan ve Jaiswal tarafından gerçekleştirilen çalışmada elde edilirken, derin öğrenme yöntemleri ile en yüksek

başarı %100 ile Garg ve Garg [19] tarafından gerçekleştirilen çalışmada kullanılan önceden eğitilmiş derin öğrenme modelleri ile elde edilmiştir. Bu çalışmada önerilen yaklaşım ise literatürde aynı veri setini kullanan modellerle karşılaştırıldığında; modelin sınıflandırma başarısının %97.22 doğruluk değeri ile üst noktalara yakın olduğu görülmektedir. Öte yandan diğer birçok çalışmada [17, 19, 20] sınıflandırma işlemi orijinal veri seti üzerinde değil veri artırımı yapılmış bir veri setinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada önerilen model orijinal veri setini kullanan Masud ve diğ., [18] tarafından önerilen model ile karşılaştırıldığında bu çalışmada önerilen yaklaşımın daha yüksek doğruluk değeri elde ettiği görülmektedir.

**Tablo 4.** Literatürde önerilen yaklaşımların sonuçlarının karşılaştırılması

Yazar	Yöntem	Veri Seti	Performans
Dandıl ve diğ. [7]	Yapay sinir ağları	Özel veri seti (128)	Doğruluk: %90.63
Chauhan ve Jaiswal [8]	Temel bileşenler analizi ve lineer diskriminant analizi	Özel veri seti (120)	Doğruluk: %97.97
Shen ve diğ. [12]	Çok ölçekli konvolüsyonel sinir ağları	LIDC-IDRI (1375)	Doğruluk: %86.84
Rao ve diğ. [13]	Konvolüsyonel sinir ağları	LIDC-IDRI (1000)	Doğruluk: %76
Alakwaa ve diğ. [14]	3D konvolüsyonel sinir ağı modeli	Kaggle veri seti (1397)	Doğruluk: %86.60
Song ve diğ. [15]	Konvolüsyonel sinir ağları	LIDC-IDRI (5024)	Doğruluk: %84.15
Shakeel ve diğ. [16]	Önceden eğitilmiş derin öğrenme modeli	LIDC-IDRI (5043)	Doğruluk: %98.42
Abbas ve diğ. [17]	ResNet-101	LC25000(15000)	Doğruluk: %99.80
Masud ve diğ. [18]	Konvolüsyonel sinir ağları	LC25000(25000)	Doğruluk: %96.33
Garg ve Garg [19]	InceptionV3, InceptionResNetV2, Xception, MobileNet, DenseNet169	LC25000(15000)	Doğruluk: %100
Hatuwal ve Thapa [20]	Konvolüsyonel sinir ağları	LC25000(15000)	Doğruluk: %97.20
<b>Bu çalışmada önerilen yaklaşım</b>	<b>VGG16+ MobileNetV2 + Xception</b>	<b>LC25000(15000)</b>	<b>Doğruluk: %97.22</b>

## 6. Sonuç

Bu çalışmada önceden eğitilmiş derin öğrenme yöntemleri ve klasik makine öğrenmesi yöntemleri birlikte kullanılarak akciğer histopatoloji görüntülerinden adenokarsinom, skuamöz hücreli karsinom ve normal dokuların sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. 9 farklı önceden eğitilmiş derin öğrenme mimarisi kullanılarak çıkarılan özellikler 4 farklı makine öğrenmesi yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Deneysel sonuçlar çalışmada önerilen hibrit modelin %97.22 ortalama sınıflandırma başarısı ile akciğer kanserinin erken teşhisi için faydalı olduğunu göstermektedir.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Torre L.A., Siegel R.L., Jemal A. 2019. Lung cancer statistics. Lung Cancer and Personalized Medicine, 1–19.
- [2] Rosamaria P., Daniela P., Rosanna L., Michele M., Annamaria C., Pamela P., Antonietta B.M., Alfredo Z.F., Gabriella D.B., Antonia Z., others 2019. KRAS-driven lung adenocarcinoma and B cell infiltration: novel insights for immunotherapy. Cancers. 11 (8): 1145.

- [3] Gan Z., Zou Q., Lin Y., Huang X., Huang Z., Chen Z., Xu Z., Lv Y. 2019. Construction and validation of a seven-microRNA signature as a prognostic tool for lung squamous cell carcinoma. *Cancer Management and Research*, 11: 5701.
- [4] Ranschaert E.R., Morozov S., Algra P.R. (ed) 2019. *Artificial Intelligence in Medical Imaging: Opportunities, Applications and Risks*. Springer
- [5] Janowczyk A., Madabhushi A. 2016. Deep learning for digital pathology image analysis: a comprehensive tutorial with selected use cases. *Journal of Pathology Informatics*, 7.
- [6] Abdullah D.M., Ahmed N.S. 2021. A review of most recent lung cancer detection techniques using machine learning. *International Journal of Science and Business*, 5 (3): 159–173.
- [7] Dandl E., Çakiroğlu M., Ekşi Z., Özkan M., Kurt Ö.K., Canan A. 2014. Artificial Neural Network-based Classification System for Lung Nodules on Computed Tomography Scans. 2014 6th International conference of soft computing and pattern recognition (SoCPaR). 382–386.
- [8] Chauhan D., Jaiswal V. 2016. An Efficient Data Mining Classification Approach for Detecting Lung Cancer Disease. 2016 International Conference on Communication and Electronics Systems (ICCES). 1–8.
- [9] Faisal M.I., Bashir S., Khan Z.S., Khan F.H. 2018. An Evaluation of Machine Learning Classifiers and Ensembles for Early Stage Prediction of Lung Cancer. 2018 3rd International Conference on Emerging Trends in Engineering, Sciences and Technology (ICEEST). 1–4.
- [10] Nasser I.M., Abu-Naser S.S. 2019. Lung cancer detection using artificial neural network. *International Journal of Engineering and Information Systems*, 3 (3): 17–23.
- [11] Thallam C., Peruboyina A., Raju S.S.T., Sampath N. 2020. Early Stage Lung Cancer Prediction Using Various Machine Learning Techniques. 2020 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA). 1285–1292.
- [12] Shen W., Zhou M., Yang F., Yang C., Tian J. 2015. Multi-Scale Convolutional Neural Networks for Lung Nodule Classification. *International Conference on Information Processing in Medical Imaging*, 588–599.
- [13] Rao P., Pereira N.A., Srinivasan R. 2016. Convolutional Neural Networks for Lung Cancer Screening in Computed Tomography (CT) Scans. 2016 2nd International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), 489–493.
- [14] Alakwaa W., Nassef M., Badr A. 2017. Lung cancer detection and classification with 3D convolutional neural network (3D-CNN). *Lung Cancer*. 8 (8): 409.
- [15] Song Q., Zhao L., Luo X., Dou X. 2017. Using deep learning for classification of lung nodules on computed tomography images. *Journal of Healthcare Engineering*, 8314740.
- [16] Shakeel P.M., Burhanuddin M.A., Desa M.I. 2019. Lung cancer detection from CT image using improved profuse clustering and deep learning instantaneously trained neural networks. *Measurement*, 145: 702–712.
- [17] Abbas M.A., Bukhari S.U.K., Syed A., Shah, S.S.H. 2020. The Histopathological Diagnosis of Adenocarcinoma & Squamous Cells Carcinoma of Lungs by Artificial intelligence: A comparative study of convolutional neural networks. medRxiv.
- [18] Masud M., Sikder N., Nahid A.-A., Bairagi A.K., AlZain M.A. 2021. A machine learning approach to diagnosing lung and colon cancer using a deep learning-based classification framework. *Sensors*. 21 (3): 748.
- [19] Garg S., Garg S. 2020. Prediction of Lung and Colon Cancer through Analysis of Histopathological Images by Utilizing Pre-trained CNN Models with Visualization of Class Activation and Saliency Maps. 2020 3rd Artificial Intelligence and Cloud Computing Conference, 38–45.
- [20] Hatuwal B.K., Thapa H.C. 2020. Lung cancer detection using convolutional neural network on histopathological images. *International Journal of Computer Trends and Technology*, 68 (10): 21–24.
- [21] Borkowski A.A., Bui M.M., Thomas L.B., Wilson C.P., DeLand L.A., Mastorides S.M. 2019. Lung and colon cancer histopathological image dataset (lc25000). arXiv Prepr. arXiv1912.12142.
- [22] Christodoulidis S., Anthimopoulos M., Ebner L., Christe A., Mougiakakou S. 2016. Multisource transfer learning with convolutional neural networks for lung pattern analysis. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21 (1): 76-84.

- [23] Tajbakhsh N., Shin J.Y., Gurudu S.R., Hurst R.T., Kendall C.B., Gotway M.B., Liang J. 2016. Convolutional neural networks for medical image analysis: full training or fine tuning? *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 35 (5): 1299-1312.
- [24] Pan S.J., Yang Q. 2009. A survey on transfer learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 22 (10): 1345-1359.
- [25] Freund Y., Schapire, R.E. 1997. A decision-theoretic generalization of on-line learning and an application to boosting. *Journal of Computer and System Sciences*, 55 (1): 119-139.
- [26] Duda R.O., Hart P.E., others 2006. *Pattern Classification*. John Wiley & Sons.
- [27] Breiman L. 2001. Random forests. *Machine Learning*, 45: 5–32.
- [28] Cortes C., Vapnik V. 1995. Support-vector networks. *Machine Learning*, 20: 273–297.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Improving Machine Learning Performance of Imbalanced Data by Resampling: DBSCAN and Weighted Arithmetic Mean**

Serkan GÜLDAL\*

*Adiyaman University, Art and Science Faculty, Physics Department, Adiyaman  
(ORCID: [0000-0002-4247-0786](https://orcid.org/0000-0002-4247-0786))*

---

### **Abstract**

Improvement of digital technology has caused the collected data sizes to increase at an accelerating rate. The increase in data size comes with new problems such as imbalanced data. If a dataset is imbalanced, the classes are not equally distributed. Therefore, the classification of the data causes performance losses since the classification algorithms assume the datasets are balanced. While the classification favors the majority class, the minority class is often misclassified. To reduce the imbalanced ratio, various studies have been performed in recent years. In general terms, these studies are undersampling, oversampling, or both to balance the imbalanced datasets. In this study, an oversampling method is proposed employing distance combined with mean based resampling method to produce synthetic samples for the minority class. For the resampling process, the distances between pairs are calculated by the Euclidean distance metric between the minority class members. Based on the calculated distances, the denser zones are identified in the sense of DBSCAN around every datum. The new synthetic samples are formed between the points in the zones and central points by using the Weighted Arithmetic Mean. Thus, in this study, the dataset has been approximated 500 (majority) and 535 (from 268 minority data). Moreover, Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM) algorithms are used for the classification of raw and balanced datasets. The result showed that the proposed method has the best machine learning performance among all the listed methods.

**Keywords:** Machine Learning, Random Forest, Support Vector Machine, Synthetic Data, Medical Data

---

## **Dengesiz Verilerin Yeniden Örnekleme ile Makine Öğrenimi Performansını İyileştirilme: DBSCAN ve Ağırlıklı Aritmetik Ortalama**

### **Öz**

Dijital teknolojinin gelişmesi, toplanan veri boyutlarının artan bir hızla artmasına neden olmuştur. Veri boyutundaki artış, dengesiz veri gibi yeni sorunları da beraberinde getirmektedir. Bir veri kümesi dengesizse, sınıflar eşit olarak dağıtılmamıştır. Bu nedenle, sınıflandırma algoritmaları veri kümeleri dengelenmiş varsayımı ile tasarlandığından, veriler sınıflandırılırken performans kayıplarına neden olur. Sınıflandırma çoğunluk sınıfını desteklerken, azınlık sınıfı genellikle yanlış sınıflandırılır. Veri setlerinin dengesizliklerini azaltmak için son yıllarda çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Genel anlamda, bu çalışmalar veri kümelerini dengelemek için yetersiz örnekleme, aşırı örnekleme veya her ikisi şeklindedir. Bu çalışmada, sentetik numuneler üretmek için ortalama ile birleştirilmiş uzaklık tabanlı azınlık sınıfını yeniden örnekleme yönteminin kullanıldığı bir aşırı örnekleme yöntemi önerilmiştir. Yeniden örnekleme işlemi için azınlık sınıfındaki çiftler arasındaki uzaklıklar Öklid uzaklık metriği ile hesaplanır. Hesaplanan mesafeler göz önünde bulundurularak, yoğun bölgeler DBSCAN yöntemi dikkate alınarak her veri noktası etrafında tanımlanır. Yeni sentetik numuneler, Ağırlıklı Aritmetik Ortalama kullanılarak bölgenin içinde kalan noktalar ile merkez noktalar arasında oluşturulur. Böylece bu çalışmada veri seti 500 (çoğunluk) ve 535 (268 azınlık verisinden) olarak yeniden tanımlanmıştır. Ham ve dengeli veri kümelerini Rastgele Orman (RF) ve Destek Vektör Makinesi (SVM) algoritmaları ile sınıflandırılmıştır. Sonuçlar önerilen yöntemin listelenen tüm yöntemler arasında en iyi makine öğrenimi performansına sahip olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Makine Öğrenimi, Rastgele Orman, Destek Vektör Makinesi, Sentetik Veri, Tıbbi Veri

---

\*Corresponding author: [SrknGldl@hotmail.com](mailto:SrknGldl@hotmail.com)

Received: 20.08.2021, Accepted: 12.10.2021

## 1. Introduction

Machine Learning (ML) methods are widely used in data research such as the medical diagnosis of diseases [1]. More specifically, supervised ML methods are trained by the available medical data for the prediction of medical diagnosis, so high-quality data becomes crucial to increase accuracy of the diagnosis. One of the important factors is the balance ratio between labeled data. The nature of the collected medical data is being imbalanced. The imbalanced data has a worsening effect on the performance of predictive ML algorithms on the raw dataset [2, 3]. To increase the accuracy of the prediction, the classes need to be balanced [4, 5]. Several methods have been developed to prevent performance losses such as Random Over Sampling (ROS) [6], Random Under Sampling (RUS) [7, 8], and Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) [9, 10].

Imbalanced data indicates that the majority class is more assertive in classification methods, and the minority class is generally ignored [9, 11]. Therefore, increasing misclassified cases reduces the accuracy and other performance measurements of the model [12]. Additionally, ROS, RUS, and SMOTE have been proposed to improve the balance, so the performance of the classifier algorithm [13]. SMOTE, which produces synthetic data, is one of the well-known sampling methods which increases the accuracy rate [9, 14].

Before synthetic data generation, the pairs in the dataset need to be identified based on the data topology. In our study, we use Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) since it prioritize the denser areas of minority data distribution. DBSCAN is a clustering algorithm which finds the central data point(s) and expands the classification around it [15, 16]. Thus, it solely adopts the data distribution. DBSCAN is applied in many fields such as anomaly detection, medical imaging, and video processing [17-22]. In our study, we consider every data point a central point, so we identify the closest neighbors for the rest of the data set with the specified point. More details are given in the following sections.

In this study, a synthetically generated sample by means of the Weighted Arithmetic Mean (WAM) approach uses a dataset with an imbalanced distribution of diabetes patients. The study aims to balance the raw data to increase accuracy. The balanced dataset is classified by Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM) algorithms, and the results are presented. As performance indicators, Accuracy (Acc), Precision (P), Recall (R), F1 score (F1), and Area Under Receiver Operating Characteristic curve (ROC) values are taken into account.

## 2. Materials and Method

### 2.1. Dataset Used

In this study, Pima Indians real diabetes dataset is used from KEEL (Knowledge Extraction based on Evolutionary Learning) opensource software tool site [23]. The dataset purposes to diagnose whether a patient is diabetic based on related diagnostic measurements. In this dataset, a total of 768 patient women were subjected, including 500 of whom not having diabetes and 268 of whom having diabetes. 8 attributes are available, namely Pregnancies, Glucose, Blood pressure (mm Hg), Skin thickness (mm), Insulin ( $\mu$  U/ml), Body mass index (weight in kg/(height in m)<sup>2</sup>), Diabetes pedigree function, Age (years), and Outcome (Diabetic = 1 and Non-Diabetic = 0). Therefore, the results of the trained ML model show whether the patient is diabetic.

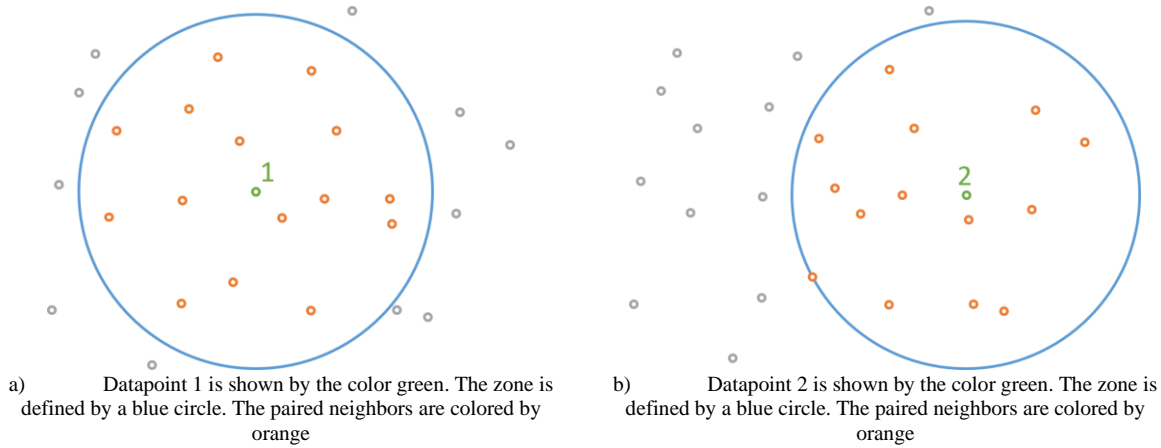
The imbalance ratio between the majority and minority classes is 53%. In this study, the diabetic patient population in the minority class is resampled and approximated to the majority class to balance the available data.

### 2.2. Proposed Method

In this study, the Euclidean distance metric is used to identify the distance between pairs. DBSCAN algorithm defined the neighbors around the selected datum with a specified range in the minority class. In Figure 1, the DBSCAN method is shown for the same data and 2 different points. In Figure 1.a, datapoint 1 is paired with 15 other datapoints. In Figure 1.b, datapoint 2 is paired with 14 other datapoints. Likewise, pairs are defined for all data points. If the total number of data points does not



equal or more than the missing number of data, the zone radius is increased and then the same process goes over. The zone is expanded until the required number of data points is obtained.



**Figure 1.** DBSCAN method pairs the central point with the neighbors in the zone.

By using Weighted Arithmetic Mean (WAM), among the pairs, synthetic data is generated in an amount close to the number of data required to balance. The steps of the developed method are listed as follows.

- First, the imbalance ratio is calculated by dividing the number of samples into classes. If the dataset has considerably imbalanced, further steps are applied.
- The Euclidean distances are calculated between minority pairs. If the considered data points  $x$  and  $y$ , all attributes are included to calculate the distance

$$\begin{aligned} x &= [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \\ y &= [y_1, y_2, \dots, y_n]^T \end{aligned} \tag{1}$$

- The Euclidean distance metric is shown by formula 2.

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \tag{2}$$

- For each data point, a zone is determined then the remaining samples within the zone were paired with the selected datum. The radius of the zone is extended until the data is balanced by using brute force.
- We use Weighted Arithmetic Mean (WAM) to generate the synthetic samples between pairs. The WAM for vectors is defined as follows: Let  $\alpha$  be a random number from  $[0,1]$ . For the given  $x$  and  $y$  in equation 3, the equation to generate WAM is given in equation 4.

$$\begin{aligned} x &= [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in R_+^n \\ y &= [y_1, y_2, \dots, y_n]^T \in R_+^n \end{aligned} \tag{3}$$

$$x \Delta y = \begin{bmatrix} x_1(1 - \alpha) + \alpha y_1 \\ x_2(1 - \alpha) + \alpha y_2 \\ \vdots \\ x_n(1 - \alpha) + \alpha y_n \end{bmatrix} \tag{4}$$

- Therefore, for generating synthetic samples, we use the following formula,

$$S_{new} = x \Delta y \quad (5)$$

- Formula 5 is repeated until all of the selected pairs are consumed.

The introduced method is depicted by a flowchart diagram in Figure 5 in the appendix.

## 2.3. Classifiers: Random Forest and Support Vector Machine

### 2.3.1. Random Forest

There exist numerous classification techniques such as Decision Trees, K-Nearest Neighbor, Random Forest, Support Vector Machine. Relatively, its simplicity, comprehensibility, and high predictive efficiency, decision trees are the most preferred method among these. Although decision trees have many advantages over the other classifiers, they have some disadvantages, including inconsistency. The inconsistencies are eliminated by constructing a random forest made of decision trees. Random Forest (RF) algorithm makes predictions based on several classifiers rather than a single classifier to improve the performance. In general terms, RF takes a random subset of variables to obtain a split at each node of the trees. For classification, the input vector is transferred to each tree in the algorithm, and an overall decision is done by each tree casts a vote for one of the classes. The class that has the most votes is chosen by the algorithm [24].

Throughout our analysis, the training dataset makes up 60% of the data and the test dataset makes up 40%. The training dataset is used to train the tree, while the test dataset is used to figure out the generalized error rate of the tree. The analysis is based on 1500 runs of RF to extract the statistically significant result and to prevent any error is done by the selection.

### 2.3.2. Support Vector Machine

Vapnik suggested the Support Vector Machine (SVM) algorithm as a modern solution for pattern recognition problems [25]. The SVM algorithm maps the data into a high-dimensional feature hyperspace in order to find the best separating hyperplane by optimizing the margin between classes. The SVM algorithm is known as a supervised machine learning algorithm. In the algorithm, new objects can be classified using an SVM classifier by adequate training and testing results. The SVM algorithm is a proven method for various classification problems including medical diagnostics and text characterization. In our study, we used SVM classifiers based on the SVM algorithm [26]. Mathematical representation is shown in equation 6 which indicates the separating hyperplane for the classes from the training set.

$$\langle w, z \rangle + b = 0 \quad (6)$$

where  $w$  is a vector-perpendicular to the separating hyperplane, and  $b$  is the shortest distance between the origin and the hyperplane. Also  $\langle w, z \rangle$  is the dot product of  $w$  and  $z$ . The objects that are nearest to the separating hyperplane are precisely on the margins [26].

## 2.4. Model Performance Measurements

For binary classification, a confusion matrix is shown in **Table 1** to evaluate the performance of machine learning methods. The columns present predictions and the rows present the actual values. In the confusion matrix, TP, FP, TN, FN represents True Positive, False Positive, True Negative, and False Negative respectively.

**Table 1.** Confusion matrix for binary classification

	<b>Predicted class Positive (Diabetic = 1)</b>	<b>Predicted class Negative (Non- Diabetic = 0)</b>
<b>Actual class Positive (Diabetic = 1)</b>	True Positive (TP)	False Negative (FN)
<b>Actual class Negative (Non-Diabetic = 0)</b>	False Positive (FP)	True Negative (TN)

Based on the confusion matrix, a variety of evaluation metrics are created. In the present study, widely accepted measurements such as Accuracy, Recall, Precision, F1 score, and Area Under Receiver Operating Characteristic curve were utilized as the performance indicators [27].

Accuracy is defined by the ratio of samples correctly classified to the number of all samples.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \quad (7)$$

The recall is the ratio of samples correctly classified as positive to the total number of positive samples.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (8)$$

Precision is the ratio of samples correctly classified as positive by the total number of samples classified as positive.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (9)$$

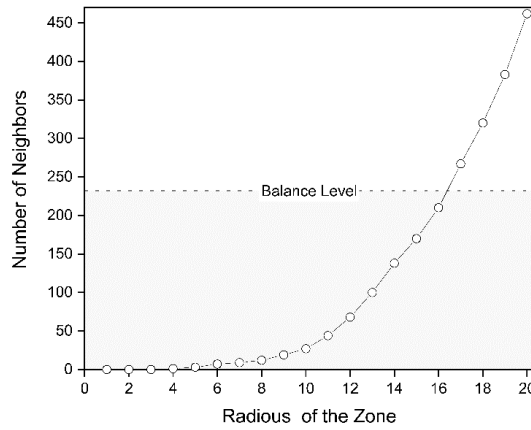
F1 score is the harmonic mean of Precision and Recall scores.

$$F1 \text{ score} = 2 * \frac{Precision * Recall}{Precision + Recall} \quad (10)$$

### 3. Results and Discussions

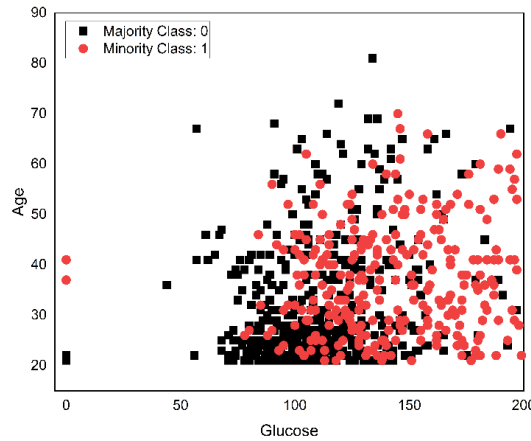
The Pima Indians Diabetes dataset is used throughout the study. In the study, the performance increase is aimed by means of DBSCAN with the Weighted Arithmetic Mean (WAM) resampling method. The total number of patients in the dataset is 768. 500 of them are non-Diabetic (majority class, 0) and 268 of them are Diabetic (minority class, 1). The minority class is resampled synthetically in order to minimize the imbalance rate and provide a balanced dataset. To obtain perfect balance minority class needs to resample 232 times.

Based on the DBSCAN method, the paired neighbor zone is identified by brute force. In **Figure 2**, the zone for DBSCAN is expanded, and for the specified zone, a total number of paired neighbors are given. The sufficient number of neighbors which 267 are obtained for radius 17. 267 synthetic samples were generated from minority class samples by WAM, yielding a total number of 535 samples for the minority class.

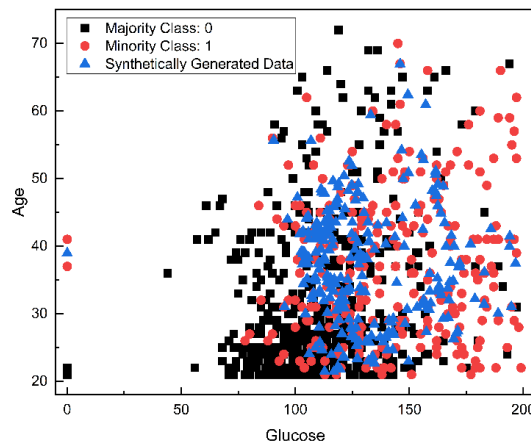


**Figure 2.** The zone is expanded until 20-unit length radius. For radius 17, 267 pairs which are sufficient to balance the dataset are identified.

The PIMA dataset is presented by Age and Glucose attributes in 2-dimensional graph to illustrate the imbalanced and balanced dataset classes distributions. The original data and balanced data are represented in **Figure 3** and **4**, respectively.



