



Bitlis Eren Üniversitesi  
**Fen Bilimleri Dergisi**

Bitlis Eren University  
**Journal of Science**

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

Cilt / Volume: 10

Sayı / Number: 2

Yıl / Year: 2021

**Yazışma Adresi**

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

<http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

## Yayın Kurulu / Editorial Board

<b>Sahibi / Owner</b>	Prof. Dr. Necmettin ELMASTAŞ
<b>Sorumlu Müdür / Director</b>	Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN
<b>Baş Editör / Editor in Chief</b>	Prof. Dr. Zeki ARGUNHAN
<b>Yardımcı Editörler / Associate Editors</b>	Doç. Dr. Kubilay TOYRAN Doç. Dr. Yunus Levent EKİNCİ Doç. Dr. Ali ÇAKMAK
<b>Dil Editörleri / Language Editors</b>	Doç. Dr. Mehmet Bakır ŞENGÜL Arş. Gör. Ahmet ÖZKAN
<b>Dizgi / Typographic</b>	Doç. Dr. Kubilay TOYRAN

## 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
Doç. Dr. Bayram GÜNDÜZ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Doç. Dr. Orhan Taner CAN	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Sait İZGİ	Siirt Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE	Bandırma Onyediy Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Murat ÇELTEK	Trakya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tarkan YORULMAZ	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Cem KOŞAR	Gaziantep Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Can BALCI	Batman Üniversitesi

**Hakem Kurulu / Reviewer Board**

Prof. Dr. Emine ARSLAN	Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA	Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Sezai YALÇIN	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Emrullah YAŞAR	Bursa Uludağ Üniversitesi
Prof. Dr. Murat AYGÜN	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Sabir RÜSTEMLİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Şakir AYDOĞAN	Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Cihan AYDIN	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. İbrahim Hakkı YÖRÜK	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Fırat HARDALAC	Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Cevat İNAL	Konya Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Belgin TUNALI	Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Doç. Dr. Gonca OZMEN KOCA	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet ÖZSOY	Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşe METİN KARAKAŞ	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Bayram GÜNDÜZ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Doç. Dr. Emrah YILMAZ	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Ercan IŞIK	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Fatih Ahmet ÇELİK	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Fethi DAĞDELEN	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Halil GÖKCE	Giresun Üniversitesi
Doç. Dr. Hamid TORPİ	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Kemal SAPLIOĞLU	Süleyman Demirel Üniversitesi
Doç. Dr. Onur Özdal MENGİ	Giresun Üniversitesi
Doç. Dr. Orhan BAYTAR	Siirt Üniversitesi
Doç. Dr. Ramazan ÖZÇELİK	Akdeniz Üniversitesi
Doç. Dr. Recep Sulhi ÖZKÜTÜK	Eskişehir Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Sabit HOROZ	Siirt Üniversitesi
Doç. Dr. Salih Hakan YETGİN	Tarsus Üniversitesi
Doç. Dr. Selçuk SAĞIR	Muş Alparslan Üniversitesi
Doç. Dr. Sultan ŞAHİN BAL	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Tahsin BOYRAZ	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Doç. Dr. Taner TUNCER	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Ulaş ACARÖZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Ümit HÜNER	Kırklareli Üniversitesi
Doç. Dr. Yusuf ZALAOĞLU	Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Doç. Dr. Yılmaz UÇAR	Ordu Üniversitesi
Doç. Dr. Yakup ŞAHİN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Bahadır BAŞYİĞİT	Isparta Uygulama Bilimler Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Abdullah GENÇ	Isparta Uygulama Bilimler Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU	Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Atiye Bahar MERGEN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Azize BUDAK YILDIRAN	Kırıkkale Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Bahadır Erman YÜCE	Bitlis Eren Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Cengiz HARK	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ceyhan AKSOYLU	Konya Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tuncer ÇAKMAK	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Deniz KORKMAZ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Dilara BAŞAT DERELİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU	Erzurum Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Efehan ULAŞ	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Emir Hüseyin ÖZDER	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Engin ÇEVİK	Karabük Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erdiç KESKİN	Kırklareli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erhan AKBAL	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Eyyüb KARAKAN	Kilis 7 Aralık Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Melek ERDEK	Hakkâri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mesut EKMEKÇİ	Uşak Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Burak TÜRKÖZ	Karabük Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sercan BÜLBÜL	Konya Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serhat Berat EFE	Bandırma Onyediy Eylöl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serkan KAYA	Harran Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sertaç GÖKTAŞ	Mersin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Taner UÇKAN	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tankut ATEŞ	Malatya Turgut Özal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Vedat TÜMEN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yunus Emre BENKLİ	Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yusuf SERT	Yozgat Bozok Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Fatih KULUÖZTÜRK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Ercan ERCAN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Volkan ALA	Mersin Üniversitesi
Araş. Gör. Abdurahman Yasin YİĞİT	Mersin Üniversitesi

## Dergi Hakkında / About Journal

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, derlemelere ve teknik notlara 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 (*iki 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.**

**Araştırma Makaleleri (Temel Bilimler) / Research Articles (Basic Science)**

1. **Bitlis Yöresinde Yetişen *Plantago lanceolata* (Yılan Otu) Bitkisinin Antioksidan ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Araştırılması** 287-295  
*Investigation of Antioxidant and Antimicrobial Characteristics of Plantago lanceolata (Yılan Otu) Plant Growing in Bitlis Region*  
C. Akbalık, O.A. Kireççi, M. Fırat, İ.H. Şahin, F.Ç. Çelikezen
2. **Karbon Nanotüp Katkılı Levha Kalıplama Pestilinin AC Elektriksel İletkenliğinin ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi** 296-303  
*AC Electrical Conductivity and Dielectric Properties of Carbon Nanotube Reinforced Sheet Moulding Compound*  
A. Ilgaz, D. Perin
3. **Üst İyonküredeki 'O<sup>+</sup> + N<sub>2</sub>' Reaktif Çarpışmasına Ait Kayıp Terimlerinin Değişimlerinde Güneş Tutulması Etkisinin İncelenmesi** 304-310  
*Investigation of the Solar Eclipse Effect on the Changes of the Loss Terms for 'O<sup>+</sup> + N<sub>2</sub>' Reactive Collision in the Upper Ionosphere*  
M. Yaşar
4. **4-butoxybenzylidene-4'-butylaniline (BBBA) Sıvı Kristalinin Geniş Sıcaklık Aralığında İncelenmesi: Optik, Dielektrik, Kalorimetrik ve Kızılötesi Spektroskopik Analiz** 311-324  
*Examination of 4-butoxybenzylidene-4'-butylaniline (BBBA) Liquid Crystal in Wide Temperature Range: Optical, Dielectric, Calorimetric and Infrared Spectroscopic Analysis*  
A.E. Mamuk, N. Avcı
5. **Spektroskopik Teknikler Kullanılarak Furosemid ile DNA Etkileşimlerinin İncelenmesi** 325-331  
*Study of Interactions of Furosemide with DNA Using Spectroscopic Techniques*  
B. Yılmaz
6. **Gama Spektrumunun Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı** 332-343  
*A Computer Program for Analysis of Gamma Spectrum*  
P. Otansev, Ç. Bolcal
7. **Türkiye'nin örümcek faunası için yeni bir kayıt: *Palaestina dentifera* O. Pickard-Cambridge, 1872 (Araneae, Zodariidae)** 344-347  
*A new record for the spider fauna of Turkey: Palaestina dentifera O. Pickard-Cambridge, 1872 (Araneae, Zodariidae)*  
İ. Coşar
8. **Analysis of Elastic Scattering Angular Distributions of Proton Halo Nuclei by Using Density-Dependent and Density-Independent Proximity Potentials** 348-361  
*Yoğunluğa Bağlı ve Yoğunluktan Bağımsız Proximity Potansiyeller Kullanılarak Proton Halo Çekirdeklerin Elastik Saçılma Açısız Dağılımlarının Analizi*  
M. Aygün
9. **Ceviz, Fındık ve Yerfıstığı Kabuklarını Kullanarak Sipermetrinin Çevreden Uzaklaştırılması** 362-369  
*Removing Cypermethrin from the Environment Using Walnut, Hazelnut and Peanut Shells*  
D. Türköz Altuğ
10. **Year-Dependent Change of DNP Parameters in p-Difluorobenzene Suspension with Asphaltene** 370-374  
*Aşfaltenli p-Diflorobenzen Süspansiyonunda DNP Parametrelerinin Yıla Bağlı Değişimi*  
H. Engin Kırımlı
11. **Magneto-Elektro-Elastik Çubuk Modelinin F Açılım Metodu ile Tam Çözümleri** 375-392  
*Exact Solutions of Magneto-Electro-Elastic Rod Model with F Expansion Method*  
N. Çelik