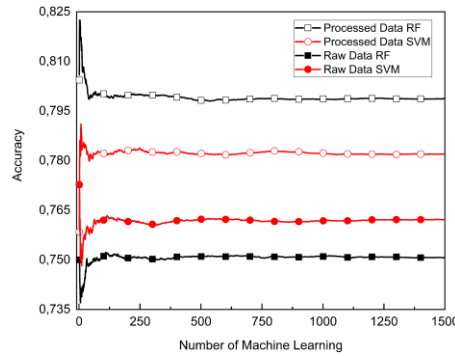
**Figure 3.** (Color online) The raw dataset is 500 majority and 268 minority classes.



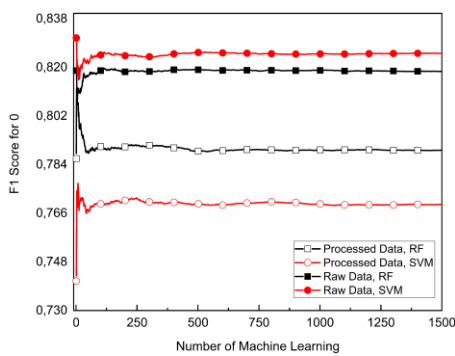
**Figure 4.** (Color online) Resampled data with the original data. Additional to the original data, 267 synthetic data are generated by DBSCAN.

In this study, we used Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM) as the classifiers. The data is divided into sections randomly as 60% for training and 40% for testing. The classifications are repeated 1500 times for the same datasets with different training and test sets to prevent any selection bias.

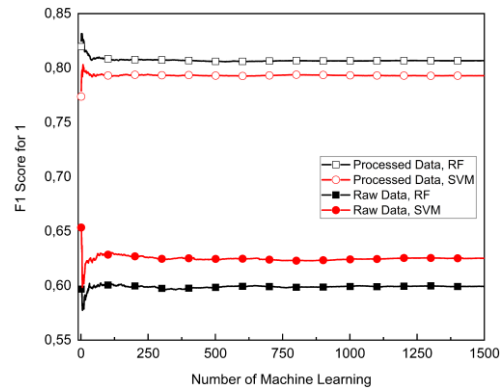
We have used Accuracy, Recall, Precision, F1 score, and Area Under Receiver Operating Characteristic curve (ROC) to measure the performance of ML. **Figure .a** shows the cumulative accuracy of the predictions which are done by ML. The results show that RF has a slight performance improvement, but SVM is significantly benefited from synthetically generated data. In **Figure .b** and **c**, cumulative F1 scores are shown for minority class, 1, and majority class, 0. While synthetic data improve the F1 score of the minority class, the majority class is negatively affected. The measurements show a similar result for Recall and ROC (See **Figure .f, g, h, and i**), but Precision. The cumulative precision score for the majority class shows an atypical behavior in **Figure .d**. While SVM has improved Precision score, RF has affected otherwise. In the study, both classification algorithms show a similar trend with various amounts. This is not the case for the Precision score of the majority class as in **Figure .e**. Lastly, the measurement results are averaged and summarized in **Table 2** and **Table 3**.



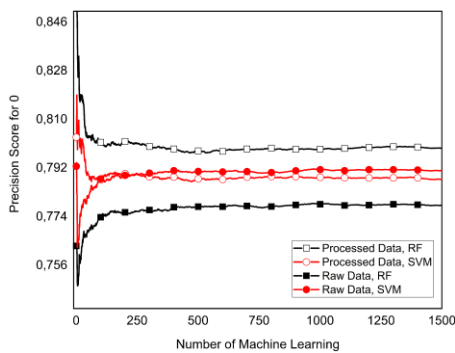
a) Cumulative accuracy scoring shows balanced dataset has better performance.



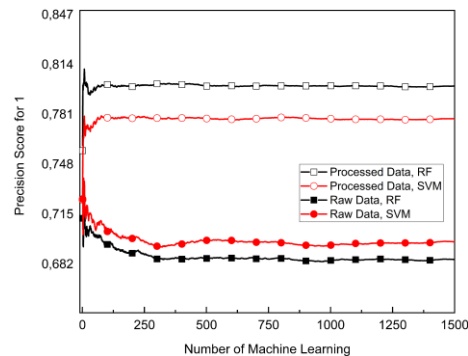
b) 0 which is initially the majority class has a relatively lower cumulative F1 score after the dataset is balanced.



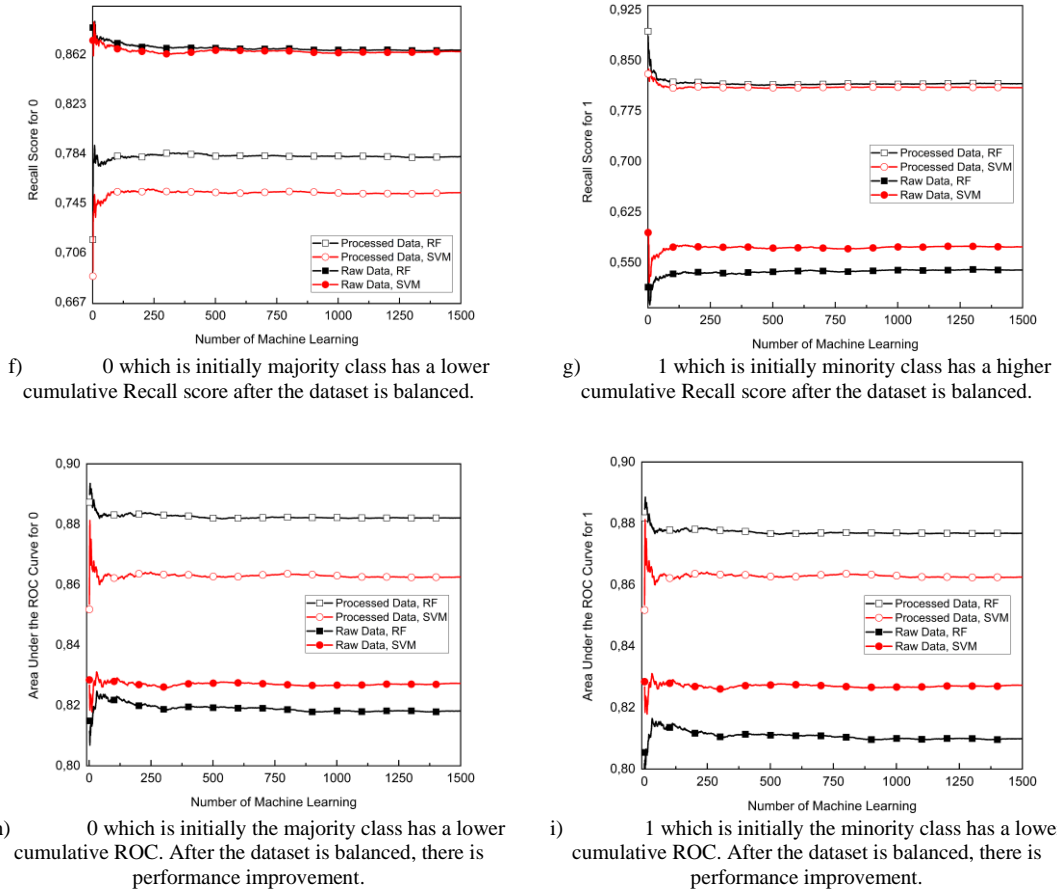
c) 1 which is initially the minority class has a relatively higher cumulative F1 score after the dataset is balanced.



d) 0 which is initially majority class has a relatively lower cumulative Precision after the dataset is balanced for SVM classification. However, there is an increment of the Precision score for RF classification



e) 1 which is initially a minority class has a higher cumulative Precision score after the dataset is balanced.



**Figure 5.** Cumulative performance measurements of ML classifications for 1500 repeats

The average of the measurements provides a conclusive result as shown in **Table 2** and **Table 3** for RF and SVM respectively.

In **Table 2**, the original dataset and the synthetically generated datasets (by RUS, ROS, and SMOTE) are trained and tested by RF and SVM. The synthetically generated data provide an improvement on performance scores. The accuracy score of original data increased from 0.751 to 0.737, 0.757, and 0.785 for Raw, RUS, ROS, and SMOTE respectively. However, our proposed, DBSCAN combined with WAM, the method has the best performance, 0.798 in the listed methods. Similarly, our method has the best score for other quality measurements. For example, for minority class, the Precision score is increased from 0.685 to 0.799, the Recall score is increased from 0.539 to 0.815, the F1 score is increased from 0.599 to 0.806, and ROC is increased from 0.809 to 0.876. Additionally, there is an improvement in the Precision (from 0.778 to 0.799) and ROC (from 0.818 to 0.882) value of the majority class (0)

**Table 2.** Performance values of Pima dataset classification results with Random Forest

Dataset	Class	Accuracy	Precision	Recall	F1 Score	ROC
Raw	0	0.751	0.778	<b>0.865</b>	0.819	0.818
	1		0.685	0.539	0.599	0.809
RUS	0	0.737	0.733	0.749	0.738	0.817
	1		0.746	0.726	0.733	0.818
ROS	0	0.757	<b>0.891</b>	0.733	<b>0.827</b>	0.817
	1		0.505	0.710	0.588	0.817
SMOTE	0	0.785	0.789	0.784	0.784	0.863
	1		0.784	0.786	0.786	0.863
DBSCAN WAM	0	<b>0.798</b>	0.799	0.781	0.789	<b>0.882</b>
	1		<b>0.799</b>	<b>0.815</b>	<b>0.806</b>	<b>0.876</b>

Likewise, all datasets are trained and tested under the same condition by SVM. The summarized results are given in Table 3. Synthetically generated datasets by RUS and ROS shows lower performance than Raw data. The accuracy score is from 0.762 to 0.738 and 0.737 for RUS and ROS respectively. The SMOTE algorithm provides slide improvement of Accuracy. The proposed algorithm has the best Accuracy performance of all by 0.781. Similarly, the other quality factors for minority class are the best between the listed synthetic data generation methods such as 0.778, 0.809, 0.792, and 0.862 for Precision, Recall, F1 Score, and ROC respectively. Additionally, ROC performance for the majority class is the best (0.862) by the proposed method.

To sum up, the classification results are summarized in Table 2 and Table 3, the minority group of the resampled dataset generally produced the best performance results against the raw data in all metrics. Additionally, the comparison of classification algorithms shows that the Random Forest is more successful than the Support Vector Machine result for synthetically generated datasets from the considered dataset.

**Table 3.** Performance Values of Pima Dataset Classification Results with SVM Algorithm.

Dataset	Class	Accuracy	Precision	Recall	F1 Score	ROC
Raw	0	0.762	0.791	<b>0.864</b>	<b>0.825</b>	0.827
	1		0.697	0.573	0.625	0.827
RUS	0	0.738	0.741	0.736	0.737	0.830
	1		0.738	0.741	0.738	0.830
ROS	0	0.737	<b>0.895</b>	0.738	0.808	0.822
	1		0.481	0.736	0.579	0.822
SMOTE	0	0.764	0.776	0.745	0.759	0.850
	1		0.755	0.784	0.768	0.850
DBSCAN WAM	0	<b>0.781</b>	0.787	0.753	0.769	<b>0.862</b>
	1		<b>0.778</b>	<b>0.809</b>	<b>0.792</b>	<b>0.862</b>

#### 4. Conclusions

Improvement of digital technology causes increasing data collection. In the collected data, the imbalanced dataset is an emerging problem. A high imbalance ratio between the data classes reduces the Machine Learning (ML) performance considerably. To remedy ML performance, a synthetic sample generating method is introduced in this study. The Euclidean distance metric is used to calculate the distance between minority class. The DBSCAN methodology is used to identify the dense zones around every point. The zones are expanded until a sufficient number of pairs are obtained. Therefore, between the points in the zone and the central points, synthetic data is generated by Weighted Arithmetic Mean (WAM). The imbalanced and balanced datasets are classified using the Random Forest (RF) and Support Vector Machine (SVM). When the quality metrics of ML for raw and resampled datasets were compared, the resampled dataset with proposed methods are showed better performance measurement. Additionally, the performance measurements show the proposed method has the best of the listed methods such as ROS, RUS, and SMOTE. The best accuracy performance is 0.798 and ROC performances are 0.882 (for majority class, 0) and 0.876 (for minority class, 1), and the best minority class scores for Precision, Recall, and F1 Score are respectively, 0.799, 0.815, and 0.806 are obtained by the proposed resampling method.

To sum up, the result of the experimental study, the dataset balanced using the proposed method based on DBSCAN combined with WAM is more successful than the raw dataset and the other listed methods.

#### Acknowledgments

The authors gratefully share their appreciation to İbrahim Halil Gümüş and Mustafa Yavaş. Technical discussion with them, and their encouragement is a key part to mature this research.

## The Declaration of Publishing Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

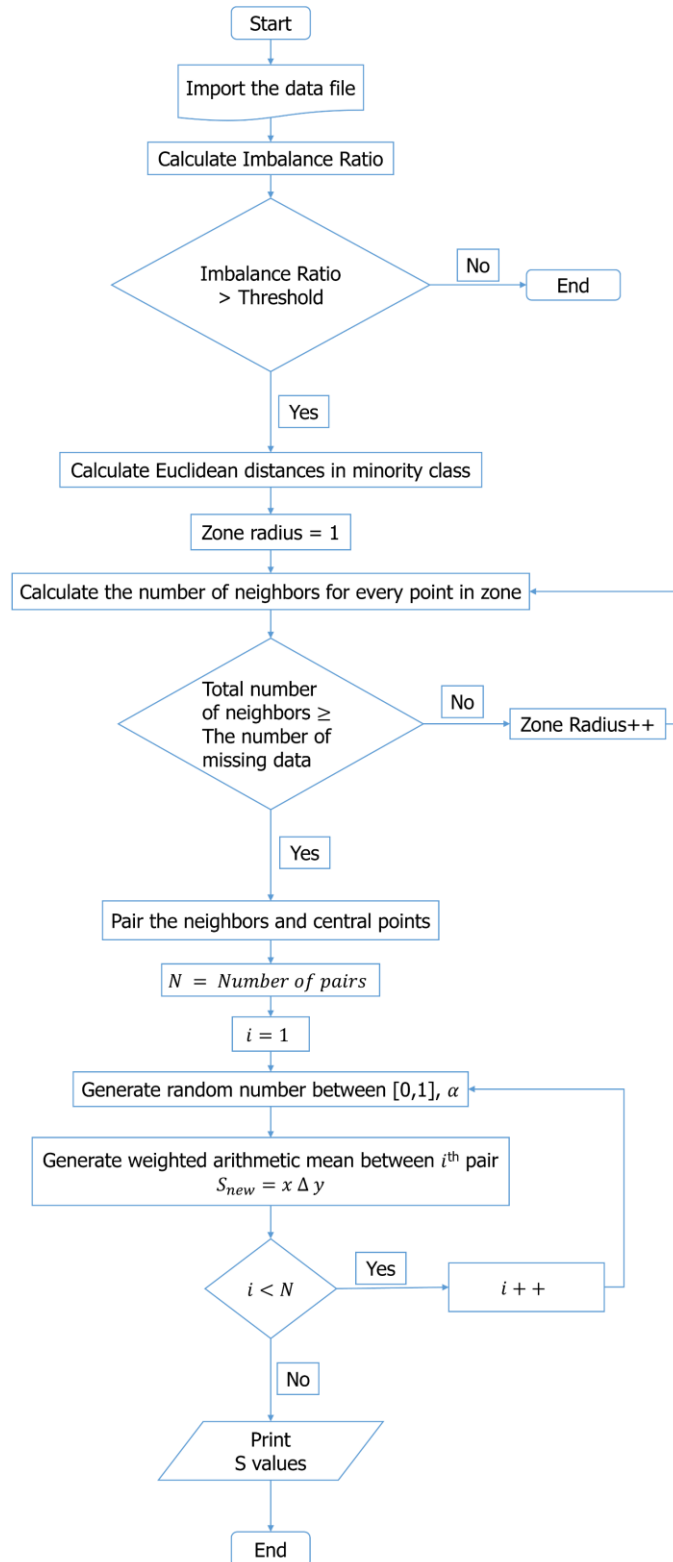
- [1] Gopinath M., Aarthy S., Manchanda A. 2019 Machine Learning on Medical Dataset. in Information Systems Design and Intelligent Applications, S. C. Satapathy, V. Bhateja, R. Somanah, X.-S. Yang, and R. Senkerik Eds. Singapore: Springer. 133-143.
- [2] He H., Garcia E. A. 2009. Learning from imbalanced data. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 21 (9): 1263-1284.
- [3] Weiss G. M. 2004. Mining with rarity: a unifying framework. SIGKDD Explorations Newsletter, 6 (1): 7-19.
- [4] Mohammed A. J., Hassan M. M., Kadir D. H. 2020. Improving classification performance for a novel imbalanced medical dataset using SMOTE method. International Journal, 9 (3): 3161-3172.
- [5] Rahman M. M., Davis D. N. 2013. Addressing the class imbalance problem in medical datasets. International Journal of Machine Learning and Computing, 3 (2): 224-228.
- [6] Hayati M., Muthmainah S., Ghufuran S. 2021. Random and synthetic over-sampling approach to resolve data imbalance in classification. International Journal of Artificial Intelligence Research, 4 (2): 86-94.
- [7] Zuech R., Hancock J., Khoshgoftaar T. M. 2021. Detecting web attacks using random undersampling and ensemble learners. Journal of Big Data, 8 (1): 1-20.
- [8] Elhassan T., M A., F A.-M., Shoukri M. 2016. Classification of imbalance data using torek link (T-Link) combined with random under-sampling (RUS) as a data reduction method. Global Journal of Technology and Optimization, 01.
- [9] Chawla N. V., Bowyer K. W., Hall L. O., Kegelmeyer W. P. 2002. SMOTE: synthetic minority over-sampling technique. Journal of Artificial Intelligence Research, 16: 321-357.
- [10] Yavaş M., Güran A., Uysal M. 2021. Covid-19 veri kümesinin SMOTE tabanlı örnekleme yöntemi uygulanarak sınıflandırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi: 258-264. [Online]. Available: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejosat/issue/56356/779952>.
- [11] Han H., Wang W.-Y. Mao B.-H. 2005. Borderline-SMOTE: A New Over-Sampling Method in Imbalanced Data Sets Learning, In: International Conference on Intelligent Computing: Springer, 878-887.
- [12] Chawla N. V., Japkowicz N., and Kotcz A. 2004. Special issue on learning from imbalanced data sets. ACM SIGKDD Explorations Newsletter, 6 (1): 1-6.
- [13] Kovács G. 2019. Smote-Variants: A python implementation of 85 minority oversampling techniques. Neurocomputing, 366: 352-354.
- [14] Hassan G. A. A. M., Yıldırım D., Masoud 2021. Combination of PCA with SMOTE Oversampling for Classification of High-Dimensional Imbalanced Data, 10, doi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bitlisfen/939733>.
- [15] Ester M., Kriegel H.-P., Sander J., Xu X. 1996, A Density-Based Algorithm for Discovering Clusters in Large Spatial Databases with Noise, presented at the Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Portland, Oregon.
- [16] Schubert E., Sander J., Ester M., Kriegel H. P., Xu X. 2017. DBSCAN revisited, revisited: Why and how you should (still) use DBSCAN. ACM Transactions on Database Systems, 42 (3): Article 19.
- [17] Bilgin T., Çamurcu Y. 2005. DBSCAN, OPTICS ve K-Means Kümeleme Algoritmasının Uygulamalı Karşılaştırılması.
- [18] Dokuz A. S., Çelik M., Ecemis A. 2020. DBSCAN Algoritması Kullanarak Bitcoin Fiyatlarında Anormallik Tespiti.
- [19] Yaşar H., Albayrak M. Comparison of serial and parallel programming performance in outlier detection with DBSCAN algorithm. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7 (1): 129-140.



- [20] Alhussein I., Ali A. H. 2020. Application of DBSCAN to Anomaly Detection in Airport Terminals. In: 2020 3rd International Conference on Engineering Technology and its Applications (IICETA), 6-7 September, Iraq, 112-116.
- [21] Baselice F., Coppolino L., Antonio S. D., Ferraioli G., Sgaglione L. 2015. A DBSCAN Based Approach for Jointly Segment and Classify Brain MR Images, In: 2015 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 25-29 August, 2993-2996.
- [22] Huan Y., Wenhui Z. 2013. DBSCAN Data Clustering Algorithm for Video Stabilizing System, In: Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC), 25-29 August, 1297-1301.
- [23] KEEL. "Pima Indians Diabetes Dataset." KEEL. <https://sci2s.ugr.es/keel/dataset.php?cod=21> (accessed 12.04.2021).
- [24] Liaw A., Wiener M. 2002. Classification and Regression by Random Forest. R news, 2(3): 18-22.
- [25] Vapnik V. 2013. The Nature of Statistical Learning Theory, 2<sup>nd</sup> ed. New York, USA: Springer Science & Business Media.
- [26] Demidova L., Klyueva I., Sokolova Y., Stepanov N., Tyart N. 2017. Intellectual approaches to improvement of the classification decisions quality on the base of the SVM classifier. Procedia Computer Science, 103: 222-230.
- [27] Fatourechi M., Ward R. K., Mason S. G., Huggins J., Schlögl A., Birch G. E. 2008. Comparison of Evaluation Metrics in Classification Applications with Imbalanced Datasets, presented at the Proceedings of the 2008 Seventh International Conference on Machine Learning and Applications. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/ICMLA.2008.34>.

## Appendix

The algorithm flowchart of the proposed resampling method is shown in Figure 5.



**Figure 5.** Algorithm flowchart of resampling method by DBSCAN combined with Weighted Arithmetic Mean

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bıyık Deseni Üretiminde Çekişmeli Üretici Ağların Performans Karşılaştırması**

Emrullah ŞAHİN<sup>1\*</sup>, Muhammed Fatih TALU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Türkiye  
(ORCID: [0000-0002-3390-6285](https://orcid.org/0000-0002-3390-6285)) (ORCID: [0000-0003-1166-8404](https://orcid.org/0000-0003-1166-8404))*

---

### **Öz**

Bu çalışmada görüntüden görüntüye dönüşüm yapan çekişmeli üretici ağ mimarilerinin performans incelemesi yapıp, sentetik görüntü üretimindeki başarımları değerlendirilmiştir. Bu modellerin kaliteli bir başarımlı değerlendirilmesi için standartlaştırılmış veri kümeleri yerine gerçek iş alanından toplanılan denim2bıyık veri kümesi kullanılmıştır. Denim kumaşları üzerine çizilen bıyık desenleri lazer cihazıyla oluşturulmaktadır. Bu cihazın istenilen bıyık desenini oluşturabilmesi için uzmanlaşmış bir personel tarafından görsel düzenleme programları ile yaklaşık 2-3 saat süren bir çalışma yapılması gerekir. Önerilen yaklaşımla otomatik bir bıyık üretim işlemi gerçekleştirilecek, manuel üretimdeki hatalar ve zamansal kayıplar elimine edilecektir. Yaptığımız literatür araştırması neticesinde denim ürün görsellerinin üretken ağlar ile üretilmesi ile ilgili farklı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu durum yapılan çalışmanın akademik özgün değerini yükseltmektedir. Çalışmada kullanılan ÇÜA mimarileri Pix2Pix, CycleGAN, DiscoGAN ve AttentionGAN'dır. Her bir mimarinin denim2bıyık veri kümesindeki eğitim ve test verileri üzerinde bıyık deseni üretim başarımlı değerlendirilmesi ve maliyet analizi yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, bıyık desen görseli üretim hızı bir saniyenin altına düşerken, üretim doğruluğu %86 seviyelerine çıktığı görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Çekişmeli üretici ağlar, Sentetik görüntü üretimi, Bıyık deseni, Denim kumaş.

---

## **Performance Comparison of Generative Adversarial Networks in Mustache Pattern Production**

### **Abstract**

In this study, performance analysis of generative adversarial network architectures that transform from image to image is made and its performance in synthetic image generation is evaluated. For a quality performance evaluation of these models, the denim2bıyık dataset collected from the real-world area was used instead of standardized datasets. Mustache patterns drawn on denim fabrics are created with a laser device. For this device to create the desired mustache pattern, it is necessary to work with visual editing programs for approximately 2-3 hours by specialized personnel. With the proposed approach, an automatic mustache production process will be realized, errors and time losses in manual production will be eliminated. As a result of our literature research, there is a no different study on the production of denim product images with productive networks. This situation increases the academic original value of the study. GAN architectures used in the study are Pix2Pix, CycleGAN, DiscoGAN, and AttentionGAN. Mustache pattern production performance evaluation and cost analysis were performed on the training and test data in the denim2bıyık dataset of each architecture. As a result of the studies, it is seen that the production speed of the mustache pattern image drops below one second, while the production accuracy reaches 86%.

**Keywords:** GANs, Synthetic image generation, Mustache pattern, Denim fabric.

---

---

\*Sorumlu yazar: [essahin950@gmail.com](mailto:essahin950@gmail.com)

Geliş Tarihi: 22.08.2021, Kabul Tarihi: 17.11.2021

## 1. Giriş

Teknolojinin hızlı gelişmesiyle birlikte yapay öğrenme alanındaki çalışmalar da ilerlemektedir. Günümüzde teknolojik yaşamın bir parçası haline gelen bu alan; dil çevirileri, konuşma botları, yüz tanıma, ses tanıma, hastalık teşhisi, veri iyileştirme, otonom araçlar ve veri üretimi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu alan birçok öğrenme yöntemi barındırmasına rağmen günümüzde en popüler olanı Derin öğrenme mimarileridir ve gün geçtikçe gelişerek popülerliğini arttırmaktadır [1].

Derin öğrenme olarak adlandırılan evrişimli öğrenme metodolojisi LeCun tarafından 1989'da önerilmiştir. Çalışmasında el yazısı ile yazılan posta kodlarını tanımlayan bir algoritma geliştirmiştir. Bu algoritmanın en önemli özelliği evrişimsel (konvölüsyon) katmanları içermesi ve geri beslemeli olarak eğitilebilmesidir [2].

Evrişimsel ağların çeşitlenmesiyle birlikte sentetik görüntü üretiminde devrimsel özellik taşıyan ÇÜA mimarisi 2014 yılında Goodfellow ve ekibi tarafından ortaya çıkmıştır [3]. Min-max algoritmasına dayanarak geliştirilen bu mimari, iki evrişimsel modelin karşıt çalışmasıyla öğrenmenin gerçekleştiği bir sistemdir [3].

ÇÜA mimarilerinin sentetik veri üretiminde kullanılmasıyla birlikte 2016 yılında Radford ve diğerleri tarafından DCGAN mimarisi geliştirilmiştir. Bir veri kümesindeki örneklere benzeyen sentetik görüntüler üretmek için basit bir gauss sinyalinin ters evrişim işlemlerinden geçirek görüntüye dönüştüren bir yapıya sahiptir [4].

Denetimli veri üzerinde eşleşmiş görüntü çiftleri arasında görüntüden görüntüye dönüşüm işlemini yapan ve koşullu çekişmeli bir ağ yapısına sahip olan Pix2Pix mimarisi 2016 yılında Isola ve ekibi tarafından önerilmiştir. Bu mimari ÇÜA maliyet fonksiyonuna ek olarak L1 metriği içermektedir [5].

2017 yılında Zhu ve diğerleri tarafından denetimsiz veri kümeleri üzerinde görüntüden görüntüye dönüşüm ve çift taraflı doğrulama işlemi yapan CycleGAN mimarisi geliştirilmiştir [6].

2018 yılında yüksek çözünürlüğe sahip kaliteli yapay görüntüler üretmek için Progressive GAN mimarisi Karras ve diğerleri tarafından geliştirilmiştir. Bu mimari, 4x4'lük görüntüler ile eğitime başladıktan sonra zamanla gerçekçi görüntüler üretmeyi öğrenerek 1024x1024'lük görüntüler sentezleyebilmektedir [7].

Huang ve diğerleri tarafından gerçek zamanlı stil aktarımı için 2017 yılında sinirsel stil aktarımının temellerini oluşturan bir mimari geliştirilmiştir. Bu mimari içerik ve stil görüntüsü ile beslenerek dönüşmüş görüntüyü elde etmektedir. Bu çalışmaya ilaveten 2018 yılında Karras ve diğerleri tarafından çekişmeli üretici ağlar için stil tabanlı bir üretici olan StyleGAN mimarisi geliştirilmiştir [8,9].

Wang ve diğerleri tarafından 2018 yılında anlamsal haritalar ile yüksek çözünürlüklü sentetik görüntü üretmek için Pix2Pix mimarisinin geliştirilmiş sürümü olan Pix2PixHD sürümü geliştirilmiştir [10].

Nvidia'da araştırmacılar tarafından anlamsal görüntü sentezlemek için 2019 yılında mekansal uyarlanabilir normalleştirme özelliğine sahip SPADE mimarisi geliştirilmiştir [11].

2020 yılında anlamsal görüntü sentezlemenin yetersiz kalmasından dolayı panoptik harita bazlı görüntü sentezlemek için Dundar ve diğerleri tarafından "Panoptic-based Image Synthesis" adlı çalışma sunulmuştur [12].

2021 yılında Karras ve diğerleri tarafından, 2018 yılında geliştirilen StyleGAN mimarisindeki öteleme ve döndürmeden kaynaklı gizli alandan gelen sinyal probleminin çözümü için bu mimariye Fourier tabanlı özellikler ve çeşitli değişimler dahil edilerek, StyleGAN3 mimarisi geliştirilmiştir [13].

Real-ESRGAN mimarisi 2021 yılında Wang ve diğerleri tarafından düşük kaliteli görüntüleri yüksek kalitede sentezleyebilmek için geliştirilmiştir. Bu mimarinin ana özelliği bir görüntü düşük çözünürlük, bulanıklık, sıkıştırma veya gürültü benzeri birden fazla problem alanı içerse bile aynı anda birden fazla hedefe odaklanabilir olmasıdır [14].

Bir görüntüdeki istenmeyen nesnelere veya bölgelerin, görüntünün ana akışını bozmadan, kaldırılmış imajını sentezleyebilmek için Suvorov ve diğerleri tarafından 2021 yılında Fourier konvölüsyon tabanlı LaMa mimarisi geliştirilmiştir [15].

İnsan yüzüne ait eski veya kalitesiz görsellerin yüksek kalitede gürültüsüz ve renkli olarak sentetik bir şekilde üretilebilmesi için 2021 yılında Wang ve diğerleri tarafından uzamsal özellik dönüşümlü GFP-GAN mimarisi geliştirilmiştir [16].

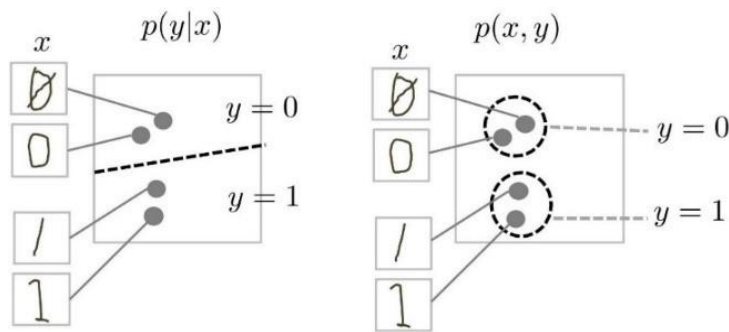
Bu çalışmada, ÇÜA'lar tekstil alanındaki bir problemin çözümünde kullanılmaktadır. Bu problem, denim kot kumaşları üzerindeki çizgi desen modelinin (bıyık) çıkarılmasıdır. Bıyık çıkarımı olarak bilinen bu işlem müşterinin örnek bir kot numunesi vermesiyle başlar. Örnek numune kotlar fotoğraflandıktan sonra uzman bir personel Photoshop gibi bir program kullanarak 2-3 saat süren bir çalışmayla bıyık motiflerini çıkarır. Klasik yaklaşım işletme maliyetlerini arttırmakta, üretim sürecinin uzamasına neden olmaktadır. Önerilen yaklaşımda, müşterilerden temin edilen denim kumaş numunelerindeki bıyık desenlerinin otomatik üretilmesi söz konusudur. Bunun için görüntüden görüntüye çeviri yapan ÇÜA mimarileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada görüntü sentezleme alanındaki ÇÜA mimarileri detaylı incelenmekte ve performansları karşılaştırılmaktadır. Bölüm 2.1'de ÇÜA mimarilerinin genel yapısı hakkında bilgilendirme yapılmıştır. Çalışmada kullanılan mimarilerin sırasıyla Pix2Pix, CycleGAN, DiscoGAN ve AttentionGAN denim2bıyık veri kümesi üzerine uygulanması ve temel yapılarının incelenmesi bölüm 2.2-2.5'e kadar olan kısımlarda anlatılmıştır. Bölüm 2.6'da veri kümesinin oluşturulması hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 2.7'de sonuçların karşılaştırmasında kullanılan ölçüm metrikleri hakkında bilgi verilmiştir. Bölüm 3'de bu çalışmada elde edilen çıktılar ve bu çıktılarının değerlendirilmesi ile ilgili sonuçlar verilmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde çekişmeli üretici ağlar ve görüntüden görüntüye dönüşüm işlemi yapan mimarilerin temel yapısı anlatılmaktadır.

### 2.1. Çekişmeli Üretici Ağlar

Çekişmeli üretici ağlar gerçek dünyadaki veri kümeleri ile karmaşık örüntüleri öğrenen enerji bazlı bir mimaridir. Çekişmeli üretici ağların temel yapısı, ünlü matematikçi John Nash'in oyun teorisini baz alır ve birbirleriyle karşıt çalışarak öğrenen, iki evrişimli modülden oluşur. Bu modüllerden biri üretici (generator) ağ, diğeri ise ayırıcı (discriminator) ya da maliyet (cost) ağı olarak adlandırılır. Üretici ağ, gittikçe gerçeğe daha fazla benzeyen yapay (sahte) görüntüler sentezlemeye çalışan bir üreticidir, ayırıcı ağ da gerçek ve sahte görüntüleri birbirinden ayırmak isteyen basit bir ikili sınıflandırıcıdır. Üretici, ayırıcıyı kandırabilmek için sahte görüntüler oluştururken ayırıcı da zamanla öğrenerek sahte ile gerçek görüntü arasında aldanmamaya çalışır [3,17,18]. Ayırıcı ve üretici modüllerinin örnek veri üzerindeki çalışma mekanizması **Şekil 1**'de gösterilmektedir. Bu şemada ki sembollerden,  $X$  veri örneklerini,  $Y$  örnek çıktılarının gerçek veya sahte olduğunu,  $\mathcal{P}(X, Y)$  ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunu,  $\mathcal{P}(X|Y)$  koşullu olasılık dağılımını belirtmektedir.

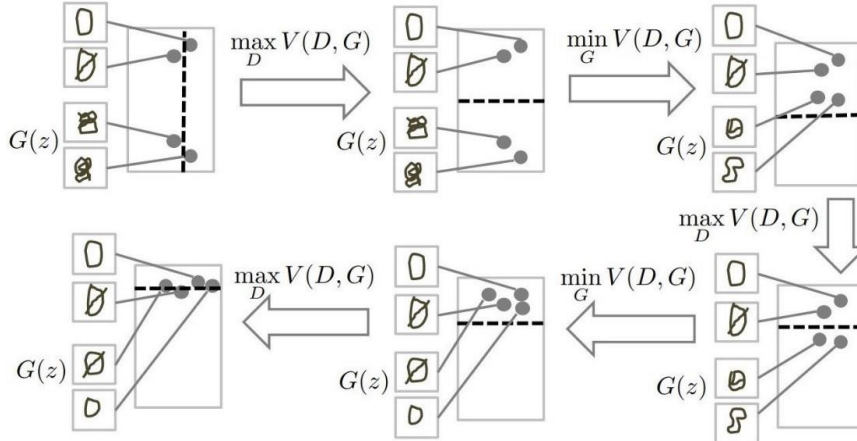


**Şekil 1.** ÇÜA mimarisi (1. sütun ayırıcı modülü, 2. sütun üretici modülü) [19]

Buna göre **Şekil 1**'in 1. sütunundaki ayırıcı ağ günlük hayatta kullanılan gerçek veriyi ( $Y = 1$ ) ile üretici ağdan elde edilen sentetik görüntünün ( $Y = 0$ ) bir düzlem üzerindeki izdüşümünü en iyi şekilde 1 ya da 0 olacak şekilde sınıflandırmaya çalışarak maliyeti yükseltmek ister, 2. sütundaki üretici ağ ise düzlem üzerinde gerçek ve üretilen veri kümeleri arasında ki mesafeyi azaltmak için gerçek görüntülere benzer görüntüler üretmeye çalışarak maliyeti azaltmak ister. Bu işlem bir oyundaki iki rakibin birbirini yenmek için rakip tarafın yapabileceği en iyi (max) hamleyi düşünerek hasarı en aza (min) indirmeye çalışmasıdır. Literatürde bu yöntem min-max algoritması olarak geçmektedir. Çekişmeli üretici

ağlar da matematiksel olarak min-max yöntemini kullanarak eğitimi gerçekleştirir [3,19]. Bu yöntemin eğitim işleminde aşamalı olarak gösterimi **Şekil 2'**de verilmiştir.

Bu şemada ilk başta iki gerçek ve iki üretici ağdan ( $G(z)$ ) elde edilmiş  $z$  olarak adlandırılan rastgele üretilmiş ya da bir veriye ait öznelik barındıran örneklerin izdüşümü düzlem üzerine aktarılmaktadır. Çekişmeli üretici ağın ana fonksiyonu  $V$  olarak tanımlanır. Ayırıcı ağ ( $D$ ) gerçek ve sentetik verilerin arasına bir set çekerek maliyeti maximize etmektedir. Ardından üretici ağ ( $G$ ) sentetik verilerin izdüşümünü gerçek verilerin izdüşümüne yakınlaştırmaya çalışarak maliyeti minimize etmektedir. Bu süreç ayırıcı ağın üretici ağdan gelen yapay görüntü ile gerçek görüntüyü ayırt edemeyecek duruma gelmesine kadar devam eder.



**Şekil 2.** Üretici ve ayırıcı ağın min-max yöntemiyle aşamalı öğrenimi [19]

Literatürdeki GAN mimarileri incelendiğinde sinyal-sinyal, sinyal-görüntü ve görüntü-görüntü dönüşümünü yapan farklı mimarilerin olduğu görülmektedir [17]. Bu çalışmada örnek denim kumaş görselinden bıyık desen görselinin elde edilmesi amaçlandığı için görüntüden görüntü üretebilen mimarilere odaklanılmıştır.

## 2.2. Pix2Pix

Pix2Pix, görüntüden görüntüye dönüşüm işlemi yapan bir mimaridir. Bu mimari, 2016 yılında Berkeley'den araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Görüntü işleme ve bilgisayarlı görü alanlarındaki sorunların çoğu, bir giriş görüntüsüne karşılık gelen bir çıktı görüntüsü şeklindedir. Örneğin, bir siyah beyaz görüntünün renklendirilmesi, kenar haritasından anlamsal etiket haritasının elde edilmesi gibi işlemlerde bir görüntü alanından diğer alana dönüşüm işlemi yapmak zordur. Bu tarz problemlerin çözümünde Pix2Pix mimarisi ile önemli bir adım atıldı. Pix2Pix, koşullu (condition) GAN mimarilerinin özel bir versiyonudur. Bu model koşullu GAN mimarisine ek olarak  $L_1$  maliyet değeri içermektedir.  $L_1$  metriği üretilen görüntü ile hedef görüntü arasında benzerlik karşılaştırmasıdır [5].

Klasik koşullu GAN mimarilerindeki maliyet değeri Denklem (1) de ifade edilmektedir. Denklemdeki  $x$  girdisi  $y$  çıktısına bağlıdır. Ayırıcı ağ gerçek  $x$  ve  $y$  girdilerin öznelik çıktısı ile gerçek  $x$  ve  $z$  özneliğinin üretici ağa verilerek elde edilen  $G(x, z)$  çıktısı arasındaki maliyeti hesaplar.

$$\mathcal{L}_{CGAN}(G, D) = \mathbb{E}_{x,y}[\log D(x, y)] + \mathbb{E}_{x,z}[\log D(x, G(x, z))] \quad (1)$$

Buna göre üretici  $G$  ağı bu amaç fonksiyonunu minimize etmek isterken, ayırıcı  $D$  ağı maksimize etmek ister. Böylece optimal üreticinin maliyeti Denklem (2) gibi tanımlanır:

$$\arg \min_G \max_D \mathcal{L}_{CGAN}(G, D) \quad (2)$$

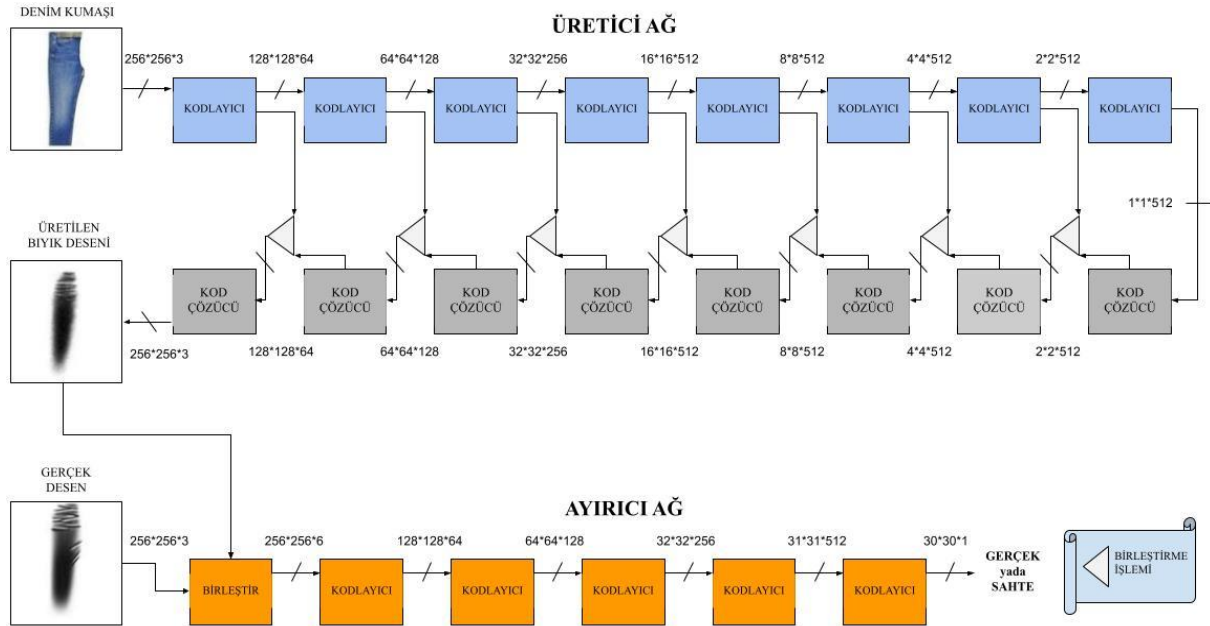
Denklem (1) de ifade edilen maliyet fonksiyonuna birde gerçek görüntü ile üretilen sahte görüntü arasındaki benzerlik maliyeti eklenerek Denklem (3) gibi ifade edilir. Bu maliyet değeri  $L_1$  uzaklık metriği olarak adlandırılan ortalama mutlak hatadır (MAE) [20].

$$\mathcal{L}_{L1}(G) = \mathbb{E}_{x,y,z} [\|y - G(x, z)\|_1] \quad (3)$$

$L_1$  maliyetinin eklenmesi sonucunda Pix2Pix mimarisinin maliyet fonksiyonu Denklem (4) gibi tanımlanır. Denklemdeki ana maliyet klasik ÇÜA maliyet sonucu ve  $L_1$  değerinin  $\lambda = 100$  değeri ile çarpılıp eklenmesiyle hesaplanır.

$$G^* = \arg \min_G \max_D \mathcal{L}_{cGAN}(G, D) + \lambda \mathcal{L}_{L1}(G) \quad (4)$$

Pix2Pix modeli üretici ağ olarak U-Net [21] mimarisi kullanmaktadır. Bu model  $256 \times 256 \times 3$  ebatlarında renkli görüntü almaktadır. Giriş görüntüleri kodlayıcı (Encode) bloklardan geçerek  $1 \times 1 \times 512$  ebatlarındaki öznelik haritası vektörüne dönüşür. Kodlayıcı bloklar evrişim (Conv2d), Leaky Relu ve Batch Normalization katmanlarını içermektedir. Elde edilen öznelik vektörü ve her kodlayıcı bloğun çıktısı kendi karşısındaki kod çözücü (Decode) blokların çıktısı ile birleştirilerek üst kod çözücü bloğa giriş olarak verilir. Bu işlemle dönüşmüş görüntü elde edilir. Kod çözücü bloklar kodlayıcı bloklardan farklı olarak aktivasyon fonksiyonunda Relu kullanmaktadır. Ayırıcı ağ gerçek ve üretilen sentetik görüntüleri kodlayıcı bloklarda işleyerek  $30 \times 30 \times 1$  ebatlarına dönüştürür. Elde edilen bu öznelik haritası gerçek veya sahte olarak sınıflandırılmaya çalışır [5]. Pix2Pix mimarisi ile denim kumaşından bıyık desen üretim işleminin şeması Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Pix2Pix mimarisinin bıyık desen çıkarımında kullanımı

### 2.3. CycleGAN

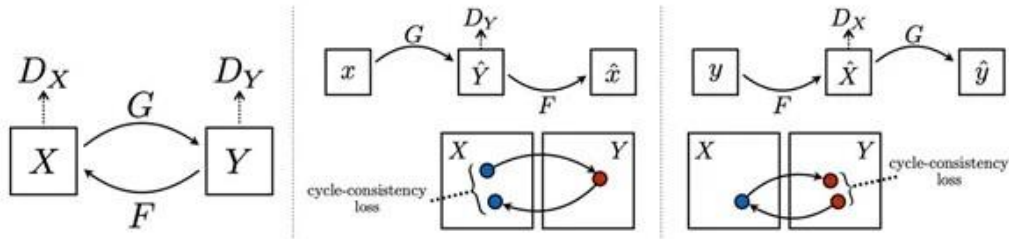
CycleGAN mimarisi eşleştirilmiş görüntü çiftlerine ihtiyaç duymadan bir görüntünün X alanından Y alanına dönüşüm yapmasını sağlar. Bu mimari 2016 yılında yayımlanan Pix2Pix mimarisinde yapılan güncellemeler sonucunda 2017 yılında geliştirilmiştir. Pix2Pix mimarisi eşleştirilmiş görüntü çiftlerine ihtiyaç duyarken CycleGAN mimarisiyle bu gereksinim ortadan kaldırılmıştır. Başka bir deyişle, kaynak ve hedef alan arasında bire bir eşleştirme olmadan bir alandan diğerine dönüşüm yapılabilir. CycleGAN mimarisi bir görüntü kümesinden diğer görüntü kümesine dönüşüm işlemi için döngü tutarlılık kaybı kullanır. Genel yapısı Pix2Pix mimarisine benzerdir ve aynı zamanda aynı üretici ağ mimarisini kullanmaktadır. Pix2Pix mimarisi bir üretici ve ayırıcı ağ yapısı kullanırken CycleGAN mimarisi iki üretici ve iki ayırıcı ağ yapısı kullanmaktadır [5,6].

Mimaride eğitimde kullanılan iki üretici ( $G$  ve  $F$ ) ve iki ayırıcı ( $D_X$  ve  $D_Y$ ) ağı çalıştırma mekanizması:



- Üretici  $G$  ağı  $X$  alanındaki görüntüyü  $Y$  alanındaki görüntüye dönüştürmeyi öğrenir. ( $G: X \rightarrow Y$ )
- Üretici  $F$  ağı  $Y$  alanındaki görüntüyü  $X$  alanındaki görüntüye dönüştürmeyi öğrenir. ( $F: Y \rightarrow X$ )
- Ayırıcı  $D_X$  ağı,  $X$  alanındaki gerçek görüntü ile  $F$  ağının sonucunda üretilen  $\hat{X}(F(Y))$  görüntüsünü gerçek ya da sahte olarak sınıflandırmaya çalışır.
- Ayırıcı  $D_Y$  ağı,  $Y$  alanındaki gerçek görüntü ile  $G$  ağının sonucunda üretilen  $\hat{Y}(G(X))$  görüntüsünü gerçek ya da sahte olarak sınıflandırmaya çalışır.

Bu adımların görsel şeması Şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 4. CycleGAN mimarisinin ağ ve maliyet hesaplama şeması [6]

CycleGAN mimarisinde gerçek görüntü ile yeniden inşa edilen (reconstructed) görüntü arasındaki benzerlik maliyeti için döngü tutarlılık kaybı (cycle consistency loss) kullanılır. Bu maliyet işlemi Denklem (5) gibi ifade edilir. Denklem de  $X$  ile yeniden inşa edilen  $\hat{X}$  ve  $Y$  ile yeniden inşa edilen  $\hat{Y}$  arasında  $\mathcal{L}_{cyc}$  olarak adlandırılan ortalama karesel hata (MSE) [22] metriği ile maliyet hesaplanır.

$$\mathcal{L}_{cyc} = |F(G(X)) - X| + |G(F(Y)) - Y| \quad (5)$$

Mimarideki iki üretici ( $G, F$ ) ve iki ayırıcı ( $D_X, D_Y$ ) ağın maliyetleri Denklem (1)’deki fonksiyon ile hesaplanır ve ek olarak döngü tutarlılık kaybı olduğu için toplam maliyeti üç ayrı kayıptan oluşur. Genel maliyet Denklem (6) gibi tanımlanır. Bu denklemdeki  $\lambda$  değeri 10 alınarak hesaplama yapılır.

$$\mathcal{L}(G, F, D_X, D_Y) = \mathcal{L}_{cGAN}(G, D_Y, X, Y) + \mathcal{L}_{cGAN}(F, D_X, Y, X) + \lambda \mathcal{L}_{cyc}(G, F) \quad (6)$$

Optimizasyonun bir parçası olarak, Denklem (7)’deki kayıp işlevi optimize edilir.

$$G^*, F^* = \arg \min_{G, F} \max_{D_X, D_Y} \mathcal{L}(G, F, D_X, D_Y) \quad (7)$$

Üretici  $G, F$  mimarilerinin kayıp değeri minimize etmeye çalışırken, ayırıcı  $D_X, D_Y$  ağlarını maksimize etmeye çalışır. Üretici ağların maliyet değerinin düşmesi ağın daha gerçekçi görüntüler üretmesini sağlar ve ayırıcı ağlardaki maliyetin artması üretilen sentetik görüntü ile gerçek görüntü arasındaki ayırım yapmasını zorlaştırır. Bu maliyetin artması ayırıcı ağın gerçek ve sentetik görüntüyü sınıflandırmaya çalışırken daha dikkatli olmasını sağlar. Böylece üretici ve ayırıcı ağlar birbirini besleyerek giriş görüntülerine en uygun dönüşüm görüntüsünü elde etmeye çalışır.

## 2.4. DiscoGAN

DiscoGAN mimarisi birbirleri ile bağlantısı olmayan veri kümeleri arasındaki ilişkiyi keşfetmek için 2017 yılında geliştirilmiş koşullu GAN mimarisidir. Denetimsiz veriler üzerinde çalışan DiscoGAN mimarisinin temel konsepti CycleGAN mimarisine benzer: Her ikisi de iki ayrı dönüşüm işlevini öğrenir, biri  $X$  alanından  $Y$  alanına bir dönüşümü öğrenirken diğeri ters bir eşleşmeyi öğrenir. CycleGAN gibi, DiscoGAN da yeniden yapılandırma kaybı temeli üzerine inşa edilmiştir [6,23]. Buradaki fikir, bir görüntü bir alandan diğerine ve ardından orijinal alana geri



dönüştürüldüğünde, oluşturulan görüntünün orijinali kadar benzer olması gerektiğidir. Bu durumda nicel fark, yeniden yapılandırma kaybı olarak değerlendirilir ve eğitim sırasında model bu kaybı en aza indirmeye çalışır. İki mimari arasındaki temel fark, DiscoGAN mimarisinin iki yeniden yapılandırma kaybı kullanmasıdır CycleGAN mimarisi tek yeniden yapılandırma kaybını belirli bir  $\lambda$  parametresi ile çarparak eğitimi gerçekleştirirken; DiscoGAN mimarisi iki yapılandırma kaybının tamamını kullanarak işlemi gerçekleştirir [23].