12. **Determination of Possible Maximum Critical Transition Temperatures with Empirical Model Depending on Structural Disorders-Defects for  $\text{Bi}_{2.1}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.0}\text{O}_y$  System** 393-402  
 *$\text{Bi}_{2.1}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.0}\text{O}_y$  İçin Yapısal Bozukluklara Bağlı Olan Empirik Model İle Olası Maksimum Kritik Geçiş Sıcaklıklarının Belirlenmesi*  
U. Erdem, G. Yıldırım
13. **On Parseval Identity of  $q$ -Sturm-Liouville Problem with Transmission Conditions on Semi Axis** 403-414  
*Yarı Eksende Transfer Koşullu  $q$ -Sturm-Liouville Probleminin Parseval Özdeşliği Üzerine*  
N. Palamut Koşar
14.  **$\text{Ni}/n\text{-GaAs}$  ve  $\text{NiO}/n\text{-GaAs}$  Diyotların Elektriksel Parametreleri Arasındaki İlişki** 415-422  
*Relationship Between Electrical Parameters of  $\text{Ni}/n\text{-GaAs}$  and  $\text{NiO}/n\text{-GaAs}$  Diodes*  
A. Özkartal, D. Thaer Noori
15. **Structural-crystalline, optical, topographical properties of ZnO thin film produced in presence of various oxygen** 423-431  
*Çeşitli oksijen varlığında üretilen ZnO ince filmin yapısal kristal, optik, topografik özellikleri*  
A. Mantarcı
16. **Büyük Dünya Endeksleri Kullanılarak BIST-100 Endeksi Değişim Yönünün Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Sınıflandırılması** 432-441  
*Classification of BIST-100 Index Change Direction with Machine Learning Algorithms Using Major World Indexes*  
E. Filiz, S. Akogul, H.A. Karaboğa

#### **Araştırma Makaleleri (Mühendislik) / Research Articles (Engineering)**

17. **Hidroelektrik ve Termik Santrallerin Karbon Emisyonu Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması: Eskişehir İli Örneği** 442-452  
*Investigation of the Effects of Hydroelectric and Thermal Power Plants on Carbon Emission: Example of Eskişehir Province*  
Y. Bayazıt
18. **Yumurta Kabuğu Takviyeli Polimer Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi** 453-468  
*Investigation of Mechanical Behavior of Egg Shell Reinforced Polymer Composites*  
M.E. Deniz, A. Güneş
19. **5G Haberleşme İçin Geniş bant Mikroşerit Anten Tasarımı ve Alttaş Kalınlığının Anten Performansına Etkisinin İncelenmesi** 469-479  
*Wideband Microstrip Antenna Design and Investigation of the Effect of the Substrate Thickness On Antenna Performance for 5G Communication*  
B. Tütüncü, M. Kösem
20. **Analysis of different cross-frame placements to enhance torsional irregular buildings against structural failure under earthquake bidirectional loadings: A case study** 480-491  
*Çift yönlü deprem yüklemeleri altında eksentrik binalar için yapısal hasarlara karşı bina performansını artırmak için farklı çapraz destek profilleri yerleşimlerinin analizi: Bir vaka çalışması*  
O. Akyürek
21. **A Novel Analog Modulation Classification: Discrete Wavelet Transform-Extreme Learning Machine (DWT-ELM)** 492-506  
*Yeni Bir Analog Modülasyon Sınıflandırması: Ayrık Dalgacık Dönüşümü-Aşırı Öğrenme Makinesi (ADD-AÖM)*  
M. Ustundag
22. **İnce Dane İçeriğinin Siltli Kum Zeminlerin Drenajsız Kayma Dayanımı Davranışı ve Durağan Durum Çizgisi Üzerindeki Etkisi** 507-520  
*The Effect of Fine Content on Undrained Shear Strength Behavior and Steady State Line of Silty Sand Soils*  
M. Mahmudi, D. Erdoğan