DiscoGAN mimarisinin yeniden yapılandırma kaybı Denklem (8) gibi tanımlanır. DiscoGAN mimarisi CycleGAN mimarisi gibi döngü tutarlılık kaybı için ortalama karesel hata (MSE) metriğini kullanır. Bu işlem giriş görüntüsü  $X_A$  ile iki üretici ( $G_{BA}, G_{AB}$ ) ağdan geçtikten sonra elde edilen yeniden inşa edilen görüntü arasında hesaplanır.

$$\mathcal{L}_{CONST_A} = |G_{BA}(G_{AB}(X_A)) - X_A| \quad (8)$$

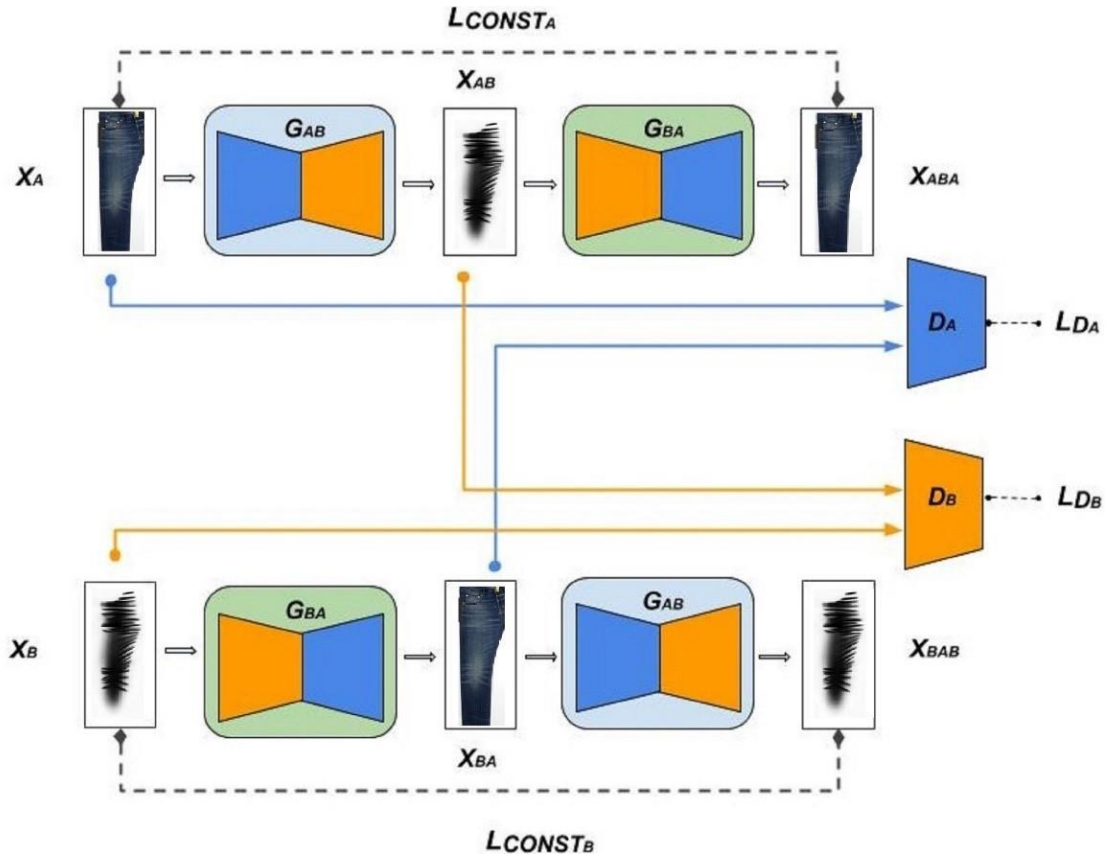
Mimarinin bir alandaki eğitim işlemi için bir üretici ( $G_{AB}$ ) ve ayırıcı ( $D_B$ ) ağın maliyeti Denklem (1)'deki maliyet fonksiyonunun sonucu ile yeniden inşa edilen görüntü ile orijinali arasındaki döngü tutarlılık kaybının toplamıdır. Bu maliyet fonksiyonu Denklem (9) gibi ifade edilir.

$$\mathcal{L}_{G_{AB}} = \mathcal{L}_{CGAN(G_{AB}, D_B)} + \mathcal{L}_{CONST_A} \quad (9)$$

İki üretici ve iki ayırıcı ağ için toplam maliyet fonksiyonu Denklem (10) gibi tanımlanır.

$$\mathcal{L}(G_{AB}, G_{BA}, D_A, D_B) = \mathcal{L}_{G_{AB}} + \mathcal{L}_{G_{BA}} \quad (10)$$

Dolayısıyla model,  $G_{AB}$  ve  $G_{BA}$  üretici ağları ve  $D_A$  ve  $D_B$  ayırıcı ağlardan oluşmaktadır. DiscoGAN mimarisinin çalışma prensibinin örnek denim kumaşından büyük desen üretiminde kullanımı Şekil 5'deki görselde verilmiştir. Bu görselde alanlar arası ilişkiyi yönleri açısından öğrenmeye çalışır. Bir görüntünün yeniden yapılandırılmasından sonra, yön orijinal görüntünün yönüyle aynı olmalıdır. Şemada ki  $L$  sembolü maliyet fonksiyonu göstergesidir.

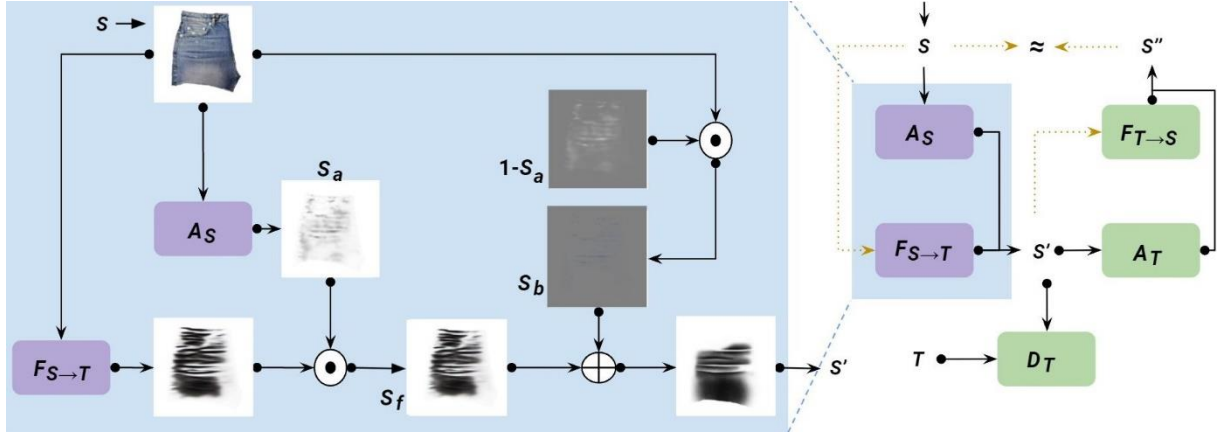


Şekil 5. DiscoGAN mimarisinin büyük desen çıkarımında kullanımı

## 2.5. AttentionGAN

AttentionGAN denetimsiz veri üzerinde görüntüden görüntüye dönüşüm sağlayan dikkat güdümlü bir mimaridir. Başlangıç noktası olarak CycleGAN mimarisi referans alınıp sıfır ile bir aralığında değerler içeren dikkat haritaları oluşturacak şekilde dikkat ağına mimariye entegrasyonu ile AttentionGAN mimarisi elde edildi [6,24]. Klasik görüntüden görüntüye çeviri yapan mimarilerin üretici ve ayırıcı ağları sadece kodlayıcı ve kod çözücü yapısını barındırmasından dolayı görüntü üzerinde belirli bir alana dikkat yoğunlaştırmaları zordur. Bu yüzden görüntünün odaklanması gereken bölümüne yeterli önem verilememektedir. AttentionGAN mimarisi görüntü içeriğini üretici ağ yapısıyla iletirken aynı zamanda görüntüde odaklanması gereken kısımların dikkat haritasını da çıkarıp ikisini birleştirir [24]. Böylece ağ değişiminin olduğu yerlere odaklanıp arka plan veya ön plan içeriğine gereğinden fazla odaklanmasını engeller. Bu mimari dikkat haritalarından dolayı eşleşmemiş veri kümelerindeki görüntü dönüşümlerinin daha gerçekçi olmasını sağlar.

AttentionGAN mimarisinin akış diyagramı Şekil 6'da gösterilmiştir. Mimari;  $A_S$ ,  $A_T$  dikkat,  $F_{S \rightarrow T}$ ,  $F_{T \rightarrow S}$  üretici ve  $D_S$ ,  $D_T$  ayırıcı ağlarından oluşmaktadır. Giriş görüntüsü ( $S$ ), bu görüntünün dönüştürülmek istendiği görüntü ( $T$ ) olarak ifade edilir. Giriş görüntüsü üretici  $F_{S \rightarrow T}$  ve dikkat  $A_S$  ağına verilerek elde edilen dikkat haritası ( $S_a$ ) ve içerik görüntüsü 3 kanalda (RGB) noktasal olarak çarpılır. Elde edilen çıktı  $S_f$  ön plan (foreground) görüntüsü olarak adlandırılır. Arka plan (background) içeriği içinde  $S$  giriş görüntüsü ve  $S_a$  dikkat haritasının tersi alınarak noktasal olarak çarpılır. Ön plan ve arka plan görüntüleri toplanarak giriş görüntüsünün dönüşmüş hali  $S'$  elde edilir. Çift taraflı doğrulama işlemi için  $S'$  görüntüsü  $F_{T \rightarrow S}$  ve  $A_T$  ağına verilerek aynı işlem tekrar edilir. Elde edilen  $S''$  görüntüsü giriş görüntüsünün yeniden inşa edilmiş imajıdır. Son olarak  $S$  ve  $S''$  görüntüsü arasında döngü tutarlılık maliyeti hesaplanır [24].



Şekil 6. AttentionGAN mimarisinin çalışma prensibi

AttentionGAN, CycleGAN mimarisi gibi gerçek görüntü ile yeniden inşa edilen görüntü arasındaki benzerlik maliyeti için döngü tutarlılık kaybı kullanılır. Bu maliyet fonksiyonu Denklem (11) gibi tanımlanır. Denklemdeki  $S$  ifadesi giriş görüntüsü ve  $S''$  ifadesi de yeniden inşa edilen giriş görüntüsüdür.

$$\mathcal{L}_{cyc}^S(S, S'') = \|S - S''\| \quad (11)$$

Kaynak ve hedef alan için toplam maliyet fonksiyonu Denklem (12)'de  $\lambda_{cyc} = 10$  alınarak hesaplanır.

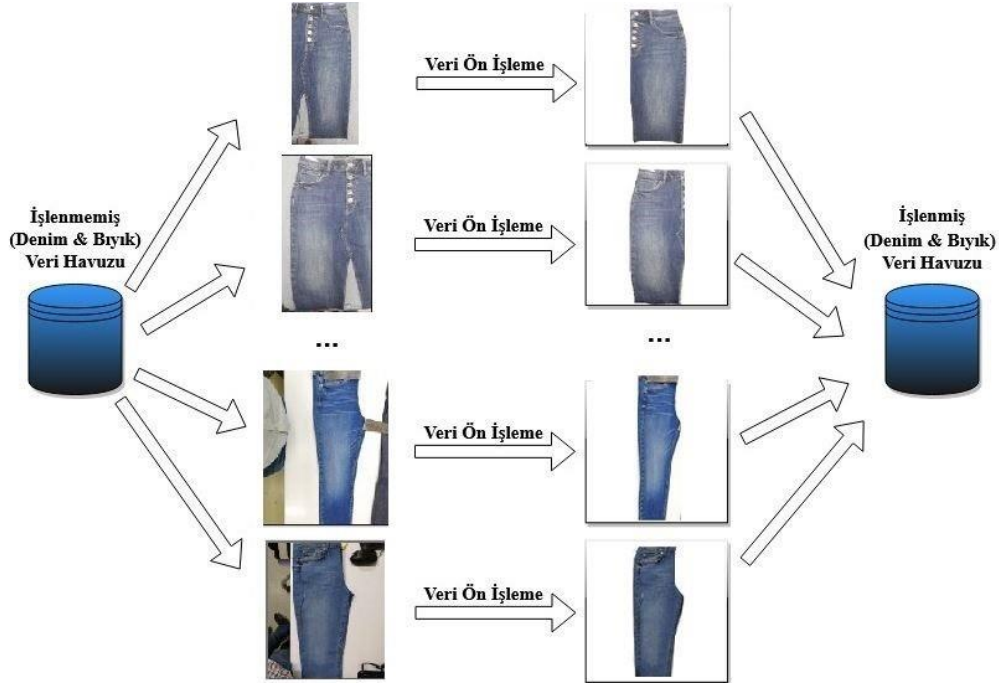
$$\mathcal{L}(F_{S \rightarrow T}, F_{T \rightarrow S}, A_S, A_T, D_S, D_T) = \mathcal{L}_{cGAN}^S(F_{S \rightarrow T}, A_S, D_S) + \mathcal{L}_{cGAN}^T(F_{T \rightarrow S}, A_T, D_S) + \lambda_{cyc}(\mathcal{L}_{cyc}^S + \mathcal{L}_{cyc}^T) \quad (12)$$

Optimizasyonun bir parçası olarak Denklem (13)'de maliyet değeri optimize edilmiş olur.

$$F_{S \rightarrow T}^*, F_{T \rightarrow S}^*, A_S^*, A_T^*, D_S^*, D_T^* = \underset{F_{S \rightarrow T}, F_{T \rightarrow S}, A_S, A_T}{\operatorname{argmin}} \left( \underset{D_S, D_T}{\operatorname{argmax}} \mathcal{L}(F_{S \rightarrow T}, F_{T \rightarrow S}, A_S, A_T, D_S, D_T) \right) \quad (13)$$

## 2.6. Denim2bıyık Veri Kümesi

Bu çalışma da kullanılan veri kümesi, Baykan Denim Konfeksiyon A.Ş.'nin Malatya'daki üretim fabrikasından elde edilmiştir. Veri kümesinin inşasında, firmanın şimdiye kadar elde ettiği denim kumaş numune görselleri ve bunlara bakılarak görsel düzenleme programları ile manuel olarak çizilen bıyık görüntüleri kullanılmıştır. Toplamda 950 adet denim2bıyık görüntü ikilisi elde edilmiştir. Bu görüntülerin 900 tanesi eğitim 50 tanesi test işlemi için ayrılmıştır. Veri kümesi, pantolon, etek ve şort olmak üzere üç farklı denim kumaş türünün ön yüz, arka yüz ve paça gibi farklı bölgelerine ait görseller içermektedir. Firma çalışanlarının cep telefonlarıyla elde edilen bu görüntülerinin standart bir forma sahip olmadığı görülmüştür. Daha açık bir ifadeyle, kumaş görsellerinin arkaplan görünümü, ışık dağılımları, boyutları ve perspektiflerinin farklı olduğu görülmüştür. Verinin standart bir forma dönüştürülebilmesi için her bir denim kumaş görseli üzerinde PhotoShop programı ile manuel bir temizleme çalışması yapılmıştır. Bu işlemin görsel şeması Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. Denim2bıyık veri kümesi ön işleme şeması

Veri kümesindeki her bir görüntü çiftinin ön plan nesnesi (kumaş görüntüsü) arka plandan ayıklanmış ve görüntü merkezde olacak şekilde beyaz bir zemin üzerine aktarılmıştır. Benzer işlem bıyık desenlerinde de yapılarak girdi ve çıktı boyutlarının benzer olması (256x256x3) sağlanmıştır. Ayrıca görseller üzerinde normalizasyon yapılarak ışık dağılımından kaynaklanan farklılıkların elimine edilmesi sağlanmıştır. Ön işlemler sonucu veri kümesinde yer alan birkaç denim kumaş görseli ve bunlara karşılık elle hazırlanan bıyık desen görüntüleri Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 8. Ön işlemler sonucu elde edilen denim2bıyık veri kümesindeki görüntü örnekleri

## 2.7. Ölçüm Metrikleri

Bu bölümde gerçek (Ground True) ve üretilen sentetik görüntülerin karşılaştırmasında kullanılan ölçüm metrikleri anlatılmaktadır.

### 2.7.1. SSIM

Yapısal benzerlik metriği (SSIM) parlaklık, maskeleme ve kontrast gibi önemli algısal özelliklerle birlikte görüntüde algılanan değişikliği de analiz eden bir metriktir. Bu metrik görüntüdeki pikseller arasında bulunan konum farklılığını göz ardı ederek, görüntü çiftleri arasındaki benzerliğin hesaplanmasında ortalama ( $\mu$ ) ve standart sapma ( $\sigma$ ) parametreleri üzerine inşa edilen istatistiksel bir ölçümdür [25].

İstatistiksel olarak gerçek ( $x$ ) ve yapay ( $y$ ) görüntüsü arasındaki yapısal benzerlik hesaplaması Denklem 14'te gösterilmektedir. Bu denklemdeki gerçek ve yapay görüntünün  $\mu_x$  ve  $\mu_y$  piksel

ortalamasını,  $\sigma_x^2$  ve  $\sigma_y^2$  varyansını belirtirken  $\sigma_{xy}$  gerçek ve yapay görüntü arasındaki kovaryansı belirtmektedir. Ek olarak  $c_1 = (\mathbf{k}_1\mathbf{L})^2$  ve  $c_2 = (\mathbf{k}_2\mathbf{L})^2$  sabit değerleri, piksel aralığını belirten  $L$  değeri 255. alınarak hesaplanır.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + c_1)(2\sigma_{xy} + c_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + c_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + c_2)} \quad (14)$$

### 2.7.2. MSE

İki veri örneği arasındaki benzerlik maliyetini hesaplamak için noktasal farkın karesel ortalamasının alındığı bir karşılaştırma metriğidir [22]. Bu metriğin ana formülü Denklem 15'te gösterilmiştir. Denklem de gerçek ( $\mathbf{x}$ ) ve yapay ( $\mathbf{y}$ ) görüntüsü arasındaki her bir piksel farkının karesi alınıp toplanır. Toplam sonuç piksel sayısına ( $n$ ) bölünür.

$$MSE(x, y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (15)$$

Ölçüm değerinin ne kadar düşük olduğu yapay görüntü ve gerçek arasındaki benzerliğin o kadar yüksek olduğunu gösterir.

### 2.7.3. PSNR

Bir sinyalin olası maksimum gücü ile temsilinin doğruluğunu etkileyen bozucu gürültünün gücü arasındaki oran için logaritmik tabanlı kullanılan bir metriktir [26]. Sinyal gerçek görüntü veya veri olarak kabul edilir, gürültü ise verideki sıkıştırma veya bozulmadan kaynaklanan hatadır. İki görüntü arasındaki bu oran desibel olarak hesaplanır. Bu metriğin ana formülü Denklem 16'da gösterilmektedir. Denklemdaki gerçek ( $\mathbf{x}$ ) ve yapay ( $\mathbf{y}$ ) görüntüsü arasındaki ölçüm için  $MSE(x, y)$  değeri ve gerçek görüntünün en büyük piksel değeri ( $MAX_x^2$ ) hesaplamaya dahil edilir.

$$PSNR(x, y) = 10 * \log_{10} \left( \frac{MAX_x^2}{MSE} \right) \quad (16)$$

Ölçüm değerinin ne kadar yüksek olduğu sinyal kalitesinin o kadar iyi olduğunu gösterir, yani gerçek ile yapay veri arasındaki maliyetin düşük olduğunu gösterir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çekişmeli üretici ağ modellerinin performans karşılaştırması denim kumaşından sentetik bıyık deseni üretim veri kümesi üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada bölüm 2'de anlatılan 4 farklı mimarinin eğitim ve test işlemleri PyTorch derin öğrenme kütüphanesiyle RTX 2080 ekran kartına sahip bir sunucu üzerinde 150 iterasyon (epoch) boyunca part boyutu (batch size) 1 alınarak gerçekleştirilmiştir. Mimarielerin temel yazılımsal kodları github: “<https://github.com/hee9joon/Image-to-Image-Translation>” adresli kaynaktan alınmıştır. Bu kaynaktan görüntüden görüntüye dönüşüm yapan temel mimarilerin kodları bulunmaktadır. Temel kodların üzerinde hiperparametre, iterasyon (epoch), görüntü boyutları gibi ayarlamalar ve düzenlemeler yapılmıştır. Böylece bu modellerin uygun koşullar altında başarımlarını performans karşılaştırması için gerekli ortam hazırlanmıştır. Başarımlarını performans kriteri olarak görüntü üretim kalitesi ve bir adet görüntünün üretimi için gereken zamansal maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Sentetik bıyık desen üretim kalitesi, test kümesindeki görüntü çıktılarının 3 farklı metrik ile karşılaştırılmasıyla elde edilmiştir. Gerçek ve üretilen görüntü arasındaki benzerliği tam değerlendirebilmek için SSIM metriği ile görüntülerin yapısal benzerliği, PSNR yöntemi ile görüntü piksellerindeki maksimum sinyal gücü ve MSE yöntemi ile iki görüntü arasındaki piksel farklılık

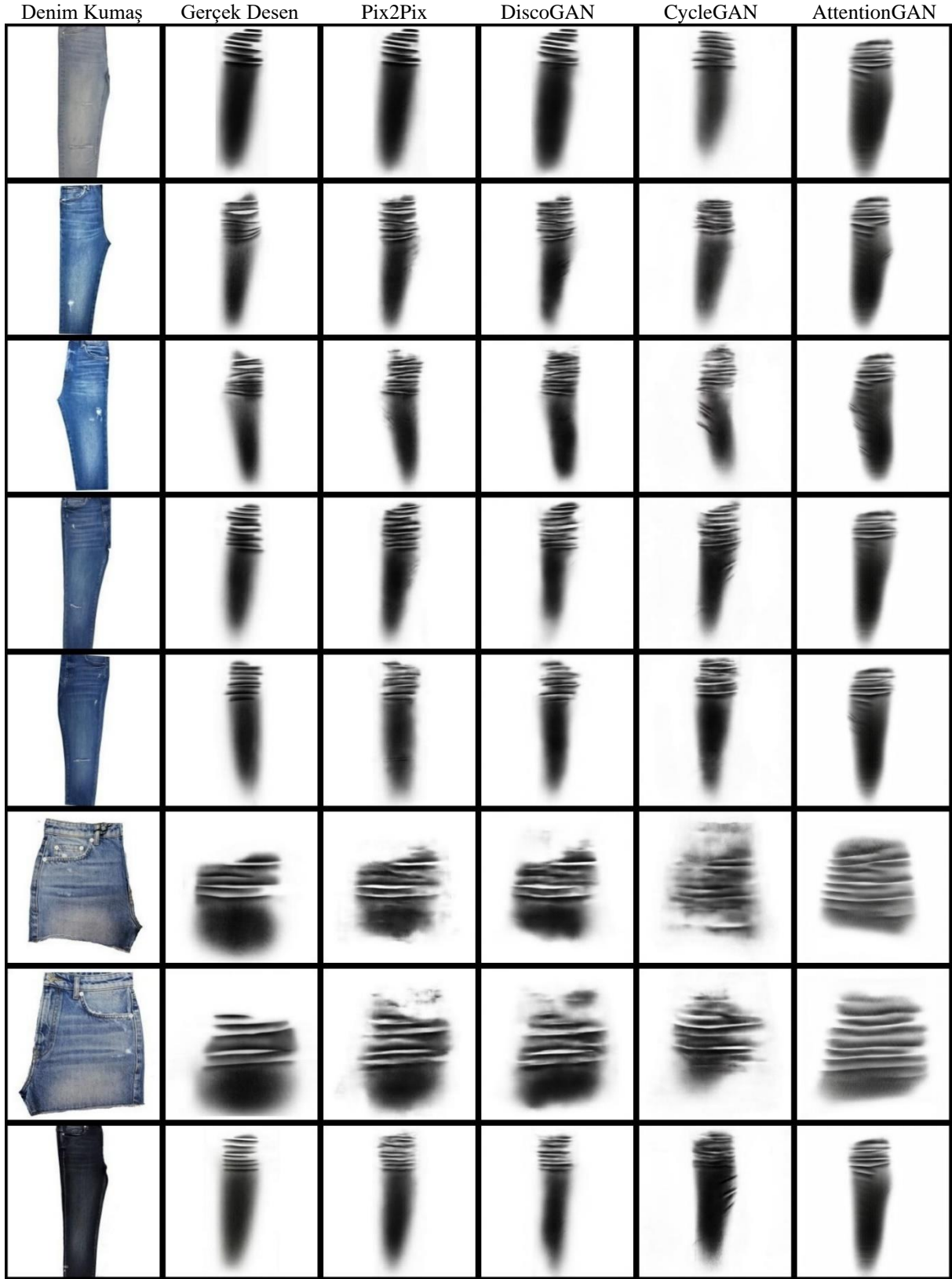
maliyeti ölçülmüştür. Modellerin test veri kümesinde bulunan 50 görüntü çifti üzerindeki başarımların performansları **Tablo 1**'de gösterilmektedir.

Modellerin sonuçları incelendiğinde Pix2Pix mimarisinin sentetik görüntü üretim aşamasında yapısal (SSIM) olarak yüzde 86 oranında başarımlar göstererek en iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir. DiscoGAN mimarisi eğitim gerçekleştirirken çift taraflı dönüşüm ve doğrulama işlemi kullandığından Pix2Pix mimarisine yakın kalitede görüntüler üretmektedir. Pix2Pix mimarisi aynı zamanda zamansal maliyet karşılaştırmasında da daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Bu mimarinin ağ yapısının denetimli ve daha basit olmasından dolayı kısa sürede kaliteli görüntü ürettiği görülmektedir.

**Tablo 1.** Mimarilerin denim2bıyık test kümesindeki başarımların sonuçları

Model Adı	Metrik Adı (Benzerlik)			Zaman (Saniye)
	SSIM	MSE	PSNR	Bir görüntü üretim süresi
AttentionGAN	0.757	2293.70	32.72	0,865
CycleGAN	0.754	2465.01	32.55	0,024
Pix2Pix	<b>0.868</b>	<b>808.37</b>	<b>33.32</b>	<b>0,022</b>
DiscoGAN	0.834	1628.74	32.90	0,848

Eğitim tamamlandıktan sonra 4 mimari ile test kümesinde bulunan görüntülerin sentetik bıyık desen çıktısı elde edilmiştir. **Şekil 9**'da test kümesinden birkaç denim kumaş görseline ait sonuçlar gösterilmektedir. Buna göre Pix2Pix ve DiscoGAN mimarisiyle elde edilen görsellerin yüksek oranda gerçek sonuçlara (Ground True) benzediği görülmüştür. CycleGAN ve AttentionGAN mimarilerinin ise bıyık desen üretiminde beklenen seviyede kaliteli görüntüler üretmediği görülmektedir. Ancak hedeflenen gerçek bıyık desen görüntüsünün henüz istenilen benzerlikte üretilmediği görülmektedir. Bunun en büyük nedeni, veri kümesindeki görsellerin belirli bir standartta çekilmemiş olmasıdır. Bir sonraki çalışmada bu standartlaştırma işlemi üzerinde durulacaktır.



Şekil 9. Mimarilerin denim2byık test kümesindeki görüntü üretim sonuçları



#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu makalede, görüntüden görüntüye dönüşüm yapan çekişmeli üretici ağ mimarilerinin performans karşılaştırması yapılmıştır. Mimarilerin karşılaştırmasında kullanılan veri kümesi Malatya organize sanayinde faaliyet gösteren Baykan Denim firmasından elde edilmiştir. Veri kümesi 950 denim2bıyık desen çifti görüntüsünü içermektedir. Geleneksel sistemde, denim kumaşından sentetik bıyık desen üretimi çeşitli görüntü düzenleme programları ile manuel çizilerek elde edilir. Bu işlem ortalama 2-3 saat sürmekte ve işlemi yapan uzmanın kabiliyetine göre farklı kalitede bıyık motifleri elde edilebilmektedir. Bu çalışmanın temel katkısı, bahsedilen dezavantajları ortadan kaldıran, bıyık üretim süresini yaklaşık 1 saniyeye düşüren, personel maliyetlerini azaltan ve farklı kalitede bıyık motiflerinin çıkmasını engelleyen otonom bir sistem önerilmiştir. Literatürde üretken ağ mimarilerinin denim ürünlerine uygulamasını içeren farklı bir çalışmanın olmadığı görülmektedir. Bu durum yapılan çalışmanın akademik özgün değerini yükseltmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda Pix2Pix mimarisinin zamansal ve doğruluk olarak en iyi sonuçları ürettiği görülmüştür. Oldukça ümit verici sonuçların elde edildiği bu çalışmada veri kümesinin standardizasyonu ve endüstriyel ortamda gerçek zamanlı çalışabilecek gömülü bir sistemin üretilme aşaması bir sonraki hedeflerdir.

#### Teşekkür

Bu çalışma İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Koordinasyon birimi tarafından “FKP-2021-2144” proje numarası ile finanse edilmiştir.

Çalışmada kullanılan veri kümesini erişime açan Baykan Denim Konfeksiyon A. Ş’ye ve İnönü Üniversitesi’ne 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.

#### Kaynaklar

- [1] Das S., Dey A., Pal A., Roy N. 2015. Applications of artificial intelligence in machine learning: review and prospect. *International Journal of Computer Applications*, 115 (9), 31–41.
- [2] LeCun Yann, et al. 1989. Backpropagation applied to handwritten zip code recognition. *Neural Computation*.
- [3] Goodfellow I J., Pouget-Abadie J., Mirza M., Xu B., Warde-Farley D., Ozair S., Courville A., Bengio Y. 2014. Generative adversarial nets. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2672–2680.
- [4] Radford A., Metz L., Chintala S. 2016. Unsupervised Representation Learning with Deep Convolutional Generative Adversarial Networks. *4th International Conference on Learning Representations, ICLR 2016- Conference Track Proceedings*, 1–16.
- [5] Isola P., Zhu J Y., Zhou T., Efros A A. 2017. Image-to-Image Translation with Conditional Adversarial Networks. *Proceedings- 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017*, 5967–5976.
- [6] Zhu J Y., Park T., Isola P., Efros A A. 2017. Unpaired Image-to-Image Translation Using Cycle-Consistent Adversarial Networks. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2242–2251.



- [7] Karras T., Aila T., Laine S., Lehtinen J. 2018. Progressive Growing of GANs for Improved Quality, Stability, and Variation. 6th International Conference on Learning Representations, ICLR 2018- Conference Track Proceedings, 1–25.
- [8] Huang X., Belongie S. 2017. Arbitrary Style Transfer in Real-Time with Adaptive Instance Normalization. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, 1510–1519.
- [9] Karras T., Laine S., Aila T. 2019. A Style-based Generator Architecture for Generative Adversarial Networks. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 4396–4405.
- [10] Wang T C., Liu M Y., Zhu J Y., Tao A., Kautz J., Catanzaro B. 2018. High-Resolution Image Synthesis and Semantic Manipulation with Conditional GANs. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 8798–8807.
- [11] Park T., Liu M Y., Wang T C., Zhu J Y. 2019. Semantic Image Synthesis with Spatially-adaptive Normalization. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2332–2341.
- [12] Dundar A., Sapra K., Liu G., Tao A., Catanzaro B. 2020. Panoptic-based Image Synthesis. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 8067–8076.
- [13] Karras T., Aittala M., Laine S., Härkönen E., Hellsten J., Lehtinen J., Aila T. 2021. Alias-free generative adversarial networks. NeurIPS, 2106.12423.
- [14] Wang X., Xie L., Dong C., Shan Y. 2021. Real-ESRGAN: Training Real-world Blind Super-resolution with Pure Synthetic Data. Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 1905-1914.
- [15] Suvorov R., Logacheva E., Mashikhin A., Remizova A., Ashukha A., Silvestrov A., Kong N., Goka H., Park K., Lempitsky V. 2021. Resolution-robust large mask inpainting with fourier convolutions. 2109.07161.
- [16] Wang X., Li Y., Zhang H., Shan Y. 2021. Towards real-world blind face restoration with generative facial prior. 2101.04061.
- [17] Huang H., Yu P S., Wang C. 2018. An Introduction to Image Synthesis with Generative Adversarial Nets. 1–17.
- [18] Goodfellow I. 2016. Generative Adversarial Networks. NIPS 2016 Tutorial.
- [19] Lazarou C. 2021. Generative Adversarial Networks. <https://www.slideshare.net/ckmarkohchang/generative-adversarial-networks>. (Erişim Tarihi: 20.04.2021)
- [20] Ghosh A., Kumar H., Sastry P S. 2017. Robust Loss Functions under Label Noise for Deep Neural Networks. 31st AAAI Conference on Artificial Intelligence, AAAI 2017, 1919–1925.
- [21] Ronneberger O., Fischer P., Brox T. 2015. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. MICCAI.
- [22] Mihelich M., Dognin C., Shu Y., Blot M. 2020. A Characterization of Mean Squared Error for Estimator with Bagging. ArXiv, abs/1908.02718.
- [23] Kim T., Cha M., Kim H., Lee J. K., Kim J. 2017. Learning to Discover Cross-domain Relations with Generative Adversarial Networks. 34th International Conference on Machine Learning, ICML 2017, 4, 2941–2949.
- [24] Mejjati Y A., Richardt C., Tompkin J., Cosker D. 2018. Unsupervised attention-guided image-to-image translation. NeurIPS 2018, 1–11.
- [25] Nilsson J., Akenine-Möller T. 2020. Understanding SSIM. ArXiv, abs/2006.13846.
- [26] Fardo F A., Conforto V H., Oliveira F C., Rodrigues P. 2016. A formal evaluation of PSNR as quality measurement parameter for image segmentation algorithms. ArXiv, abs/1605.07116.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Cam İpliğinden Farklı Desenlerde Üretilmiş Atkılı Örmeye Ribana Kumaşların Fiziksel, Yapısal ve Hava Geçirgenliği Özellikleri**

Mehmet Erdem İNCE<sup>1\*</sup>, Kıymet SAVCI GÜNEŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Tekstil Mühendisliği Bölümü, Gaziantep*  
(ORCID: [0000-0001-7537-9172](https://orcid.org/0000-0001-7537-9172)) (ORCID: [0000-0001-6263-6512](https://orcid.org/0000-0001-6263-6512))

---

### **Öz**

Bu çalışmada cam ipliğinden 1x1, 2x2, İngiliz ve balıkçı ribana desenlerinde üretilmiş atkılı örme kumaşların fiziksel, yapısal ve hava geçirgenliği özellikleri bu kumaşlarla güçlendirilmiş polimer matrisli kompozit malzeme üretimi düşünülerek mercek altına alınmıştır. 2x2 ribana deseni hem makine üzerinde hem de makineden alındıktan sonra, desen kaynaklı kumaş iç geriliminin bir neticesi olarak, ilmek sırası yönünde dramatik bir şekilde daralmıştır. Bu daralma sıkı ve sert tutumlu bir kumaş yapısı ortaya koymuştur. Diğer yandan balıkçı ribana deseninde her iki yüzde yer alan askı ilmekler, kumaş makineden alındıktan sonra, ilmek çubuklarının saat ibreleri yönünde dönüp birbiri üzerine yuvalanmalarını sağlayarak kumaş boyunu kısaltmış ve sıkı bir yapı oluşturmuştur. Sıkı bir kumaş yapısına sahip olmalarından ötürü; 2x2 ve balıkçı ribana desenleri, 1x1 ve İngiliz ribana desenlerine kıyasla daha yüksek kalınlık, alansal yoğunluk ve ilmek yoğunluğu gösterirken, daha düşük bir ilmek uzunluğu sergilemiştir. En gevşek kumaş yapısına sahip olan 1x1 ribana deseni en yüksek hava geçirgenliğini sergilerken, en sert tuşeli ve sıkı yapılı 2x2 ribana deseni en düşük hava geçirgenliğini sergilemiştir. Hava geçirgenliği ile ilmek uzunluğu arasında en güçlü pozitif korelasyon gözlemlenirken, hava geçirgenliği ile ilmek sırası sıklığı arasında en güçlü negatif korelasyon gözlemlenmiştir. Bu çalışma, kumaş sıklığını ve buna bağlı olarak hava geçirgenliğini kontrol eden örgü desen parametresi değiştirilerek fark lif hacimsel oranlarında ve çeşitli mekanik özelliklere sahip cam ipliğinden atkılı örme kumaş takviyeli kompozitlerin üretilebileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Cam ipliği, Atkılı örme kumaş, Kumaş yapısal özellikleri, Kumaş hava geçirgenliği, Polimer matris kompozit

---

## **Physical, Structural and Air Permeability Properties of Glass Yarn Weft Knitted Rib Fabrics from Different Patterns**

---

### **Abstract**

In this study physical, structural and air permeability properties of weft knitted fabrics made of glass yarn with 1x1, 2x2, English and fisherman rib patterns were examined via considering the production of polymer matrix composites reinforced by these fabrics. As a result of the pattern-induced fabric internal tension, the 2x2 rib knit contracted dramatically in the course direction both while it was on the machine and after it was removed from the machine. This contraction produced a tight and firm fabric structure. On the other hand, after the fabric was taken from the machine, the tuck stitches on both sides of the fisherman rib pattern shortened the fabric length and formed a tight structure by rotating the loop bars clockwise and nesting them on each other. Due to their tight fabric structures; the 2x2 and fisherman rib patterns showed higher thickness, higher areal density, higher loop density, and lower loop length than 1x1 English rib patterns. While the 1x1 rib pattern with the loosest fabric structure exhibited the highest air permeability, the 2x2 rib pattern with the hardest touch and tight structure displayed the lowest air permeability. Although the strongest positive correlation was observed between air permeability and loop length, the strongest negative correlation was observed between air permeability and course density. This study showed that glass-yarn weft-knitted fabric reinforced composites with various fiber volume fractions and mechanical properties can be produced by changing the knit pattern parameter that controls the fabric tightness and accordingly the air permeability.

---

\*Sorumlu yazar: [eince@gantep.edu.tr](mailto:eince@gantep.edu.tr), [meince@ncsu.edu](mailto:meince@ncsu.edu)  
Geliş Tarihi: 25.08.2021, Kabul Tarihi: 15.11.2021

**Keywords:** Glass yarn, Weft knitted fabric, Fabric structural properties, Fabric air permeability, Polymer matrix composite

## 1. Giriş

Atkılı örme kumaşlarda ilmeklerin iç içe geçmesiyle oluşan karmaşık ve üç boyutlu içyapı bu kumaşları tekstil kumaşları arasında benzersiz kılmaktadır. Kolaylıkla gerdirilebilir ve şekil alabilir olmaları bu kumaşların en büyük avantajlarından bir tanesidir. Kumaş deseni kumaşın fiziksel, yapısal özelliklerini ve kullanım performansını tayin etmektedir. Bu çalışma cam ipliğinden farklı desenlerde üretilmiş atkılı düz örme ribana kumaşların fiziksel, yapısal ve hava geçirgenliği özelliklerinin incelenmesi üzerinedir ve bu bağlamda gözden geçirilen literatür aşağıda verilmiştir.

Kane vd. [1] pamuk ipliğinden süprem ve askı ilmekli atkılı örme kumaşlar üretmiştir. Süprem kumaşa nazaran askı ilmekli kumaşlar daha yüksek kalınlık, alansal yoğunluk ve hava geçirgenliği sergilemiştir. İlmek uzunluğu kumaşın kalınlığını, alansal yoğunluğunu, sıra/çubuk/ilmek sıklığını, sıklık faktörünü ve patlatma mukavemetini düşürürken su emiciliğini ve hava geçirgenliğini arttırmıştır. Araştırmacılar genel olarak askı ilmeğinin kumaş özelliklerini iyileştirdiği sonucuna varmıştır.

Mikučionienė vd. [2 - 4] aramid ipliğinden ürettikleri süprem kumaşların tutuşa bilirlilik ve konfor özelliklerini ilmek uzunluğu ve iplik kat sayısını değiştirmek suretiyle optimize etmeye çalışmıştır. İlmek uzunluğu yanma süresini azaltırken iplik kat sayısı arttırmıştır. Diğer taraftan uzun ilmekli ve düşük iplik kat sayılı kumaşlar daha yüksek hava geçirgenliği sergilemiştir. Bivainytė ve Mikučionienė [5] dış yüzeyinde pamuk veya bambu ipliğinin, iç yüzeyinde ise sentetik ipliğin yer aldığı atkılı örme vanize kumaşların hava ve su buharı geçirgenliğini incelemiştir. Aynı desene sahip kumaşlarda ilmek uzunluğu ile hava geçirgenliği arasında pozitif ve doğrusal bir ilişki gözlemlenirken, farklı desene sahip kumaşlarda bu ilişki gözlemlenmemiştir.

Ciobanu ve Filipescu [6] ham maddenin (akrilik ve polyester iplik), örgü deseninin (süprem, 1x1 ribana ve 1x1 ters örgü), kam ayarının ve iplik tansiyonunun atkılı örme kumaşların gerilme mukavemeti özellikleri üzerine etkisini incelemiştir. Kumaşlar ilmek sırası ve ilmek çubuğu yönünde farklı davranırken kumaşların ilmek sırası yönünde gerilme mukavemetini etkileyen en etken girdi değişkeni olarak örgü deseni ön plana çıkmıştır. Çoruh [7] lif (pamuk/viskon ve pamuk/polyester) karışım oranı ve kam ayarının atkılı örme süprem kumaşlarda patlatma mukavemeti, hava geçirgenliği ve su buharı geçirgenliği üzerine etkilerini incelediği çalışmasında kumaşın tüm özelliklerini etkileyen ana faktör olarak ilmek uzunluğuna işaret etmiştir. Ciobanu vd. [8] atkılı örme sandviç kumaşlarda kam ayarının, bağlayıcı iplik tipinin (aramid veya keten iplik) ve atkı yatırımı ipliğinin kumaş patlatma mukavemeti üzerine etkisini incelemiştir. İlmek uzunluğunun düşmesi ile birlikte kumaş patlatma mukavemeti artmıştır.

Uyanık vd. [9], Uyanık ve Topalbekiroğlu [10] pamuk ipliğinden ürettikleri atkılı örme kumaşlarda örgü tekrarı içinde yer alan askı ilmeklerinin sayısının ve pozisyonunun kumaşın patlatma ve boncuklanma dayanımını istatistiksel olarak önemli seviyede etkilediğini ifade etmiştir. Kumaş özelliklerini etkileyen en etkin yapısal parametrenin ilmek uzunluğu olduğu ifade edilmiş ve ilmek uzunluğu ile kumaş patlatma mukavemeti arasında negatif bir ilişki tespit edilmiştir. Küçük boyutlu örgü tekrarlarında çapraz konumlanmış askı ilmeklerinin kumaş ilmek çubuğu yönünde kısaltarak kumaş sıklığını ve patlatma mukavemetini arttırdığı rapor edilmiştir. Askı ilmeği içeren kumaşların süprem kumaşa nazaran daha yüksek boncuklanma dayanımı sergilemesi askı ilmekli kumaşların gözenekli yapılarına atfedilmiştir.

İnce ve Yildirim [11] tek iğne yatağı kullanarak cam ipliğinden ürettikleri atkılı düz örme kumaşlarda farklı ilmek tiplerinin hava geçirgenliği ve patlatma mukavemeti üzerine etkisini incelemiştir. Makineden alınan askı ilmekli kumaşın dramatik bir şekilde kısaltarak ilmek çubuklarının saat ibreleri yönünde dönmesi ve birbiri üzerlerine yerleşmeleri ilmek yoğunluğunu ve lif içeriğini arttırırken ilmek uzunluğunu azaltmıştır. Böylece askı ilmekli kumaş en düşük hava geçirgenliği ve en yüksek patlatma mukavemetini sergilemiştir. Önceki çalışmalara istinaden pamuk ipliğinden üretilmiş askı ilmeğinin hava geçirgenliğini arttırdığı ve patlatma mukavemetini düşürdüğü rapor edilirken bunun aksine kendi çalışmalarında ise cam iplik askı ilmeklerin hava geçirgenliğini düşürdüğü ve patlatma mukavemetini arttırdığı ifade edilmiştir.

Üç boyutlu birbiri içine geçmiş gözenekli ilmeklerden, diğer tekstil kumaşlarına nazaran daha düşük maliyetlerle üretilen, gerdirilebilir ve dökümlü atkılı örme kumaşlar teknik tekstil

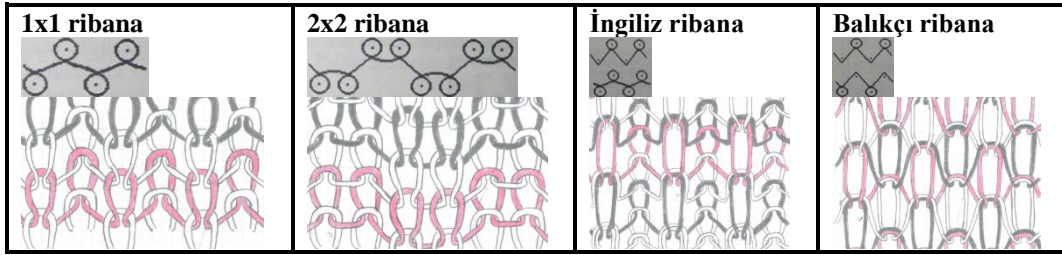
uygulamalarında avantaj sağlamaktadır. Atkılı örme tekniği ile sıvı kompozit kalıplama uygulamalarına yönelik üç boyutlu, esnek, kolay kalıplanabilir, geçirgen ve (dokusuz ve dokuma kumaşlara nazaran) darbe dayanımı daha yüksek takviye kumaşı [12-15] üretmek mümkündür.

Yapılan literatür taraması kumaş desen parametresinin ilmek uzunluğunu da kontrol etmek suretiyle atkılı örme kumaşların fiziksel özelliklerini ve kullanım performansını belirlediğini göstermiştir. Önceki çalışmalar bu gerçeği doğal ve/veya sentetik iplikler için incelemiştir. Ancak çift iğne yatağı kullanılarak cam iplikten örülmüş atkılı örme ribana kumaşların özelliklerini incelemeye yönelik özel bir dikkat sarf edilmemiştir

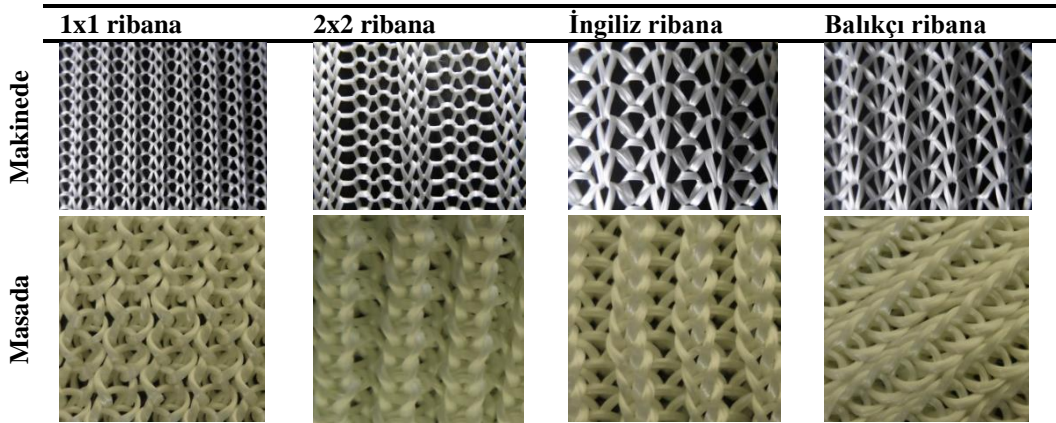
Bu çalışmanın amacı cam ipliğinden muhtelif ribana desenlerinde üretilmiş atkılı örme kumaşlarda desen parametresini değiştirme yoluyla kumaşın fiziksel ve yapısal özelliklerinin kontrol edilebileceği ve farklı lif hacimsel oranlarında (farklı kumaş sıklıklarında) kumaş takviyeli polimer matris kompozit malzeme üretilebileceğini göstermektir. Bu bağlamda, kumaş yapısal ve fiziksel özelliklerine ek olarak, kumaş yapısı sıklığının (lif hacimsel oranının) sayısal bir göstergesi olarak kumaş hava geçirgenliği performansı ölçülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

Tek kat iplik numarası 136 tex ve her bir lifinin çapı 9 mikron olan çoklu filament cam ipliğinden üç kat ipliği Brother KH-864 marka, elle çalışan, 5E inceliğe sahip, düz atkılı örme makinesine beslemek suretiyle kumaşlar üretilmiştir. Geleneksel tekstil uygulamalarında yaygın olarak kullanılan dört farklı kumaş deseni seçilmiştir. Şekil 1 seçilen atkılı örme kumaş desenlerinin teknik gösterimini ve elle çizilmiş görüntülerini içermektedir. Şekil 2 ise gerçek kumaş desenlerinin makine üzerinde ilmek çubuğu yönünde gerdirilmiş halde ve masa üzerinde serbest halde çekilmiş fotoğraflarını göstermektedir.



Şekil 1. Örgü desenlerinin teknik gösterimleri ve elle çizilmiş görüntüleri



Şekil 2. Örgü desenlerinin gerçek görüntüleri

## 2.1. Kumaşların fiziksel ve yapısal özelliklerinin ölçülmesi

### 2.1.1. Kalınlık

Kumaş kalınlığı baskı ayağı çapı 21,15 mm olan dijital kalınlık ölçer yardımıyla ölçülmüştür. Kumaşların hacimli ve teknik tekstil kumaşı olmasından dolayı kalınlık ölçümü 200 kPa basınç altında yapılmıştır.

### 2.1.2. Alansal yoğunluk

ASTM D3776 [16] standardına uygun olarak kumaşlardan özel bir kalıp kesici yardımıyla 5x5 cm<sup>2</sup> boyutunda kesilen parçaların ağırlıkları hassas terazide ölçülmüştür. Ölçülen kumaş alansal yoğunluğu ve kumaş kalınlığı değerlerinin Eşitlik (1)'de yerine konması yoluyla lif hacmi yüzdesi hesaplanmıştır. Eşitlik (1)'de yer alan  $A_f$ ,  $\rho_f$  ve  $t$  sembolleri sırasıyla kumaş alansal yoğunluğunu, lif hacimsel yoğunluğunu ve kumaş kalınlığını ifade etmektedir. Cam lifinin hacimsel yoğunluğu 2,5 g/cm<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir.

$$\text{Lif hacmi yüzdesi [\%]} = \frac{A_f}{\rho_f * t} * 100 \quad (1)$$

### 2.1.3. İlmek sırası ve ilmek çubuğu sıklığı

İlmek sırası ve ilmek çubuğu sıklığı ASTM D8007 [17] standardına uygun olarak ölçülmüştür. İlmek yoğunluğu (bir cm<sup>2</sup>'lik alanda yer alan ilmeklerin sayısı) ilmek sırası ve ilmek çubuğu sıklık değerlerinin çarpımından hesaplanmıştır.

### 2.1.4. İlmek uzunluğu

İlmek uzunluğu ölçümünde BS 5441 [18] standardı takip edilmiştir. İlmek sırası yönünde 5 santimetrelik bir mesafede bulunan ilmekler sayılmış, daha sonra bu mesafe sökülmüş, gerdirilmiş ve uzunluğu bir cetvel yardımı ile ölçülmüştür. Sökülen uzunluk ile ilmek sayısı arasındaki oran milimetre biriminden ilmek uzunluğu olarak kayıt altına alınmıştır.

## 2.2. Kumaşların hava geçirgenliğinin ölçülmesi

Kumaşların hava geçirgenliğinin ölçülmesinde SDL ATLAS M021 test cihazı kullanılmış ve ASTM D737 [19] metodu takip edilmiştir. Kumaş test alanı olarak 20 cm<sup>2</sup> ve basınç düşümü olarak 200 Pa seçilmiştir. Tüm grafiklerin çiziminde ve verilerin analizinde JMP® [20] yazılım paketinin deneme sürümü kullanılmıştır.

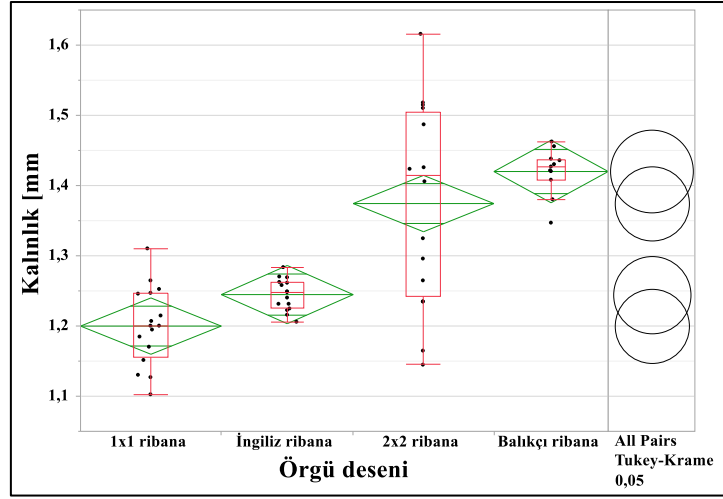
## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Kalınlık, alansal yoğunluk ve lif hacmi yüzdesi

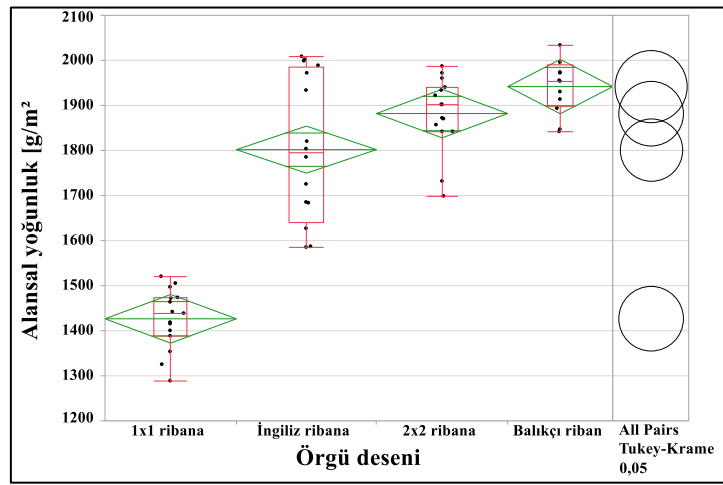
Şekil 3 ve Tablo 1 örgü deseninin kalınlık, alansal yoğunluk ve lif hacmi yüzdesi üzerine olan etkilerini göstermektedir. İngiliz ve balıkçı ribana örgü desenlerindeki askı ilmekleri kumaş makineden çıkarıldıktan sonra hem en hem de boy yönünde daralmaya neden olarak kalınlığı arttırmıştır. Önceki çalışmalarda tek iğne yatağı kullanılarak pamuk ipliğinden üretilen atkılı örme kumaşlarda da askı ilmeğinin sayısı ve pozisyonu kumaşın fiziksel özelliklerini ve kullanım performansını önemli ölçüde etkileyerek kalınlık ve alansal yoğunluğu arttırmıştır [1, 9, 10]. Benzer şekilde İnce ve Yıldırım [11] cam ipliğinden tek iğne yatağı kullanarak ürettikleri atkılı örme kumaşlarda askı ilmeğinin kumaş kalınlığını ve alansal yoğunluğunu arttırdığını gözlemlemiş ve bu artışı ilmek çubuklarının saat ibreleri yönünde dönerik yuvalanmalarına bağlamıştır.