23. **MoO<sub>3</sub> /PAG ve ZnO/PAG Nanoyağlayıcılarının Soğutma Sisteminin Performans Parametrelerine Etkilerinin Belirlenmesi** 521-532  
*Determination of the Effects of MoO<sub>3</sub>/PAG and ZnO/PAG Nano-lubricants on Cooling System Performance Parameters*  
M. Akkaya
24. **DC Motorun Hız Kontrolü İçin Meta-Sezgisel Algoritma Tabanlı PID Denetleyici Tasarımı** 533-549  
*Meta-Heuristic Algorithm Based PID Controller Design for Speed Control of DC Motor*  
A.K. Şahin, Ö. Akyazı, E. Şahin, O. Çakır
25. **Çermail Armut Marmelatı Kullanılarak Üretilen Yoğurtların Bazı Kalite Kriterleri Üzerine Bir Araştırma** 550-557  
*A Research on Some Quality Criteria of Yoghurts Produced Using Çermail Pear Marmalade*  
F. Yangılar
26. **Bağlayıcı Olarak CMC Kullanımının Kromit Konsantrelerinden Üretilen Soğuk Bağlı Kompozit Peletlerin Mukavemetine Etkisi** 558-567  
*The Effect of Using CMC as a Binder on the Strength of Cold Bonded Composite Pellets Produced from Chromite Concentrates*  
U. Çalığılı, M. Boyrazlı, S. Karataş, E. Çakır, A. Keskin
27. **Zeytin Çekirdeği Tozu İlave Edilmiş Polipropilen Kompozitinin Aşınma ve Fiziksel Özellikleri** 568-576  
*Wear and Mechanical Properties of Olive Pit Powder Added Polypropylene Composite*  
M. Taşdemir, A. Kaştan
28. **Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Trafik Kontrollü Gezgin Yönlendirme Yöntemi** 577-593  
*Traffic Controlled Mobile Routing Method in Wireless Sensor Networks*  
S. Yalçın, E. Erdem
29. **Harran Ören Yeri Kazısında Bulunan Kabartma Yazılarının Üç Boyutlu Olarak Modellenmesi** 594-601  
*Three-Dimensional Modeling of Relief Scriptures Found in Harran Ruins Excavation*  
N. Polat, M. Önal, Y. Kaya, A. Memduhoğlu, N. Kaya, M. Ulukavak, S.İ. Mutlu, S. Mutlu
30. **Fuzzy Logic Based Power Factor Correction in Single Phase AC-DC System** 602-612  
*Tek Fazlı AC-DC Sistemde Bulanık Mantık Tabanlı Güç Faktörü Düzeltmesi*  
M.A. Şenol
31. **Saldırı Tespiti için Makine Öğrenme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi** 613-624  
*Comparative Analysis of Machine Learning Methods for Intrusion Detection*  
M. Burukanlı, M. Çıbuk, Ü. Budak
32. **COVID-19 Tedavisi İçin Türkiye’de Belirlenen Hastanelerin Seçiminde Etkili Olan Kriterlerin Değerlendirilmesi** 625-639  
*Evaluation of The Criteria That Affect the Selection of Hospitals in Turkey for Covid-19 Treatment*  
K. Yurdakul, Ş. Gür, T. Eren, H.M. Alakaş
33. **Konuma Dayalı Hız Vektörlerinin Zamansal Analizi** 640-654  
*Time Series Analysis of Spatial Velocity Vectors*  
E. Türk, Ö. Yıldırım, S. İnyurt
34. **Betonarme Binalar için Perde Duvar Etkinliğinin Belirlenmesi** 655-669  
*Determination of the Shear Wall Efficiency in Reinforced Concrete Buildings*  
B. Erdil, Y. Gündüz

---

**Derleme Makaleleri / Review Articles (Engineering)**

35. **Investigation of Cloud Computing Based Big Data on Machine Learning Algorithms** 670-682  
*Bulut Bilişim Tabanlı Büyük Verilerin Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile İncelenmesi*  
M. Yıldırım, A. Çınar, E. Cengil
-

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bitlis Yöresinde Yetişen *Plantago lanceolata* (Yılan Otu) Bitkisinin Antioksidan ve Antimikrobiyal Özelliklerinin Araştırılması**

Canan AKBALIK<sup>1</sup>, Oğuz Ayhan KİREÇÇİ<sup>2\*</sup>, Mehmet FIRAT<sup>3</sup>,  
İbrahim Halil ŞAHİN<sup>4</sup>, Fatih Çağlar ÇELİKEZEN<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya ABD, Bitlis, Türkiye

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Hizan Meslek Yüksekokulu, Bitkisel ve Hayvansal Üretim Bölümü, Bitlis, Türkiye

<sup>3</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Van, Türkiye

<sup>4</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri M.Y.O., Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Bitlis, Türkiye

<sup>5</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Bitlis, Türkiye

(ORCID: 0000-0001-8305-5573) (ORCID: 0000-0003-2205-4758) (ORCID: 0000-0001-5814-614X)

(ORCID: 0000-0001-7667-9310) (ORCID: 0000-0001-5489-7384)

---

### **Öz**

Bitkiler, eski çağlardan günümüze kadar çeşitli tedavi yöntemlerinde kullanılmıştır. Sunulan çalışma ile Bitlis yöresinde geleneksel olarak tüketilen *Plantago lanceolata*'nın antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri ile süperoksit dismutaz ve glutatyon-S-transferaz enzim aktiviteleri yanında Fe, Zn ve Cu düzeyleri incelenmiştir. Antioksidan özellikleri DPPH metodu ve süperoksit dismutaz ile glutatyon-S-transferaz enzim aktiviteleri saptanarak belirlenmiştir. Antimikrobiyal özellikleri disk difüzyon metodu, iz mineral düzeyleri ise spektrofotometrik olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Tatvan'dan toplanan bitki örneklerinin en yüksek antioksidan aktiviteye sahip olması yanında süperoksit dismutaz ve glutatyon-S-transferaz aktivitesi ve iz mineral miktarı açısından da daha zengin içeriğe sahip olduğunu göstermiştir. Bunlara ek olarak, Adilcevaz'dan alınan örnekler dışındaki bitki numuneleri, kullanılan mikroorganizmalar üzerine zayıf antimikrobiyal etki göstermiştir. Sonuç olarak, elde edilen veriler Bitlis yöresinde yetişen *Plantago lanceolata*'nın ileri çalışmalar için önemli bir antimikrobiyal ve antioksidan kaynağı olabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Plantago lanceolata*, antioksidan, antimikrobiyal, DPPH, iz elementler.