2x2 ribana örgü deseninde düz ve ters ilmek çubuklarının ikili ve ardışık yerleşimi kumaş iç gerilimini arttırmış ve bu iç gerilim de makineden çıkarılan kumaşın ilmek sırası (kumaş eni) yönünde dramatik bir şekilde daralmasına neden olmuştur. Böylece kumaş eni yönünde bir hayli daralan 2x2 ribana örgü deseni, 1x1 ribana örgü desenine kıyasla daha yüksek kalınlık sergilemiştir. İkili

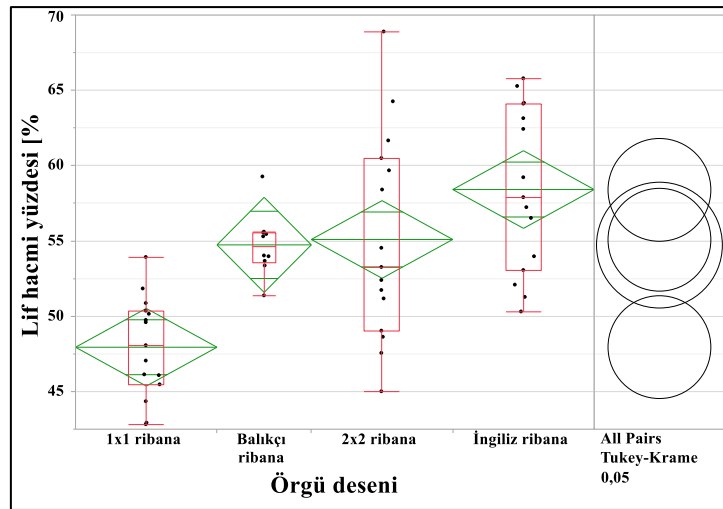
karşılaştırmalar balıkçı ve 2x2 ribana örgü desenleri arasındaki kalınlık farkının, İngiliz ve 1x1 ribana örgü desenleri arasındaki kalınlık farkı gibi, istatistiksel olarak anlamlı bir düzeye ulaşmadığını göstermiştir. Desenden kaynaklı olarak düşük bir kumaş iç gerilimine sahip olan 1x1 ribana örgü deseni gevşek bir yapı ortaya koyup en düşük kumaş kalınlığı sergilemiştir. Benzer sonuçlar örgü deseninin kumaş alansal yoğunluğu ve lif hacmi yüzdesine etkisinde de gözlemlenmiştir. 2x2 ribana örgü deseni ve askıilmek ihtiva eden örgü desenleri 1x1 ribana örgü deseninden daha yüksek alansal yoğunluk ve lif içeriği sergilemiştir.



a



b



c

**Şekil 3.** Örgü deseninin kalınlık (a), alansal yoğunluk (b) ve lif hacmi yüzdesi (c) üzerine etkisi  
**Not:** Yeşil elmasların alt ve üst köşeleri arasındaki mesafe % 95 güven aralığını temsil etmektedir. Her bir örgü deseni seviyesinin hesaplanan ortalama değeri için bir adet karşılaştırma daresi sağ taraftaki sütunda verilmektedir. Önemli seviyede birbirinden farklı olan ortalamaları temsil eden daireler ya kesişmemekte ya da hafifçe kesişmektedir.

**Tablo 1.** Örgü deseninin kalınlık, alansal yoğunluk ve lif hacmi yüzdesi üzerine etkisi

Özellik	Örgü deseni		n	ort	ss	AL	ÜL	p-değeri
Kalınlık [mm]	Balıkçı ribana	A	13	1,42	0,03	1,40	1,44	<b>&lt; 0,0001</b>
	2x2 ribana	A	16	1,37	0,14	1,30	1,45	
	İngiliz ribana	B	15	1,24	0,02	1,23	1,26	
	1x1 ribana	B	16	1,20	0,06	1,17	1,23	
Alansal yoğunluk [g/m <sup>2</sup> ]	Balıkçı ribana	A	12	1941,78	59,18	1904,2	1979,4	<b>&lt; 0,0001</b>
	2x2 ribana	A B	15	1881,99	82,08	1836,5	1927,4	
	İngiliz ribana	B	16	1801,83	161,47	1715,8	1887,9	
	1x1 ribana	C	15	1426,46	66,99	1389,4	1463,6	
Lif hacmi yüzdesi [%]	İngiliz ribana	A	15	58,41	5,45	55,40	61,43	<b>&lt; 0,0001</b>
	2x2 ribana	A	15	55,10	6,84	51,31	58,88	
	Balıkçı ribana	A	10	54,74	2,05	53,27	56,21	
	1x1 ribana	B	15	47,94	3,31	46,11	49,78	

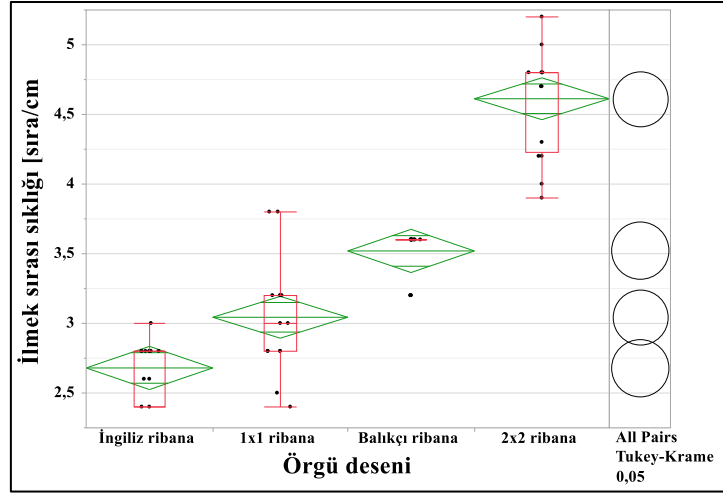
**Not:** Aynı alfabetik büyük harfle birleştirilmeyen seviyeler birbirlerinden önemli seviyede farklıdır ( $\alpha = 0,05$ ). **n:** ölçüm sayısı, **ort:** ortalama, **ss:** standart sapma, **AL:** alt limit, **ÜL:** üst limit. Limitler % 95 güven seviyesine göre tesis edilmiştir. 0,05'den küçük olan p-değerleri en az iki seviye arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğunun bir ifadesi olup kırmızıya boyanmıştır.

### 3.2. İlmek sırası sıklığı, ilmek çubuğu sıklığı ve ilmek yoğunluğu

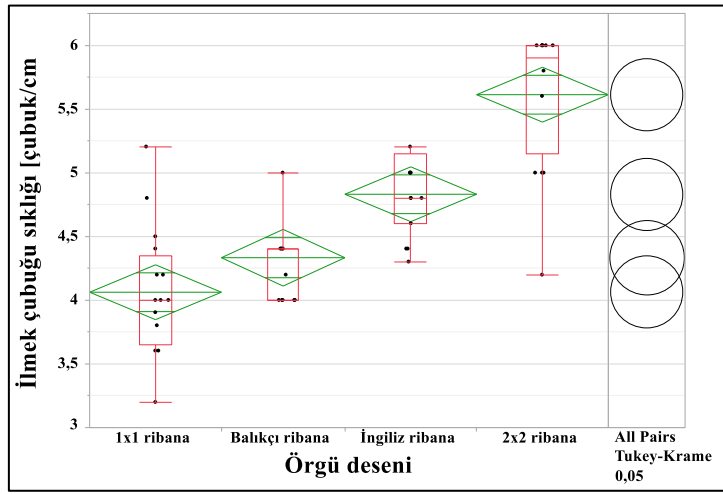
Örgü deseni ilmek sırası sıklığı, ilmek çubuğu sıklığı ve ilmek yoğunluğu üzerinde istatistiksel olarak önemli bir etki oynamış ve 2x2 ribana örgü deseni bu özellikler açısından diğer desenleri gölgede bırakmıştır (Şekil 4, Tablo 2). 2x2 ribana örgü deseni makineden çıkarıldıktan sonra ilmek sırası yönünde dramatik bir şekilde daralma sergilemiş ve bu daralma da kumaş sıklığını arttırmıştır.

Balıkçı ribana örgü deseninin her iki yüzünde yer alan askı ilmekler, kumaş makineden çıkarıldıktan sonra, ilmek çubuklarının saat ibreleri yönünde dönmesine neden olmuştur (Şekil 2). Bu dönmenin neticesinde komşu ilmek çubukları birbiri altına yuvalanarak balıkçı ribana örgü deseninin ilmek yoğunluğunu arttırmıştır. Öte yandan daha az iç gerilimli gevşek kumaş yapısı nedeniyle 1x1 ribana örgü deseni en düşük ilmek yoğunluğunu göstermiştir.

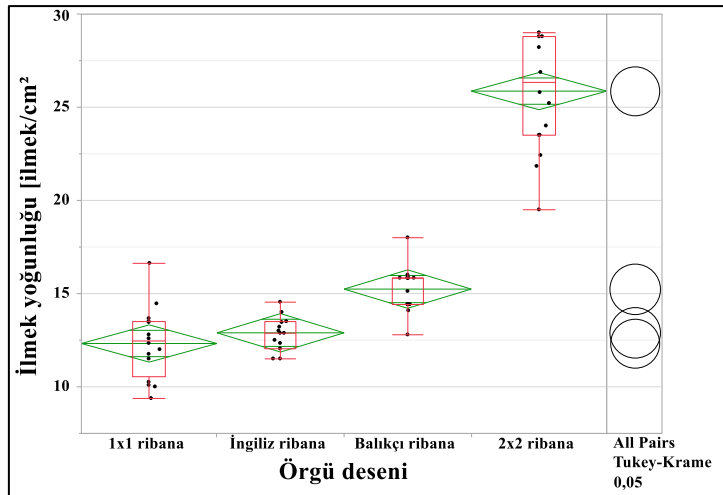




a



b



c

Şekil 4. Örgü deseninin ilmeç sırası sıklığı (a), ilmeç çubuğu sıklığı (b) ve ilmeç yoğunluğu (c) üzerine etkisi

**Tablo 2.** Örgü deseninin ilmek sırası sıklığı, ilmek çubuğu sıklığı ve ilmek yoğunluğu üzerine etkisi

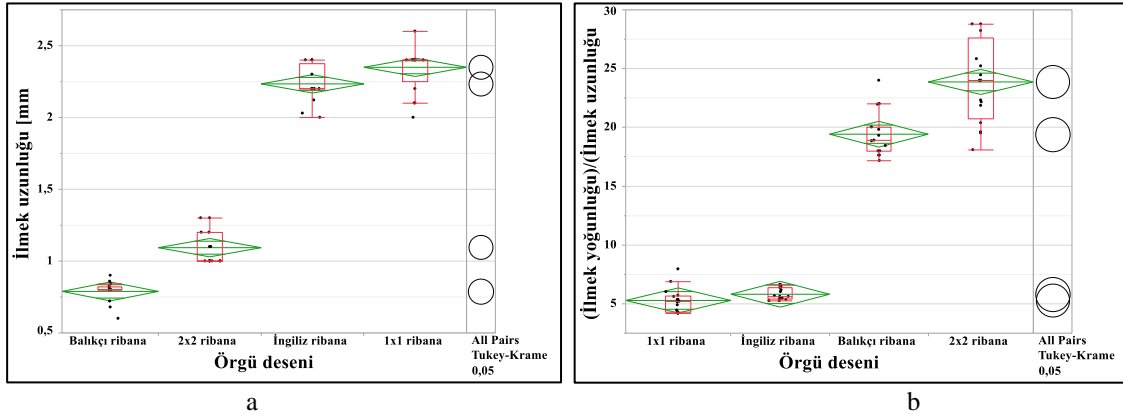
Özellik	Örgü deseni	n	ort	ss	AL	ÜL	p-değeri
İlmeğin sırası sıklığı [sıra/cm]	2x2 ribana	A	16	4,61	0,37	4,41	4,81
	Balıkçı ribana	B	15	3,52	0,17	3,43	3,61
	1x1 ribana	C	16	3,04	0,38	2,84	3,25
	İngiliz ribana	D	15	2,68	0,20	2,57	2,79
İlmeğin çubuğu sıklığı [çubuk/cm]	2x2 ribana	A	16	5,61	0,54	5,32	5,90
	İngiliz ribana	B	16	4,83	0,30	4,67	4,99
	Balıkçı ribana	C	15	4,33	0,33	4,15	4,51
	1x1 ribana	C	16	4,06	0,50	3,80	4,33
İlmeğin yoğunluğu [ilmeğin/cm <sup>2</sup> ]	2x2 ribana	A	16	25,86	3,09	24,22	27,51
	Balıkçı ribana	B	15	15,24	1,21	14,57	15,91
	İngiliz ribana	C	15	12,90	1,02	12,33	13,46
	1x1 ribana	C	16	12,32	1,88	11,32	13,32

**Not:** ilmeğin sırası sıklığı: kumaş boyu yönünde 1 cm mesafede yer alan ilmeğin sırası sayısı, ilmeğin çubuğu sıklığı: kumaş eni yönünde 1 cm mesafede yer alan ilmeğin çubuğu sayısı, ilmeğin yoğunluğu: kumaş yüzeyi üzerinde 1 cm<sup>2</sup> alanda yer alan toplam ilmeğin sayısı.

### 3.3. İlmeğin uzunluğu ve “(İlmeğin yoğunluğu)/(İlmeğin uzunluğu)” oranı

İlmeğin uzunluğu kumaşın fiziksel özelliğini ve kullanım performansını kontrol eden en etkin yapısal parametre olarak karşımıza çıkmaktadır. İlmeğin kısaltıldıkça kumaş daha sıkı bir hal almaktadır. Örgü deseni ilmeğin uzunluğunu istatistiki olarak önemli bir seviyede değiştirmiştir (Şekil 5-a ve Tablo 3). 1x1 ribana deseni en uzun ilmeği sergilerken balıkçı ribana deseni en kısa ilmeği sergilemiştir. İngiliz ve balıkçı ribana desenlerindeki askı ilmeği varlığı ve 2x2 ribana desenindeki kumaş eni yönünde daralma ilmeğin uzunluğunu kısaltmıştır.

İlmeğin yoğunluğu artıp ilmeğin uzunluğu kısaltıldıkça kumaş daha sıkı bir yapıya bürünmektedir. Dolayısıyla ilmeğin yoğunluğu ile ilmeğin uzunluğu arasındaki oran kumaş sıklığının sayısal bir göstergesi olmaktadır. Örgü deseni “ilmeğin yoğunluğu/ilmeğin uzunluğu” oranını istatistiki olarak önemli seviyede etkilemiştir. 2x2 ribana deseni en yüksek oranı sergilerken 1x1 ribana deseni en düşüğü sergilemiştir (Şekil 5-b ve Tablo 3). İngiliz ve 1x1 ribana desenleri arasında kumaş sıklığı oranı açısından istatistiki olarak önemli bir fark gözlemlenmemiştir.



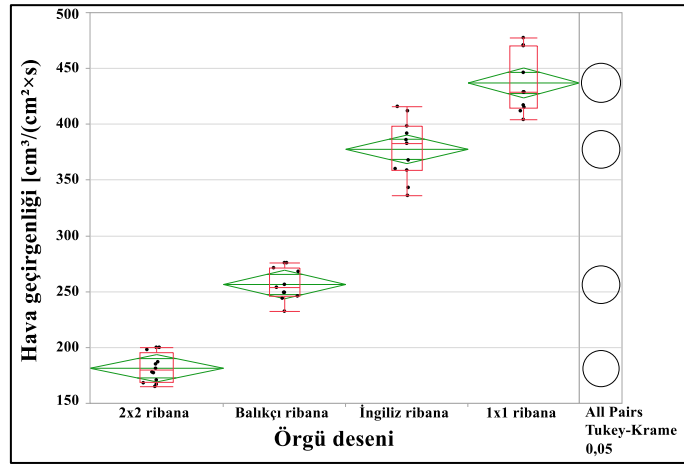
**Şekil 5.** Örgü deseninin ilmeğin uzunluğuna (a) ve (ilmeğin yoğunluğu)/(ilmeğin uzunluğu) oranına (b) etkisi

**Tablo 3.** Örgü deseninin ilmeğin uzunluğuna ve (İlmeğin yoğunluğu)/(İlmeğin uzunluğu) oranına etkisi

Özellik	Örgü deseni	n	ort	ss	AL	ÜL	p-değeri
İlmeğin uzunluğu [mm]	1x1 ribana	A	16	2,35	0,17	2,26	2,44
	İngiliz ribana	A	16	2,23	0,13	2,17	2,30
	2x2 ribana	B	16	1,09	0,12	1,03	1,16
	Balıkçı ribana	C	15	0,79	0,07	0,75	0,83
“İlmeğin yoğunluğu/İlmeğin uzunluğu” oranı	2x2 ribana	A	16	23,87	3,56	21,97	25,76
	Balıkçı ribana	B	15	19,42	1,93	18,36	20,49
	İngiliz ribana	C	15	5,81	0,50	5,53	6,09
	1x1 ribana	C	16	5,28	1,02	4,74	5,83

### 3.4. Hava Geçirgenliği

Örgü deseni değiştiğinde hava geçirgenliği değerlerinde net bir şekilde istatistiksel olarak anlamlı olan değişimler gözlemlenmiş ve bu gözlemler oldukça düşük p-değerleri ile numerik olarak da desteklenmiştir (Şekil 6 ve Tablo 4). 1x1 ribana deseni en yüksek hava geçirgenliğini sergilerken, 2x2 ribana deseni en düşük hava geçirgenliğini sergilemiştir. Ardışık olarak, öncelikle bitişik iki ters ilmeğin ön iğne yatağında oluşturulması, akabinde yine bitişik iki düz ilmeğin arka iğne yatağında oluşturulması, 2x2 ribana örgü deseninin diğer desenlere oranla ilmek sırası yönünde daha fazla daralmasına neden olmuştur. Bu dramatik daralma yüksek lif hacmi yüzdesi içerikli, ilmek yoğun, sıkı bir kumaş yapısı oluşturmuş ve kumaşın hava geçirgenliğini düşürmüştür. Öte yandan en düşük lif hacmi yüzdesine ve en düşük ilmek yoğunluğuna sahip gevşek yapıyla 1x1 ribana örgü deseni en yüksek hava geçirgenliği performansını sergilemiştir. İngiliz ve balıkçı ribana örgü desenleri arasındaki istatistiksel olarak önemli olan hava geçirgenliği farkı, cam iplik atkılı örme ribana kumaşlarda askı ilmeğinin daha sıkı bir kumaş yapısı oluşturarak hava geçirgenliğini düşürdüğünü kanıtlamıştır.

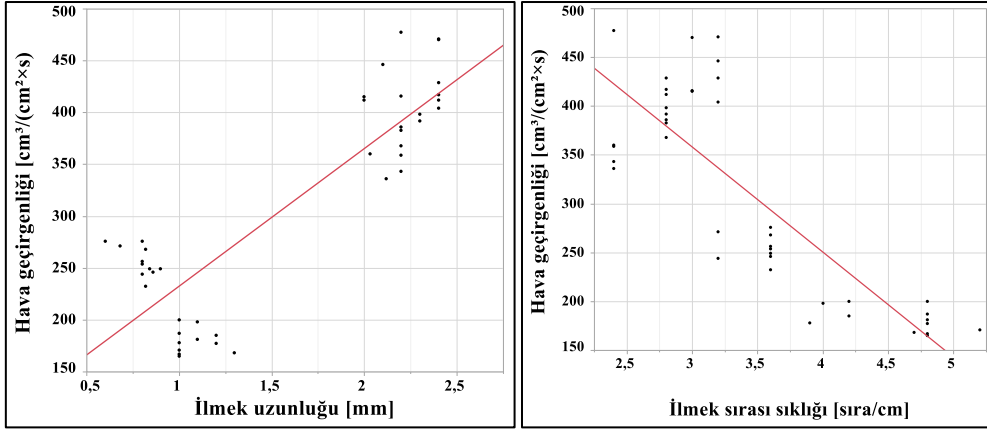


Şekil 6. Örgü deseninin hava geçirgenliği üzerine etkisi

Tablo 4. Örgü deseninin hava geçirgenliği üzerine etkisi

Özellik	Örgü deseni	n	ort	ss	AL	ÜL	p-değeri
Hava geçirgenliği [cm³/(cm²×s)]	1x1 ribana	A	10	437,00	27,19	417,55	456,45
	İngiliz ribana	B	11	377,54	26,56	359,70	395,39
	Balıkçı ribana	C	11	256,46	14,45	246,75	266,16
	2x2 ribana	D	12	181,42	12,82	173,27	189,56

Kumaşların ölçülen fiziksel, yapısal ve hava geçirgenliği özellikleri arasında ikili korelasyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda korelasyon katsayısı (r) mutlak değeri 0,80'in üzerinde olan ilişkiler istatistiksel olarak önemli kabul edilmiştir. Bu bağlamda hava geçirgenliği ile ilmek uzunluğu arasında en yüksek pozitif ilişki (r = 0,87) tespit edilirken hava geçirgenliği ile ilmek sırası sıklığı arasında en düşük negatif ilişki (r = -0,84) tespit edilmiştir. Bu sonuçlarla ilgili veriler Şekil 7 ve Tablo 5'de verilmektedir.



Sekil 7. Hava geçirgenliği ile en yüksek pozitif (a) ve en düşük negatif (b) korelasyon ilişkileri

Tablo 5. Hava geçirgenliği ile en yüksek pozitif ve en düşük negatif korelasyon ilişkileri

İlişki	r	Regresyon denklemi	R <sup>2</sup>	p-değeri
İlmek uzunluğu - Hava geçirgenliği	+ 0,87	$y = 100,14 + (132,73)x$	0,75	< 0,0001
İlmek sırası sıklığı - Hava geçirgenliği	- 0,84	$y = 681,20 - (107,67)x$	0,70	< 0,0001

Not: r: korelasyon katsayısı, R<sup>2</sup>: regresyon denklemi kararlılık katsayısı, r<sup>2</sup>=R<sup>2</sup>.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada 3 kat E-camı ipliği kullanarak çift yataklı örme makinesinde farklı desenlerde (1x1, 2x2, İngiliz ve balıkçı ribana desenlerinde) üretilen atkılı örme ribana kumaşların kalınlığı, alansal yoğunluğu, yapısal parametreleri (ilmek sırası sıklığı, ilmek çubuğu sıklığı, ilmek uzunluğu) ve hava geçirgenliği ölçülmüştür. Makineden çıkarılan kumaşlarda en ve boy yönünde gerçekleşen ve miktarları örgü desenine bağlı olarak değişen daralmalar gözlemlenmiştir. Bu daralmalar kumaşların fiziksel ve yapısal özelliklerinin belirlenmesinde rol oynamıştır. Hem makine üzerinde hem de makineden indirildikten sonra ilmek sırası yönünde dramatik bir şekilde daralan ve buna mukabil sıkı bir yapı, yüksek lif içeriği ve yüksek ilmek yoğunluğu sergileyen 2x2 ribana örgü desenli kumaş en düşük hava geçirgenliğini göstermiştir. Örgü desenine askı ilmeklerin dâhil edilmesi kumaşın sıklığını arttırmış ve hava geçirgenliğini düşürmüştür. Bu çalışma yüksek lif içeriği veya düşük gözeneklilik istenen lif takviyeli kompozit uygulamalarında 2x2 ribana veya askı ilmek içeren örgü desenlerinin kullanılması gerektiğine işaret etmiştir.

2x2 ve balıkçı ribana örgü desenleri en yüksek lif hacmi yüzdesini, en yüksek ilmek yoğunluğunu ve en kısa ilmek uzunluğunu sergilerken 1x1 ribana örgü deseni bu sayılan özelliklerin tam aksini sergilemiştir. Bu bulgular 2x2 ribana örgü deseninin ilmek sırası (kumaş eni) yönündeki daralma eğilimiyle ve balıkçı ribana örgü deseninde ise kumaşın her iki yüzünde yer alan askı ilmeği varlığıyla ilişkilendirilmiştir. Hava geçirgenliği ile ilmek uzunluğu arasında en güçlü pozitif korelasyon tespit edilirken hava geçirgenliği ile ilmek sırası sıklığı arasında ise en güçlü negatif korelasyon tespit edilmiştir.

Üretilen cam iplikli ve muhtelif ribana örgü desenli atkılı örme kumaşlar polyester reçine ile vakum infüzyon metodu kullanılarak muamele edilip atkılı örme kumaş takviyeli polimer matris kompozit malzemeye dönüştürülecektir. Burada, bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre kumaş deseni parametresi kumaşın fiziksel (kalınlık, alansal yoğunluk, lif hacmi oranı) ve yapısal (sıra/çubuk sıklığı, ilmek yoğunluğu, ilmek uzunluğu ve kumaş sıklığı) özelliklerini önemli seviyede etkilemiştir. Kumaş deseni parametresinin kumaş fiziksel ve yapısal özellikleri üzerindeki bu etkisinin bu kumaşlardan üretilen kompozit malzemeye de yansması beklenmektedir. Bir başka deyişle kumaş deseni parametresini kontrol etme yoluyla atkılı örme kumaş takviyeli polimer matrisli kompozitlerde mekanik özelliklerin kontrol edilebileceğinin gösterilmesi planlanmaktadır.

Kumaş sıklığı ve dolayısıyla birim kumaş hacminde yer alan lif miktarı (bir başka deyişle lif hacmi oranı) kumaşın hava geçirgenliği ile ters orantılıdır. Hava geçirgenliğinin düşmesi ile birlikte lif hacmi oranının artması ve buna mukabilde kompozit malzemeden beklenen mekanik özellik performansının artması beklenmektedir. Bu çalışmada ortaya konulan atkılı örme kumaşlar kumaş

takviyeli polimer matris kompozit malzeme üretimine yöneliktir. Bu kapsamda üretilecek kompozit malzemelerin, özellikle yapısal elemanların (arabaların, yel değirmenlerinin, uçakların, deniz taşıtlarının vb.) çarpma darbesine maruz bölgelerinde kullanılması neticesinde, yüksek miktarda çarpma enerjisi emmesi beklenmektedir. Emilecek olan çarpma enerjisi miktarının da kumaş deseni parametresini değiştirme yoluyla kontrol edilebileceğinin gösterilmesi hedeflenmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Gaziantep Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi tarafından MF.YLT.18.02 nolu ve “Atkılı örme kumaş ile güçlendirilmiş, polimer matrisli kompozit malzeme tasarımı ve üretimi” başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir.

### **Yazarların Katkısı**

Literatür taraması, deneysel çalışma planının hazırlanması, test sonuçlarının istatistiksel olarak analiz edilmesi, grafiklerin çizilmesi, makalenin yazılması ve basıma hazırlanması Mehmet Erdem İnce tarafından yapılmıştır. Kumaşların örülmesi ve testlerin yapılması ise Kıymet Savcı Güneş tarafından yapılmıştır. Bu çalışma Kıymet Savcı Güneş’in yüksek lisans tezinden türetilmiştir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Kane C.D., Patil U.J., Sudhakar P. 2007. Studies on the influence of knit structure and stitch length on ring and compact yarn single jersey fabric properties. *Textile Research Journal*, 77 (8): 572-582.
- [2] Mikučionienė D., Baltušnikaitė J., Milašius R. 2011. Influence of the number of yarns in a loop on the flammability of knits. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 19 (6): 71-74.
- [3] Mikučionienė D., Milašiūtė L., Baltušnikaitė J., Milašius R. 2012. Influence of plain knits structure on flammability and air permeability. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 94 (5): 66-69.
- [4] Mikučionienė D., Milašiūtė L., Milašius R. 2014. Influence of knits structure on flammability and comfortability. *AUTEX Research Journal*, 14 (4): 226-232.
- [5] Bivainyte A., Mikucioniene D. 2011. Investigation on the air and water vapour permeability of double-layered weft knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 19 (3): 69-73.
- [6] Ciobanu L., Filipescu F., 2012. Experimental study on the mechanic behaviour of weft knitted fabrics. *Fibres & Textiles In Eastern Europe*, 20 (2): 34-39.
- [7] Çoruh E. 2015. Optimization of comfort properties of single jersey knitted fabric. *Fibres & Textiles in Eastern Europa*, 23 (4): 66-72.
- [8] Ciobanu A. R., Ciobanu L., Dumitras C., Sarghie B. 2016. Comparative analysis of the bursting strength of knitted sandwich fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 24 (2): 95-101.
- [9] Uyanik S., Değirmenci Z., Topalbekiroğlu M., Geyik F. 2016. Examining the relation between the number and location of tuck stitches and bursting strength in circular knitted fabrics. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 24 (1(115)): 114-119.
- [10] Uyanik S., Topalbekiroğlu M. 2017. The effect of knit structures with tuck stitches on fabric properties and pilling resistance. *Journal of the Textile Institute*, 108 (9): 1584-1589.
- [11] İnce M. E., Yildirim H. 2019. Air permeability and bursting strength of weft-knitted fabrics from glass yarn. part II: knit architecture effect. *The Journal of The Textile Institute*, 110 (7): 1072-1084.