---

## **Investigation of Antioxidant and Antimicrobial Characteristics of *Plantago lanceolata* (Yılan Otu) Plant Growing in Bitlis Region**

---

### **Abstract**

Plants have been used in various treatment methods from ancient times to today. In this study, antioxidant and antimicrobial properties, superoxide dismutase and glutathione-s-transferase enzyme activities, Fe, Zn, and Cu levels of *Plantago lanceolata* which was consumed in Bitlis region were investigated. Antioxidant properties were detected by DPPH method and determination of superoxide dismutase and glutathione-s-transferase enzymes activities. When antimicrobial features were elevated via disc diffusion method, trace element levels determined spectrophotometrically. The obtained results showed that the plant samples obtained from Tatvan have the highest antioxidant activity. Besides, it was observed that the richest content in terms of superoxide dismutase, glutathione-s-transferase activities and trace element content in samples obtained from Tatvan. In addition, all plant samples showed a slight antimicrobial effect on used microorganisms except obtained from Adilcevaz. As a result, the obtained data showed that *Plantago lanceolata* which grown in Bitlis region could be an important candidate for further studies.

**Keywords:** *Plantago lanceolata*, antioxidant, antimicrobial, DPPH, trace elements.

---

\*Sorumlu yazar: [oakirecci@beu.edu.tr](mailto:oakirecci@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 18.11.2020, Kabul Tarihi: 16.04.2021



## 1. Giriş

İnsanlığın varoluşundan bugüne kadar bitkiler çeşitli tedavi yöntemlerinde kullanılmıştır. 1805'te Alman kimyacı Serturmer ilk etken maddeyi yani morfini afyon bitkisini özütleyerek elde etmiştir. Daha sonraları 1820'de kınakına bitkisinin kabuğundan elde edilen ve sıtma tedavisinde kullanılan kininin, 1868'de kalp yetmezliği tedavisinde kullanılan ve yüksek otu yapraklarından elde edilen digitalinin ve son olarak 1890'da söğüt ağacından asetilsalisilik asitin izole edilmesi birbirini izleyen gelişmelerdir. Günümüzde, insanların bitkisel ilaçlara yönelmelerinin temel sebebi sentetik kökenli ilaçların yan etkiler barındırmasıdır. Ayrıca doğal kaynaklı ilaçların birçok etkiye birden sahip olması bu bitkilere üstünlük sağlamıştır. Bitkisel kaynaklı ilaçların sentetik ilaçlara göre birçok artısının olması bitkiler üzerinde yapılan araştırmaların her geçen gün artmasına sebep olmuştur [1]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), dünyada 4 milyar civarında insanın sağlık sorunlarının çözümlenmesinde ilk aşamada bitkisel preparatlara başvurulduğunu ortaya koymuştur (dünya nüfusunun %80'i). Bunun yanında, gelişmiş ülkelerde reçete ile satılan ilaçların yaklaşık %25'ini bitkisel kökenli olan vimbilastin, rezperin, kinin, aspirin vb. etken maddelerden oluştuğu rapor edilmiştir [2].