- [12] Ciobanu L., 2011. Development of 3D Knitted Fabrics for Advanced Composite Materials. B. Attaf (Edt.), *Advances in Composite Materials - Ecodesign and Analysis*, InTech, 161-192.
- [13] Gommers B., Verpoest I., Van Houtte P. 1998. Analysis of knitted fabric reinforced composites: part I. fibre orientation distribution. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 29 (12): 1579-1588.
- [14] Pamuk G., Çeken F. 2008. Manufacturing of weft-knitted fabric reinforced composite materials: a review. *Materials and Manufacturing Processes*, 23 (7): 635-640.
- [15] Pandita S. D., Falconet D., Verpoest I. 2002. Impact properties of weft knitted fabric reinforced composites. *Composite Science and Technology*, 62 (7-8): 1113-1123.
- [16] ASTM. (2009). ASTM D3776 Standard Test Methods for Mass Per Unit Area (Weight) of Fabric.
- [17] ASTM. (2015). ASTM D8007 Standard Test Method for Wale and Course Count of Weft Knitted Fabrics.
- [18] BS. (1988). BS 5441 British Standard Methods of Test for Knitted fabrics.
- [19] ASTM. (2018). ASTM D737 Standard Test Method for Air Permeability of Textile Fabrics.
- [20] Statistical Software | JMP Software from SAS, 2021. [https://www.jmp.com/en\\_us/home.html](https://www.jmp.com/en_us/home.html)

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Web Sitelerinde Gerçekleştirilen Oltalama Saldırılarının Yapay Zekâ Yaklaşımı ile Tespiti

Mesut TOĞAÇAR\*

*Fırat Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Elazığ  
(ORCID: [0000-0002-8264-3899](https://orcid.org/0000-0002-8264-3899))*

---

### Öz

Oltalama, kişisel bilgilerin internet üzerinden çalınmasına yönelik gerçekleştirilen yazılım tabanlı saldırılardır. Oltalama saldırılarında genellikle kişilerin kimlik bilgileri, kullanıcı parolaları, kredi veya banka kartı bilgileri gibi özel bilgilerin ele geçirilmesi amaçlanır. Bunun için en uygun ortam olarak genelde özel yazılım kodları içeren web sitesi uygulamaları veya elektronik posta sistemleri tercih edilir. Bu tür net uygulamalarında gelen cezbedici görsel veya metin tabanlı iletiler bireyleri yemleyerek saldırıların gerçekleştirilmesini sağlar. Milyarlarca insanın etkileşim içerisinde olduğu internet ortamında bu tür saldırıların önlemine zamanında alabilmek için teknolojik gelişmelerle paralel hareket etmek gerekir. Son zamanlarda, yapay zekâ teknolojileri internet güvenliği alanında adını duyurmayı başarmıştır. Bu çalışmada, makine öğrenme yöntemleri ile 11 binin üzerinde web sitesi incelenmiş ve oltalama saldırısı yapan web siteleri tespit edildi. Veri seti, 30 web parametresinden oluşmaktadır ve açık erişimlidir. Makine öğrenmesi yöntemleri ile her bir web sitesi için 30 özellik incelendi; oltalama saldırısını gerçekleştiren web siteleri ile gerçekleştirilmeyen web siteleri sınıflandırıldı. Sonuç olarak, en iyi test doğruluk başarısı Rastgele Orman yöntemi ile %96,53 oranında gerçekleştirildi.

**Anahtar kelimeler:** Kimlik avı dolandırıcılığı, Yapay zekâ, Makine öğrenmesi, Oltalama saldırıları.

---

## Detection of Phishing Attacks on Websites Using Artificial Intelligence Approach

---

### Abstract

Phishing is software-based attacks on the stealing of personal information over the internet. In phishing attacks, it is generally aimed to capture private information such as personal identification information, user passwords, credit or debit card information. Website applications or electronic mail systems containing special software codes are generally preferred as the most suitable medium for this. In this kind of net applications, attractive visual or text based messages feed individuals and enable attacks. It is necessary to act in parallel with the technological developments in order to prevent such attacks on time in the internet environment where billions of people interact. Recently, artificial intelligence technologies have managed to make a name in the field of internet security. In this study, over 11 thousand websites were analyzed with machine learning methods and websites that made phishing attacks were determined. The dataset consists of 30 web parameters and is open access. With machine learning methods, 30 features were examined for each website; web sites that carry out the phishing attack and those that did not. As a result, the best test accuracy achievement was realized by Random Forest method at 96.53%.

**Keywords:** Phishing scams, Artificial intelligence, Machine learning, Phishing attacks.

---

### 1. Giriş

Oltalama saldırıları, web uygulamaları üzerinde kullanıcıların kişisel bilgilerini, banka kartı veya kredi kartı bilgilerini, sosyal medya bilgilerini, şifrelerini almaya yönelik hazırlanmış eski ve etkili elektronik dolandırıcılık yöntemlerinden biridir [1]. Genellikle internet kullanıcıların elektronik postalarına gönderdikleri cezbedici içerik ve başlıklarla yemleme amaçlanır. Bunun dışında web uygulamalarında

---

\* Sorumlu yazar: [mtogacar@firat.edu.tr](mailto:mtogacar@firat.edu.tr)

Geliş Tarihi: 27.08.2021, Kabul Tarihi: 15.10.2021

kurumsal veya özel firmaların sayfa içeriklerini taklit ederek ortalama istedikleri kullanıcı kitlelerini düşürülmeye çalışılır. Kısacası bu saldırılar ortalamaya çalışacakları kullanıcıları sosyal mühendislik yöntemlerini de kullanarak kullanıcı adları, numaraları veya şifrelerini ele geçirmeye çalışan kötü amaçlı yazılımlardır [2]. Verizon adlı firmanın 2019 yılı veri araştırmaları raporuna göre veri ihlallerinin yaklaşık %33,33 oranında oltama saldırılarından kaynaklandığını belirtmektedir. Amerika Federal Soruşturma Bürosu'nun İnternet Şikâyet Birimi'nin istatistik bilgilerine göre ortalama saldırıları ile işlenen suçların 2016-2019 yılı arasında vermiş olduğu maddi kayıp dünya genelinde 26 milyar \$ üzerinde olduğunu belirtti. Ayrıca, 2020 yılında Google firması korona virüs (COVID-19) etiketini kullanarak aylık 240 milyona yakın spam iletisini engellediğini bildirdi [3]. IBM Güvenlik Raporunun 2020 yılı istatistik bilgisine göre veri ihlallerinin en çok yapıldığı sektör olarak sağlık alanı gelmektedir [4]. Bu tür durumların önüne geçebilmek için yapay zekâ tabanlı teknolojiler internet ortamında kullanılmaya başlamıştır.

Bu çalışmalardan bazıları incelenirse; Ping Yi vd. [5] çalışmasında derin inanç ağlarını kullanarak web sitelerinin kimlik avı gerçekleştirme durumlarını tespit etmişlerdir. Onlar çalışmasında web sitelerin İnternet Protokol (İP) adreslerini veri seti olarak kullanmışlardır. Kullandıkları modelde sınıflandırma yöntemi için Boltzmann makine öğrenme yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak elde ettikleri sınıflandırma başarısı %89,6'dı. Bo Wei vd. [2] çalışmasında web sitelerin iyi ya da kötü amaçlı olduklarını tespit etmişlerdir. Bunun için derin öğrenme modeli tasarlamışlardır ve kullandıkları modelde sınıflandırıcı işlevini sigmoid fonksiyonu ile gerçekleştirmişlerdir. Onlar, çalışmanın analizinde %86,63 oranında bir doğruluk başarısı elde ettiler. Mustafa Kaytan vd. [6] çalışmasında Aşırı Öğrenme Makinelerini (AÖM) kullanarak oltama saldırılarının gerçekleştiği web sitelerin ayırt edilmesini gerçekleştirdiler. Onlar veri setini çapraz doğrulama yöntemi ile sınıflandırma sürecine katkıda bulundular ve elde ettikleri sınıflandırma başarısı %95,93'tü. Gunikhan Sonowal vd. [7] çalışmasında ikili özellik seçme yöntemini kullanarak elektronik postalar üzerinden gelen oltama saldırılarının tespitini gerçekleştirdiler. Onlar, özellik seçim algoritması ile elde ettikleri özellikleri Rastgele Orman (RO) yöntemi ile sınıflandırarak %97,41 oranında başarı elde etmişlerdir.

Bu makalenin amacı, kimlik avı dolandırıcılığında kullanılan ortalama saldırılarının tespitini makine öğrenme yöntemlerini kullanarak tespitini başarılı bir şekilde gerçekleştirmektir. Ayrıca, ortalama saldırılarının tespitinde makine öğrenme yöntemlerinden elde edilen analiz sonuçlarını kıyaslatmaktır. Çalışmanın diğer bölümleri şu şekildedir; deneysel analizlerde kullanılan veri seti ile ilgili bilgiler ikinci bölümde verilmiştir. Deneysel analizinde kullanılan makine öğrenme yöntemleri hakkında bilgiler üçüncü bölümde verilmiştir. Çalışmanın analiz sonuçları hakkında bilgiler dördüncü bölümde yer almıştır. Sırasıyla, Tartışma ve Sonuç bölümü son iki bölümü oluşturmuştur.

## 2. Veri Seti

Veri seti, 11055 web sitesi içeriğini barındıran; metin tabanlı ve "csv" uzantılı iki dosyadan oluşmaktadır. Her bir web sitesinin 30 özellik içeren parametresi vardır ve bu parametrelerin etiket grupları  $\{-1, 1\}$  ile  $\{-1, 0, 1\}$  değerler arasında oluşmaktadır. Parametre değeri olarak kullanılan 30 özellik ile ilgili bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Veriler, ikili sınıflandırma modeli için tasarlanmış ve ortalama saldırılarının gerçekleştiği web siteleri ile gerçekleştirilmeyen web sitelerinden oluşmaktadır. Veri seti, Kaggle web sitesinden erişime sunulmuştur [8].



**Tablo 1.** Veri setini oluşturan web sitelerinin parametreleri ve etiket değerleri

Özellik No	Web Sitesi Parametreleri	Etiket Değeri	Özellik No	Web Sitesi Parametreleri	Etiket Değeri
1	UsingIP	{-1, 0, 1 }	16	ServerFormHandler	{-1, 1 }
2	LongURL	{-1, 0, 1 }	17	InfoEmail	{-1, 1 }
3	ShortURL	{-1, 1 }	18	AbnormalURL	{-1, 1 }
4	Symbol@	{-1, 1 }	19	WebsiteForwarding	{-1, 0, 1 }
5	Redirecting//	{-1, 1 }	20	StatusBarCust	{-1, 1 }
6	PrefixSuffix-	{-1, 1 }	21	DisableRightClick	{-1, 1 }
7	SubDomains	{-1, 0, 1 }	22	UsingPopupWindow	{-1, 1 }
8	HTTPS	{-1, 0, 1 }	23	IframeRedirection	{-1, 1 }
9	DomainRegLen	{-1, 1 }	24	AgeofDomain	{-1, 1 }
10	Favicon	{-1, 1 }	25	DNSRecording	{-1, 0, 1 }
11	NonStdPort	{-1, 1 }	26	WebsiteTraffic	{-1, 1 }
12	HTTPSDomainURL	{-1, 1 }	27	PageRank	{-1, 1 }
13	RequestURL	{-1, 1 }	28	GoogleIndex	{-1, 0, 1 }
14	AnchorURL	{-1, 0, 1 }	29	LinksPointingToPage	{-1, 1 }
15	LinksInScriptTags	{-1, 0, 1 }	30	StatsReport	{-1, 1 }

Bu çalışmada veri seti iki aşamaya ayrılarak incelendi. İlk aşamada veri setinin %30'u test verisi %70'i eğitim verisi olarak ayrıldı. Test verisi olarak ayrılan web sitesi sayısı 3317'di. Test verilerinin 1479'u ortalama saldırılarının gerçekleştiği web siteleridir. İkinci aşamada ise, veri setine çapraz doğrulama uygulandı. Çapraz doğrulama oranı ( $k=5$ ) seçilerek deney analizi gerçekleştirildi.

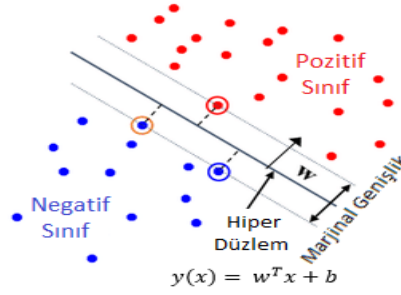
### 3. Makine Öğrenme Yöntemleri ve Önerilen Yaklaşım

#### 3.1. Destek Vektör Makineleri Yöntemi

Destek Vektör Makineleri (DVM) yöntemi, regresyon ve sınıflandırma işlemleri için kullanılan makine öğrenme yöntemlerinden biridir. DVM sınıflandırma sürecinde verilerden çıkartılan özellikleri, ikiye bölecek şekilde bir sınır çizgisi kullanır. Şekil 1 incelendiğinde, hiper düzlem üzerinde marjinal genişlik boşluğu ( $w$ ) optimizasyon yöntemi tarafından oluşturulur. Sınıflandırma sürecinde oluşabilecek problemleri minimize edebilmek için izlenecek işlem adımları Denklem 1 ve Denklem 2'de gösterildi. Denklemler incelendiğinde  $x$  ve  $y$  parametresi verilerden çıkartılmış özelliklerin koordinatlarını temsil eder. Ayrıca, sınır alanını  $b$  parametresi ve  $i$  ise döngü sayısını ifade eder. DVM yöntemi ile sınıflandırma aşamasında işlenen her bir özellik için sınıf sayısını temsil edecek şekilde olasılık değerleri aktarılır. Özelliğin temsil ettiği veri, olasılık değeri yüksek olan sınıfa atanır [9, 10].

$$u = w \cdot x - b \quad (1)$$

$$y_i (w \cdot x_i - b) \geq 1, \forall i \quad (2)$$



Şekil 1. DVM yönteminin sınıflandırma süreci

Bu çalışmada, Sklearn kütüphanesinde doğrusal DVM yöntemi kullanılarak analizler gerçekleştirildi. DVM yöntemi için tercih edilen diğer önemli parametreler; maksimum iterasyon sayısı 1000 seçildi, kesme ölçeklemesi değeri bir seçildi ve tolerans parametre değeri  $10^{-4}$  seçildi.

### 3.2. En Yakın Komşu Yöntemi

EYK yöntemi, denetimli öğrenme modeli içerisinde yer alan ve girdi verilerini algoritma modelinde sınıflandırma problemini çözebilen makine öğrenme yaklaşımıdır. Sınıflandırma sürecinde veri özelliklerine benzerlikler gösteren özellikler aynı sınıfta etiketlenir. Bunu hesaplarken örnek bir veri özellikleri rastgele seçilir ve diğer verilerin özelliklerinin örnek veri özelliklerine göre uzaklıkları hesaplanır [11]. Sonuç olarak, "k" sayısı kadar yakın komşuluklarına bakılır. Burada  $k$  parametresi genelde  $\{2,3,5,7, \dots\}$  gibi değerler seçilir. EYK yönteminin dezavantajı, her bir özellik verisi için uzaklık bilgilerinin tutulacağı bir bellek gereksinimine ihtiyacı olmasıdır. Özellikler arasında uzaklık ölçümleri için; "Euclidean", "Manhattan", "Minkowski" yöntemlerinden biri tercih edilmektedir [12].

Bu çalışmada, Sklearn kütüphanesinin desteklediği EYK yöntemi kullanıldı. Uzaklık ölçümü için Minkowski yöntemi kullanıldı ve  $k$  değeri beş seçildi.

### 3.3. Karar Ağacı Yöntemi

Karar Ağacı (KA) yöntemi, yapısı içerisinde kök, karar ve yaprak düğümlerinden oluşan sınıflandırma işlemlerinde tercih edilen bir makine öğrenme yaklaşımıdır. Sınıflandırma sürecinde, düğümler öz-yinelemeli yöntemler ile alt düğümlere ayrılır ve bu durum sınıflandırma sürecine etki etmeye kadar devam eder. Sınıflandırma işleminde veri özelliklerinin ayırt edilebilmesini sağlamak için bilgi kazancı ölçümü denilen "Entropi" yöntemi kullanılır [13]. Entropi yöntemi ile verilerin belirsizlikleri ölçülür ve veri özellikleri elde edilen olasılık değerleri ile sınıflandırılır. Entropi ( $E$ ) ölçümü için kullanılan formül Denklem 3'te verildi. Denklem 3'te  $N$  değişkeni veri sayısını ifade ederken;  $P$  ise  $i$ . verinin olasılık değerini ifade eder [14].

$$E = - \sum_{i=1}^N P_i \log_2 P_i \quad (3)$$

Bu çalışmada, KA yöntemi için tercih edilmiş diğer önemli parametreler; ölçüt değeri "gini" seçildi, maksimum derinlik değeri 30 seçildi. Diğer parametre değerleri ise Sklearn kütüphanesinde kabul edilmiş varsayılan değerlerdir.

### 3.4. Rastgele Orman Yöntemi

Rastgele Orman (RA) yöntemi, regresyon ve sınıflandırma işlemlerinde kullanılan makine öğrenme yaklaşımıdır. RA yöntemi, birden fazla karar ağacı kümesini oluşturur ve ardından bu kümeleri birleştirerek sınıflandırma sürecine daha doğru karar vermesini sağlar. Mümkün olduğunca farklı karar ağaçlarının bir araya getirilmesini amaçlar ve böylece düşük korelasyon içeren bir orman topluluğu oluşturulur [15]. Sınıflandırma sürecinde, rastgele düğümler seçilir ve rastgele seçilmiş değişkenler arasında da en iyi düğüm seçilir. Sınıfların homojenliğini ölçmek için "gini" parametresi kullanılır. Alt

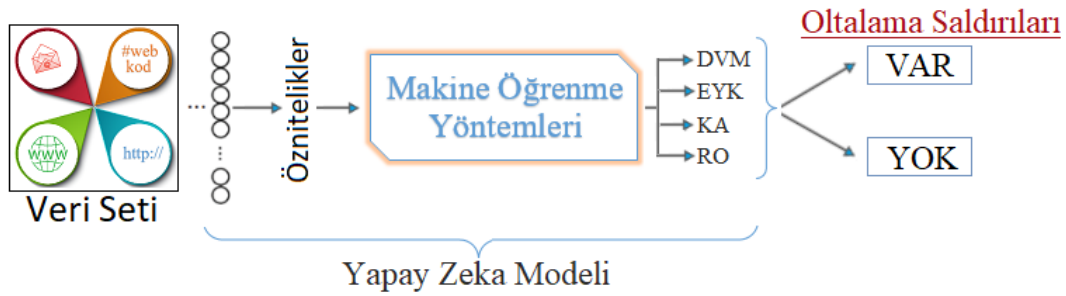
düğümün "gini" ölçüm değeri, üst düğümün "gini" ölçüm değerinden daha düşükse düğümlerin bulunduğu dal başarılı sayılır. Gini ölçümü Denklem 4'e göre hesaplanır. Tüm veriler  $N$  değişkeni ile temsil edilir ve seçilmiş veri ise  $n$  ile temsil edilir. Ayrıca,  $p_i$  değişkeni seçilmiş verinin kendisinden küçük ve kendisinden büyük eleman sayısına bölümünün karesini temsil eder [16].

$$Gini(N) = 1 - \sum_{i=1}^n p_i^2 \quad (4)$$

Bu çalışmada, RO yöntemi için tercih edilmiş diğer önemli parametreler; ölçüt değeri "gini" seçildi, maksimum derinlik değeri 30 seçildi. Diğer parametre değerleri ise Sklearn kütüphanesinde kabul edilmiş varsayılan değerlerdir.

### 3.5. Önerilen Yaklaşım

Önerilen yaklaşım, internet ortamı üzerinde kullanıcıların bilgilerini ele geçirmeye yönelik gerçekleştirilen ortalama saldırıların tespitini gerçekleştirmektedir. Dolayısıyla, bu tür zararlı yazılımlar web uygulamaları, elektronik postalar gibi net ortamlarından uygulandığı için çalışmanın deneysel analizi binlerce web sayfaları ile gerçekleştirildi ve yapay zekâ teknolojisinin analiz sürecini başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi amaçlandı. Veri setinde, yer alan her bir web sayfasında 30 özellik içermektedir. Her bir web sitesinin özellik setini makine öğrenme yöntemlerine girdi olarak verildiği zaman, hangi web sitesinin güvenilir olup olmadığını başarılı bir şekilde tespit edilmesi gerçekleştirilmektedir. Önerilen yaklaşımın tasarımı Şekil 2'de gösterildi.



Şekil 2. Ortalama saldırıların tespitinde kullanılmak için tasarlanmış yapay zekâ destekli yaklaşımın genel tasarımı

### 4. Deneysel Sonuçlar

Deneysel analizler Python yazılım kodları kullanılarak gerçekleştirildi. Yazılım kodları, Github web sitesinde erişime sunulmuştur ve kaynak kodlardan esinlenerek önerilen yaklaşım tasarlandı [17]. Donanımsal gereksinimler için ve kodların derlenmesi için "Google Colab" sunucusu kullanıldı [18]. Makine öğrenme yöntemlerinin sınıflandırma başarılarının karşılaştırılmasında karmaşıklık matrisi kullanılmıştır. Karmaşıklık matrisinin ölçüm metrikleri ise şunlardır; özgünlük (Özg), kesinlik (Kes), geri Çağırma (Geri Çğr), f-skoru (F-skr) ve doğruluk (Dğr). Metrik sonuçlarının hesaplanmasında, Denklem 5 ile Denklem 9 arasındaki tüm denklemler kullanıldı. Denklemlerde kullanılan değişkenler; doğru pozitif (DP), doğru negatif (DN), yanlış pozitif (YP), yanlış negatif (YN) verilerin sayısı anlamına gelmektedir [19,20].

$$\text{Özg} = \frac{DN}{DN+YP} \quad (5)$$

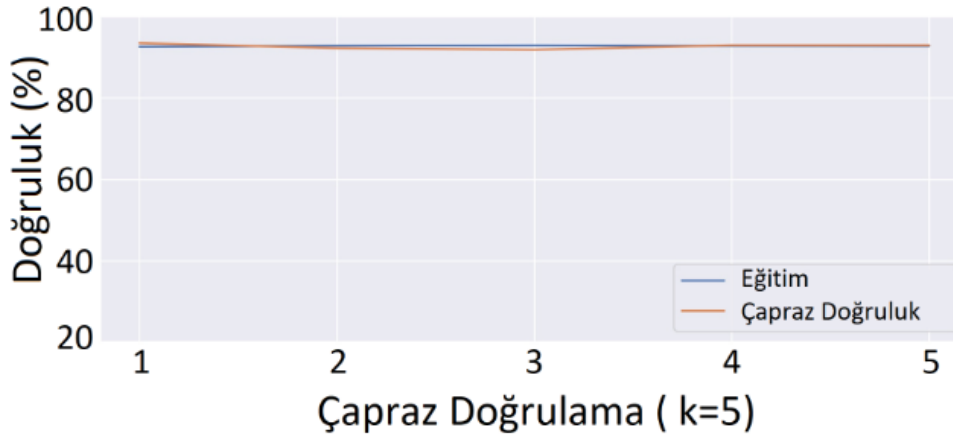
$$\text{Kes} = \frac{DP}{DP+YP} \quad (6)$$

$$\text{Geri Çğr} = \frac{DP}{DP+YN} \quad (7)$$

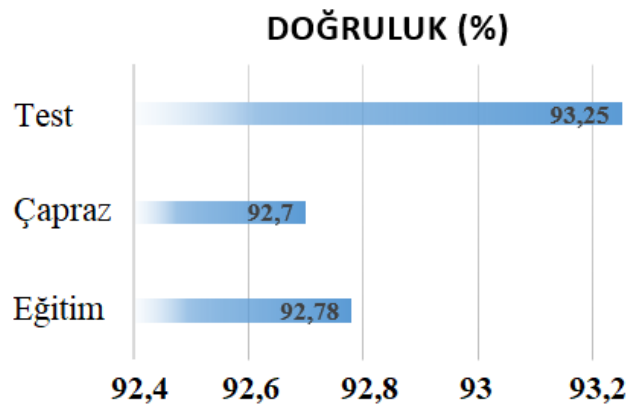
$$F\text{-skr} = \frac{2x (\text{Geri Çğr} \times \text{Kes})}{\text{Geri Çğr} + \text{Kes}} \quad (8)$$

$$Dğr = \frac{DP+DN}{DP+DN+YP+YN} \quad (9)$$

Çalışmanın deneyinde veri seti, eğitim - çapraz doğrulama ve eğitim - test verisi olarak analiz edildi. Dört makine öğrenme yöntemi deney analizi gerçekleştirildi. İlk olarak DVM yöntemi ile analizler gerçekleştirildi. DVM yöntemi ile eğitim verisinde elde edilen doğruluk oranı %92,78'di; çapraz doğrulama başarı oranı %92,70'di ve test verilerinden elde edilen doğruluk oranı %93,25'di. Bu çalışmanın DVM yöntemi ile analizinden elde edilmiş, eğitim - çapraz doğrulama grafiği ve eğitim - çapraz doğrulama - test çubuk grafikleri Şekil 3'te gösterildi. Test verilerinin karmaşıklık matrisini gösteren grafik ve diğer metrik başarı sonuçları ise Şekil 4'te gösterildi.