*Plantaginaceae* ailesinden olan *P. lanceolata*, tıp alanında yapraklarının tamamı yahut *Plantago* türlerinin polar ekstraktları kullanılarak fitoterapi alanında sindirim ve solunum sistemindeki kanser ile alakalı problemlerin ve ağrıların giderilmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, deri ve enfeksiyon hastalıklarının tedavisinde de kullanıldığı bilinmektedir [3]. *P. lanceolata* ve *P. major* Türkiye'de en yaygın bulunan türler olup, Anadolu'da yara, çıban ve sivilceler için haricen, kanser, diyabet, idrar yolu enfeksiyonlarında, soğuk algınlığı ve viral enfeksiyonlarında ise çayı tüketilmektedir. *Plantago* türlerinin yaprakları ve tohumları, Fransa, İtalya, Güney Afrika ve Türkiye gibi ülkelerde salata malzemesi veya çocuk maması olarak tüketilir [4]. Bunun yanında, *Plantago* türlerinin antienflamatuvar, antitümöral, antifungal, antibakteriyel, antispazmotik, analjezik, antiviral ve karaciğeri koruyucu etkileri olduğu bildirilmiştir [5]. İdrar söktürücü olarak, böcek sokmalarına karşı, güneş yanığı, deri hastalıkları, göz tahrişi, ağız ve boğaz iltihabı yaralarını tedavi etmek amacıyla bu bitkinin yaprakları kullanılmaktadır. Ayrıca soğuk algınlığı, öksürük, ses kısıklığı, astım, amfizem, bronşit, ateş, gastrit, ülser, mesane problemleri, böbrek taşı, bağırsak şikâyetleri, düzensiz adet, hipertansiyon, romatizma ve saman nezlesi gibi hastalıkların tedavilerinde etkili olduğu görülmüştür [6-10]. Kurutulmuş tohumun suya geçirilmesiyle yatıştırıcı olarak, göz kremi, ishal ve dizanteri veya çocuklarda bağırsak solucanları için bir tedavi şekli olarak kabul edilmekte ve uygulanmaktadır [11]. *P. lanceolata* yaprakları, tahrişi azaltmak için öksürük şurupları içine de katılmaktadır. Taze bitkiden elde edilen maseratlar, sıvı ekstraktları ve şurupları ağız ve boğaz iltihabı tedavisinde ve iltihaplı cilt içinde kullanılmaktadır [11].

Bu çalışmada, Bitlis yöresinde yetişen *P. lanceolata*'nın antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri yanında glutasyon S-transferaz (GST) ile süperoksit dismutaz (SOD) enzimleri üzerine etkisi ve bazı mineral düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada araştırma materyali olarak Bitlis yöresinde doğal olarak yetişen *P. lanceolata* bitkisi kullanılmıştır. *P. lanceolata* bitkisi vejetasyon dönemi bitki toplandığı aylar dikkate alınarak 2017 yılının Mayıs aylarında Bitlis ilinin merkezi, Tatvan, Mutki ve Adilcevaz ilçelerinin çevresindeki çayırılık, nemli ve step alanlardan doğru teşhis için çiçekli ve meyveli dönemlerde toplanmıştır. Mehmet FIRAT tarafından herbaryum kurallarına göre kurutulularak herbaryum örneği hazırlanmıştır. Toplanan örneklerin tür teşhisi "Flora of Turkey and the East Aegean Islands" Cilt 7'ye göre teşhis edilmiş ve türün güncel taksonomik geçerliliği "Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler)" kitabından kontrol edilmiştir [12].

Bitki örnekleri aşağıda belirtilen lokalitelerden toplanmıştır.

B9 Bitlis: Tatvan, Şirinevler mahallesi, Güven sokak civarı, nemli çayırılık step alanlar, 1653 m, 38°30'56" K, 42°17'36" D, 01.05.2017 M. Fırat (VANF) 33698.

B9 Bitlis: Bitlis merkez, Beş minare mahallesi Ahmet Eren bulvarı dere kenarı, nemli alanlar, 1671 m, 38°26'41" K, 42°08'37" D, 03.05.2017 M. Fırat (VANF) 33699.

B9 Bitlis: Mutki, Pınarbaşı mahallesi, Hükümet konağı civarı, step alanlar, 1507 m, 38°24'29" K, 41°55'13" D, 04.05.2017 M. Fırat (VANF) 33700.

B9 Bitlis: Adilcevaz, Alacaatlı mahallesi civarı, nemli alanlar, 1715 m, 38°48'36" K, 42°45'05" D, 05.05.2017 M. Fırat (VANF) 33701.

## 2.1. Analizler

2 gr bitki üzerine 10 mL etanol eklendi. Çözücü içine konulan bitki örnekleri blender ile parçalanarak ekstratlar hazırlandı. Bu işleminden sonra bütün gruplar santrifüj edildi (5000 rpm +4 °C). Santrifüj sonunda elde edilen süpernatant alınarak çözücüler 30 dakika oda sıcaklığında ve karanlık bir ortamda bekletilerek uzaklaştırıldı. Ekstratlar -60 °C de muhafaza edildi.

### 2.1.1. DPPH (2,2- difenil-1-pikrilhidrazil) Analizi

DPPH (2,2-difenil-1-pikrilhidrazil) radikali sentetik kararlı bir bileşiktir. Doğal komponentlerin antioksidan aktivitelerinin tayininde sıklıkla kullanılmaktadır [13]. 0,0062 gr DPPH, 250 mL metanolde çözüldü. Deney tüplerine hazırlanan DPPH+metanol karışımından 4 mL eklendi. Örneklerden 50, 100, 150, 200, 250, 300 µL bırakıldı. Örnekler 30 dakika oda sıcaklığında ve karanlık bir ortamda bekletildi. Süre sonunda absorbanları 517 nm'de blanka karşı spektrofotometrik olarak belirlendi.