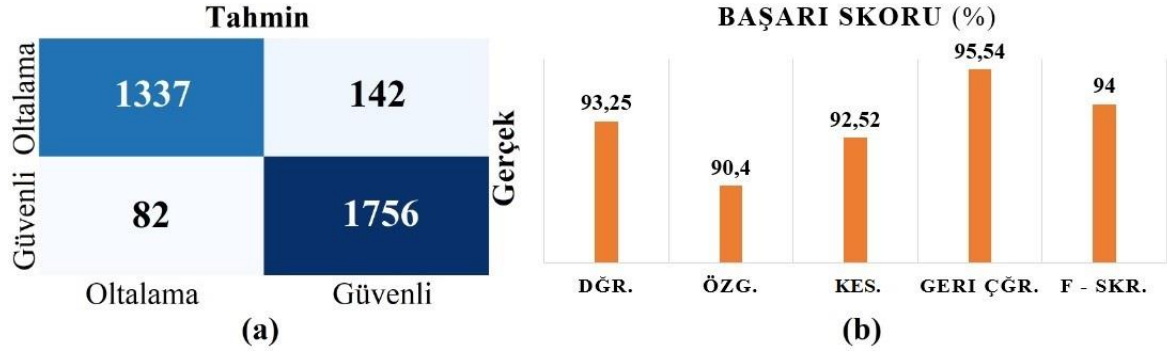


(a)



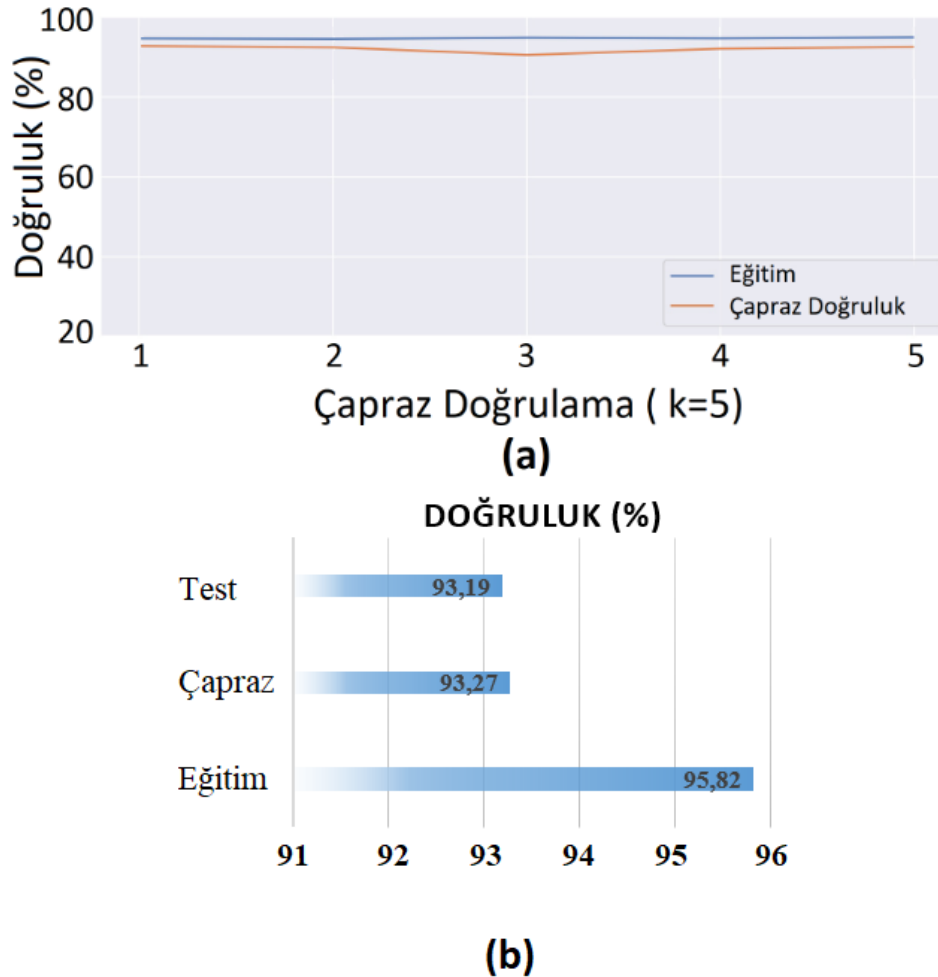
(b)

Şekil 3. DVM yöntemi ile elde edilen doğruluk grafikleri; a) eğitim - çapraz doğrulama, b) eğitim - çapraz doğrulama ve test grafikleri

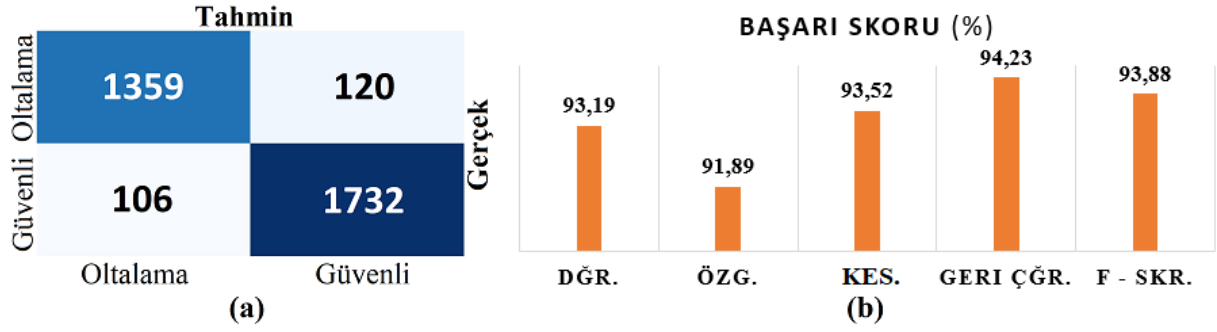


Şekil 4. DVM yöntemi ile test verilerin analiz sonuçları; a) karmaşıklık matrisi, b) karmaşıklık matrisin metrik sonuçları

İkinci analizde, EYK yöntemi kullanıldı. EYK yöntemi ile eğitim verisinde elde edilen doğruluk oranı %95,82'di; çapraz doğrulama başarı oranı %93,27'di ve test verilerinden elde edilen doğruluk oranı %93,19'du. Bu çalışmanın DVM yöntemi ile analizinden elde edilmiş, eğitim - çapraz doğrulama grafiği ve eğitim - çapraz doğrulama - test çubuk grafikleri Şekil 5'te gösterildi. Test verilerinin karmaşıklık matrisini gösteren grafik ve diğer metrik başarı sonuçları ise Şekil 6'da gösterildi.

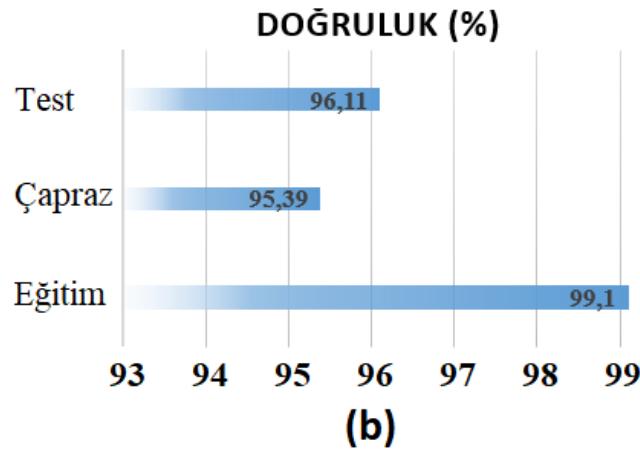
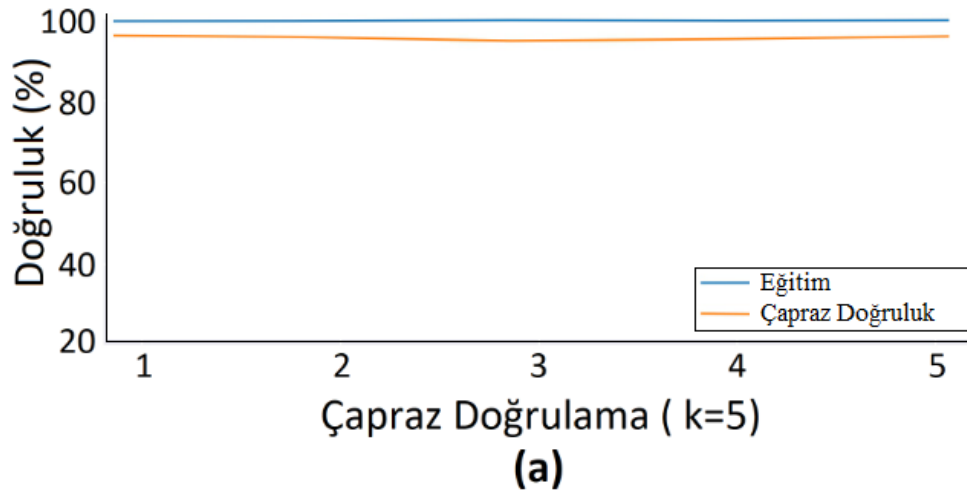


Şekil 5. EYK yöntemi ile elde edilen doğruluk grafikleri; a) eğitim - çapraz doğrulama, b) eğitim - çapraz doğrulama ve test grafikleri

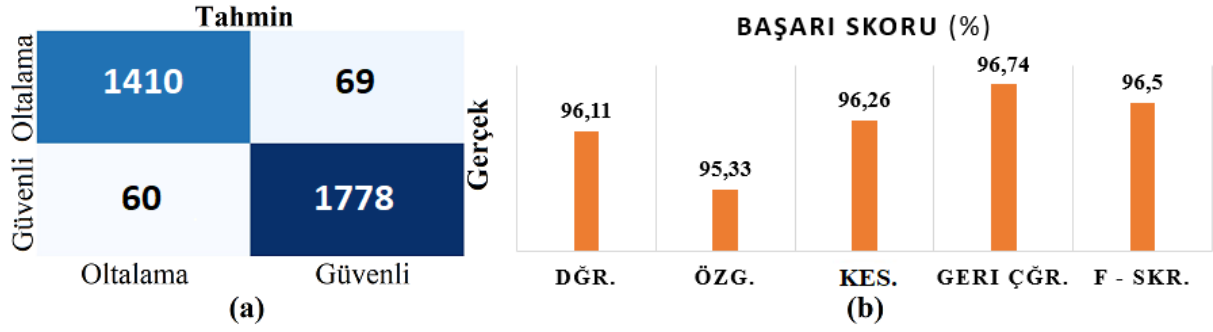


Şekil 6. EYK yöntemi ile test verilerin analiz sonuçları;  
a) karmaşıklık matrisi, b) karmaşıklık matrisin metrik sonuçları

Üçüncü analizde, KA yöntemi kullanıldı. KA yöntemi ile eğitim verisinde elde edilen doğruluk oranı %99,1'di; çapraz doğrulama başarı oranı %95,39'dı ve test verilerinden elde edilen doğruluk oranı %96,11'di. Bu çalışmanın DVM yöntemi ile analizinden elde edilmiş, eğitim - çapraz doğrulama grafiği ve eğitim - çapraz doğrulama - test çubuk grafikleri Şekil 7'de gösterildi. Test verilerinin karmaşıklık matrisini gösteren grafik ve diğer metrik başarı sonuçları ise Şekil 8'de gösterildi.

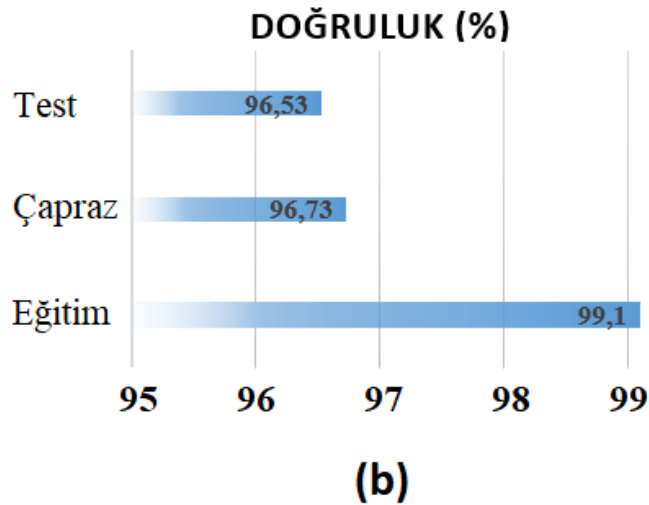
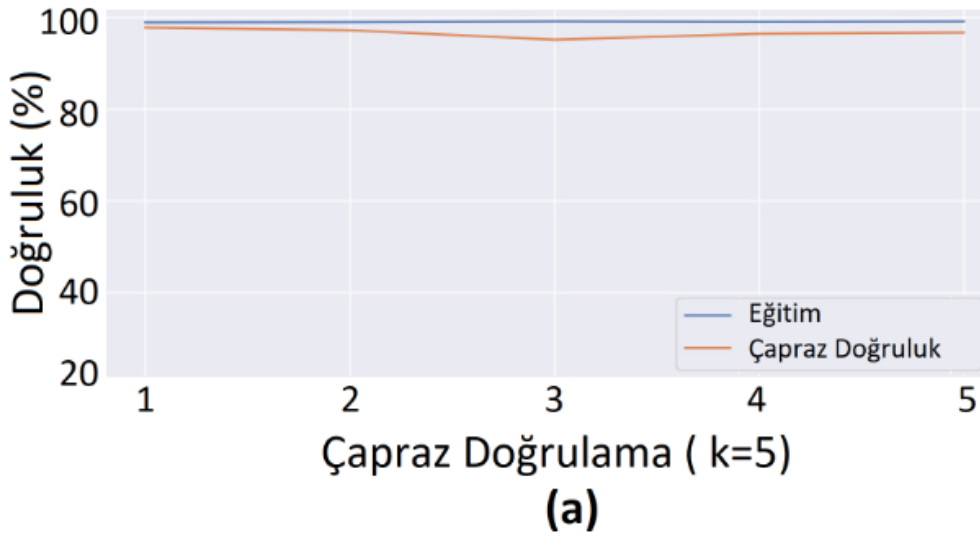


Şekil 7. KA yöntemi ile elde edilen doğruluk grafikleri;  
a) eğitim - çapraz doğrulama, b) eğitim - çapraz doğrulama ve test grafikleri

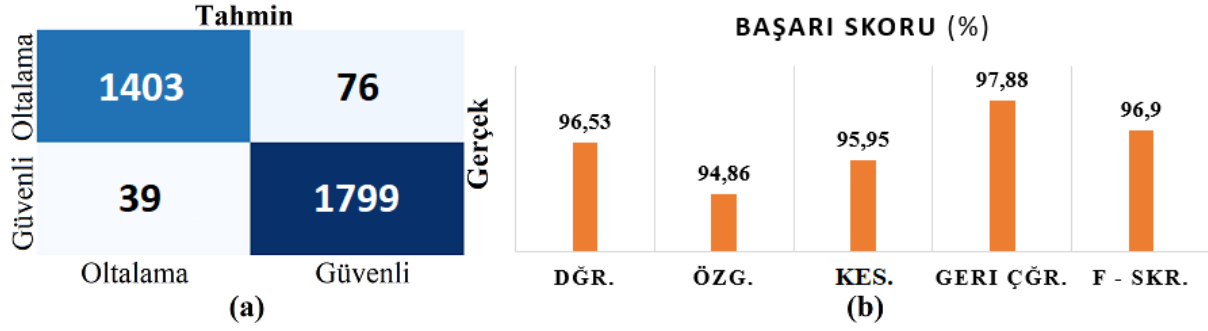


Şekil 8. KA yöntemi ile test verilerin analiz sonuçları; a) karmaşıklık matrisi, b) karmaşıklık matrisin metrik sonuçları

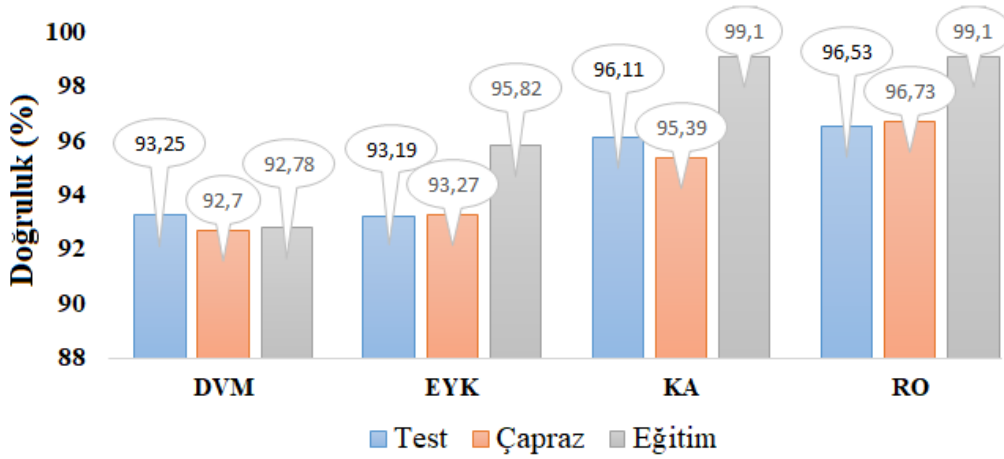
Son analizde, RO yöntemi kullanıldı. RO yöntemi ile eğitim verisinde elde edilen doğruluk oranı %99,10'dı; çapraz doğrulama başarı oranı %96,73'tü ve test verilerinden elde edilen doğruluk oranı %96,53'tü. Bu çalışmanın DVM yöntemi ile analizinden elde edilmiş, eğitim - çapraz doğrulama grafiği ve eğitim - çapraz doğrulama - test çubuk grafikleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Test verilerinin karmaşıklık matrisini gösteren grafik ve diğer metrik başarı sonuçları ise Şekil 10'da gösterildi. Ayrıca dört yöntemin doğruluk başarılarını gösteren grafik Şekil 11'de gösterildi. Çalışmanın deneysel analizleri bize RO yönteminin web sitesinde gerçekleştirilen ortalama saldırılarının tespitinde daha etkin olduğunu gösterdi.



Şekil 9. RO yöntemi ile elde edilen doğruluk grafikleri; a) eğitim - çapraz doğrulama, b) eğitim - çapraz doğrulama ve test grafikleri



Şekil 10. RO yöntemi ile test verilerin analiz sonuçları; a) karmaşıklık matrisi, b) karmaşıklık matrisin metrik sonuçları



Şekil 11. Deneysel analizlerde kullanılan makine öğrenme yöntemlerinin doğruluk başarı grafikleri

## 5. Tartışma

Bu makalede, web siteleri üzerinde bilgi güvenliğini tehdit eden ortalama saldırılarının tespitini gerçekleştirildi. Çalışmanın makine öğrenme yöntemleri ile elde ettiği performans sonuçları umut verici oldu. Fakat daha iyi analizler edebilmek için önerdiğimiz yaklaşımı farklı metotlar ile geliştirilmesi gerekir. Önerilen yaklaşımın sınırlı yönleri arasında derin öğrenme modelleri ile makine öğrenme yöntemleri birlikte kullanılması belki de analiz sonuçlarına katkı sunabilirdi. Öte yandan, önerilen yaklaşımın Python kütüphanelerini kullanarak makine öğrenme yöntemleri ile kıyaslatıldı. Burada, veri seti için test-eğitim ve çapraz doğrulama yöntemlerini kullanarak analiz sonuçlarının güvenilirliği sağlandı. Çalışmaya benzer veri setleri kullanarak gerçekleştirilen analizler son zamanlarda yapılmıştır. Bu çalışmalar ile ilgili analiz sonuçları Tablo 2’de verildi.



**Tablo 2.** Benzer veri seti ile gerçekleştirilmiş çalışmaların karşılaştırılması

Makale	Yıl	Veri seti durumu	Model / Yöntem	Dğr. (%)
Mustafa Kaytan vd. [6]	2017	Çapraz Doğrulama (k=10)	Derin Öğrenme / AÖM	95,93
Ö. Koray Şahingöz vd. [21]	2019	Eğitim ve test verisi	Doğal Dil İşleme / RO	97,98
M. Ali Koşan vd. [22]	2018	Eğitim ve test verisi	RO	97,3
		Çapraz Doğrulama (k=5)		<b>96,73</b>
<b>Bu çalışma</b>	2021	Test oranı (%30)	Makine Öğrenme Yöntemleri	<b>96,53</b>

Mustafa Kaytan vd. [6] çalışmasında iki sınıflı veri seti kullandılar. Onlar, çalışmasında kullandıkları veri setini yalnızca çapraz doğrulama (k=10) ile analiz ettiler. Kullandıkları veri setindeki her bir web sitesinin 30 özelliği vardı. Bizim çalışmamızdaki veri seti özellik sayısı da 30'du. Burada analiz için tercih ettikleri makine öğrenme yönteminin (AÖM), bizim RO yöntemine göre sınıflandırma performansı düşük olması analiz sonucunu da etkilemiştir. Onlar farklı makine öğrenme yöntemleri ile sınıflandırma yapabiliyorsa mevcut elde ettikleri başarıyı artırabilirdi. Bu çalışmada çapraz doğrulama yöntemi kullanılarak analizler gerçekleşti. Burada çapraz doğrulama değeri beş seçilmesine rağmen elde edilen sınıflandırma başarısı %96,73'tü. Sonuç olarak doğruluk başarısı çapraz doğrulama yöntemi ile daha da arttırıldığı gözlemlendi. Koray Şahingöz vd. [21] web adreslerinden gerçekleştirilen ortalama saldırılarının tespiti için doğal dil işleme yaklaşımı ile birlikte makine öğrenme yöntemlerini kullandılar. Onlar bu çalışmadan farklı olarak veri setinde kelimelerin birbiriyle ilişkilerini ortaya koyabilen doğal dil işleme yaklaşımını kullandılar. Ardından sınıflandırma işlemi gerçekleştirilebilmek için doğal dil işleme yaklaşımı ile analizleri gerçekleştirilen veri setini girdi olarak makine öğrenme yöntemlerine verdiler. En iyi analiz sonucunu RO yöntemi ile elde ettiler. Onların elde ettiği genel doğruluk başarısı %97,98'di. Doğal dil işleme yaklaşımının doğruluk başarısına katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Ali Koşan vd. [22] web sitelerinde gerçekleştirilen ortalama saldırılarının tespiti için makine öğrenme yöntemlerini kullandılar. Onlar, weka yazılımını kullanarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirmişlerdir. Deneysel analizlerde RO yöntemi diğer yöntemlere göre daha başarılı sonuç üretmiştir. Benzer veri setlerinde klasik makine öğrenme yöntemleri arasında RO yönteminin daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

## 6. Sonuç ve Öneriler

Bu makalenin deneysel analizinde, web saldırılarının gerçekleştiği ortalama saldırılarının (e-dolandırıcılık) tespitinde yapay zekâ modellerinin ne kadar etkin olduğunu gözlemledik. Günümüzde milyarlarca kullanıcısı olan internet ortamında bu tür saldırılar sıklıkla görülmüştür [23] ve bu saldırıları minimize edebilmek için teknolojik gelişmelerle eş zamanlı olan yazılımları kullanmaktan geçmektedir. Çalışmanın analizinde yapay zekâ tabanlı makine öğrenme yöntemleri sınıflandırma işlemi gerçekleştirmek için kullanıldı. Makine öğrenme yöntemleri arasında en iyi performansı RO yöntemi verdi. RO yöntemi ile elde edilen doğruluk başarısı %96,53'tü. RO yönteminin diğer metrik başarıları ise; özgünlük başarısı %94,86'dı, duyarlılık başarısı %95,95'ti, geri çağırma başarısı %97,88'di ve F1-skor başarısı %96,90'dı.

Gelecek çalışmada, web uygulamalarında gerçekleştirilen ortalama saldırıları için daha geniş özellikli veri setleri araştırılacaktır. Makine öğrenme yöntemlerinin yanında derin öğrenme modelleri, özellik seçme algoritmaları ile birlikte hibrit yaklaşımlar tasarlanarak analizler gerçekleştirilecektir.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**Kaynaklar**

- [1] Önal H. 2021. Phishing (Oltalama) Saldırısı Nedir? | BGA Security. In: BGA Secur. <https://www.bgasecurity.com/2019/09/phishing-oltalama-saldirisi-nedir/>. (Erişim: 10 Haziran 2021).
- [2] Wei B., Hamad R.A., Yang L., vd. 2019. A Deep-Learning-Driven Light-Weight Phishing Detection Sensor. *Sensors (Basel)*, 19 :4258
- [3] Phishing Statistics: The 29 Latest Phishing Stats to Know in 2020 - Hashed Out by The SSL StoreTM. In: Hashedout. <https://www.thesslstore.com/blog/phishing-statistics-latest-phishing-stats-to-know/>. (Erişim: 19 Haziran 2021).
- [4] Abdelhamid M. 2020. The Role of Health Concerns in Phishing Susceptibility: Survey Design Study. *J Med Internet Res* 22:e18394.
- [5] Yi P., Guan Y., Zou F., vd. 2018. Web phishing detection using a deep learning framework. *Wirel Commun Mob. Comput.*, 4678746.
- [6] Kaytan M., Hanbay D. 2017. Effective classification of phishing web pages based on new rules by using extreme learning machines. *Anatol J Comput Sci*, 2:15–36.
- [7] Sonowal G. 2020. Phishing email detection based on binary search feature selection. *SN Comput Sci*, 1:191.
- [8] Chand E. 2021. Phishing website Detector. In: Kaggle. <https://www.kaggle.com/eswarchandt/phishing-website-detector>. (Erişim: 7 Haziran 2021).
- [9] Huang S., Cai N., Pacheco P.P., vd. 2017. Applications of support vector machine (SVM) learning in cancer genomics. *Cancer Genomics Proteomics*, 15: 41–51.
- [10] Sertkaya M.E., Ergen B., Togacar M. 2019. Diagnosis of Eye Retinal Diseases Based on Convolutional Neural Networks Using Optical Coherence Images. In: 2019 23rd International Conference Electronics, 1–5.
- [11] Erdoğan P., Çolak B., Durdağ Z. 2016. K-Means algoritması ile otomatik kümeleme. *El-Cezeri J. Sci. Eng.* 3:0.
- [12] Moghtadaiee V., Dempster A.G. 2015. Determining the best vector distance measure for use in location fingerprinting. *Pervasive Mob Comput*, 23: 59–79.
- [13] Topîrceanu A., Grossecck G. 2017. Decision tree learning used for the classification of student archetypes in online courses. *Procedia Comput Sci*, 112: 51–60.
- [14] Bulut F. 2017. Different mathematical models for entropy in information theory. *Bilgi Kuramı ndaki Entropi Kavramıyla İlgili Farklı Matematiksel Modeller*, 1: 167–174.
- [15] Seifert S. 2020. Application of random forest based approaches to surface-enhanced Raman scattering data. *Sci Rep* 10:5436.
- [16] Aldrich C. 2020. Process variable importance analysis by use of random forests in a shapley regression framework. *Minerals*, 10: 1–17.
- [17] Khan S.A. 2020. Phishing Websites Classification using Deep Learning. In: GitHub. <https://github.com/sohailahmedkhan173/Phishing-Websites-Classification-using-Deep-Learning>. (Erişim: 9 Haziran 2021).
- [18] Google Colab Notebooks- Colaboratory. In: Google. <https://colab.research.google.com/notebooks/intro.ipynb>. (Erişim: 9 Haziran 2021).
- [19] Tumen V., Yildirim O., Ergen B. 2018. Recognition of road type and quality for advanced driver assistance systems with deep learning. *Elektron ir Elektrotehnika*, 24 :67–74.
- [20] Tümen V., Ergen B. 2020. Intersections and crosswalk detection using deep learning and image processing techniques. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 543: 123510.
- [21] Sahingoz Ö.K., Buber E., Demir Ö., Diri B. 2019. Machine learning based phishing detection from URLs. *Expert Systems with Applications*, 117: 345–357.
- [22] Koşan M.A., Yıldız O., Karacan H. 2018. Comparative analysis of machine learning algorithms in detection of phishing websites. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 24 (2): 276–282.
- [23] Lin T., Capecci D.E., Ellis D.M., vd. 2019. Susceptibility to spear-phishing emails: effects of internet user demographics and email content. *ACM Trans Comput Hum Interact*, 26: 32.