### 2.1.2. SOD Aktivitesinin Belirlenmesi

Her bitkiden 2.0 gr alınarak 5 mL tris tamponu ve 5 mL fosfat tamponu içinde alınarak homojenize edildi. 7600 rpm'de 30 dakika santrifüj yapıldı. Süpernatant okuma yapılınca kadar -40 °C derin dondurucuda bekletildi. Ardından SOD aktivite tayini Mc Cord ve Fridavich (1969) metoduna göre yapıldı [14].

### 2.1.3. Antimikrobiyal Etkinin Belirlenmesi

Bitki örneklerinin antimikrobiyal etkisi, *S. aureus* (ATCC 33862), *E. aurogenes* (ATCC13048), *A. baumannii*, *P. aeruginosa* (ATCC27853), *E. coli* (ATCC35218), *E. faecalis* (ATCC 29212) standart suşları kullanılarak belirlendi. Pozitif kontrol olarak Ciprofloksasin ve trimetoprim sulfamethaksazol kullanıldı. Antimikrobiyal etki disk difüzyon yöntemi ile saptandı (NCCLS, 1997). Bakteri izolatları Mueller Hinton Broth (OXOID) besi yerine bırakılarak 35±2 °C'de 24 saat inkübe edilerek aktifleşmeleri sağlandı ve konsantrasyonları MC Farland 0.5' e (108 CFU/mL) göre ayarlandı [15]. Bakteriler Mueller Hinton Agar (OXOID) besiyerlerine 100 µL bırakıldıktan kurumaları için 15 dakika beklendi. Daha sonra 6 mm çaplı steril standart disklere 25 µL bitki ekstratları emdirilerek kültür ortamına bırakıldı [15]. Örnekler 37 °C'de 24 saat inkübasyona bırakılarak inhibisyon çapları ölçüldü.

### 2.1.4. GST Tayini

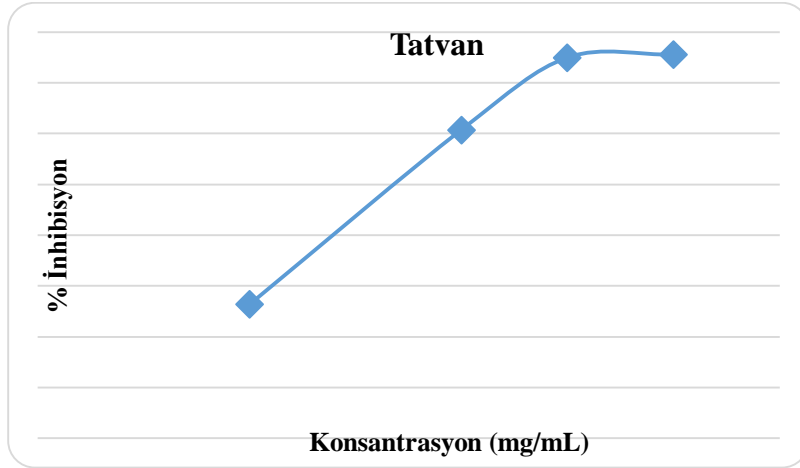
GST tayini Hobig vd (1947)'nin metoduna göre yapıldı [16]. GST aktivitesi tayini için; potasyum fosfat tamponu (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)'ten 100 mL alınarak balon jöjeye aktarıldı (pH:6.5). 10 mL etanolde 0.2026 gr CDNB (1-chloro,2-4dinitrobenzen) çözüldü. 10 mL fosfat tamponunda 0.3073 gr glutatyon (redükteglutatyon) çözüldü. Spektrofotometre de 340 nm de ölçüm yapıldı. 3 dk süreyle değişim kaydedildi.

## 3. Bulgular ve Tartışma

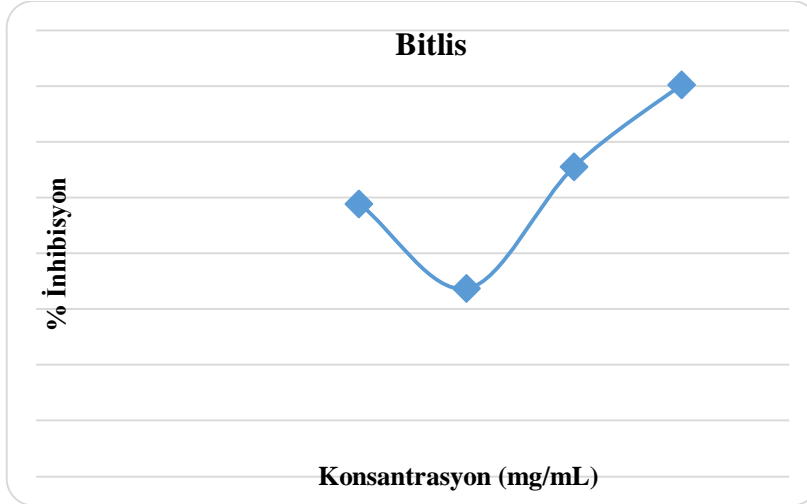
### 3.1. DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl)

Çalışma ile Bitlis yöresinde doğal olarak yetişen ve halk arasında hem gıda maddesi olarak hemde geleneksel tedavi yöntemlerinde kullanılan *P.lanceolata*'nın antioksidan özellikleri spektrofotometrik yöntemler ile belirlendi. Buna ek olarak, SOD ve GST enzimlerinin düzeyleri kolorimetrik metotlar ile saptandı. Elde edilen sonuçlar, Bitlis yöresinden toplanan bitki örneklerinin antioksidan etkiye sahip olduğunu gösterdi. *P. lanceolata* bitki örneklerinin % inhibisyon ve EC<sub>50</sub> değerleri sırasıyla Tatvan, %62.47, EC<sub>50</sub>:3.12; Bitlis, %37.47, EC<sub>50</sub>:12.13; Adilcevaz, %18.17, EC<sub>50</sub>: 22.43; Mutki, %13.89

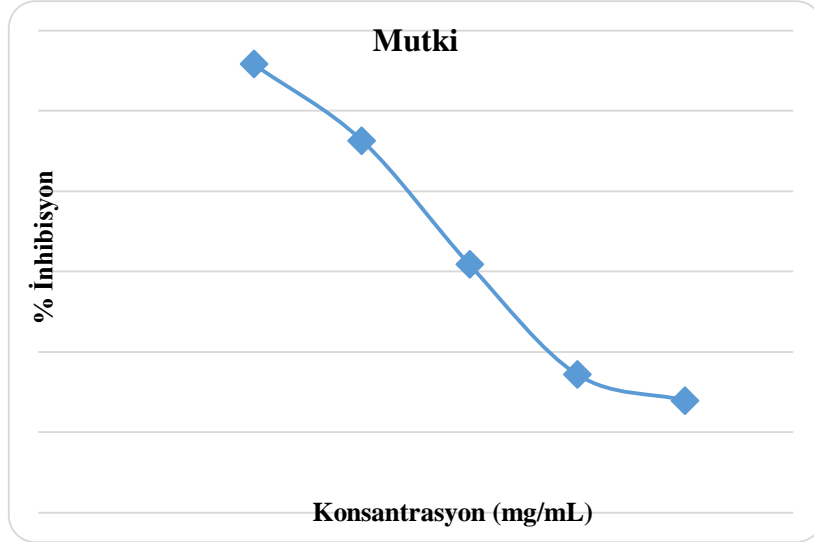
EC<sub>50</sub>:89.52 olarak belirlendi. (Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3, Şekil 4). Bu sonuçlara göre bitki örneklerinin antioksidan aktiviteleri  $P.lanceolata_{Tatvan} > P.lanceolata_{Bitlis} > P.lanceolata_{Adilcevaz} > P.lanceolata_{Mutki}$  olarak saptandı. Elde edilen sonuçlara paralel olarak, yapılan bir çalışmada, Van yöresinden toplanan *P. lanceolata*'nın ORAC ve FRAP metotlarıyla yapılan testlerde yüksek antioksidan kapasite gösterdiği bildirilmiştir [17]. Malatya ilinden toplanan *P. lanceolata* bitki örneklerinin oksidatif stresin bir belirteci olan TBARs seviyesini önemli düzeyde düşürdüğü ve GSH seviyelerini arttırdığı tespit edilmiştir [4]. *Plantago major L.* bitkisinin su ve etanol ekstraktlarının etkin antioksidan özelliğe sahip olduğu saptanmıştır [18]. *P. afra*, *P. coronopus*, *P. lagopus*, *P. Lanceolata* ve *P. serraria* bitki örneklerinin DPPH testi ile antioksidan kapasitelerinin incelendiği bir çalışmada tüm örneklerin antioksidan etkiye sahip olduğu rapor edilmiştir [19]. *P. major* bitki ekstraktının karaciğer mitokondrisinde ve HepG2 hücrelerinde anlamlı düzeyde antioksidan etki gösterdiğini bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada [20], *P. asiatica plantamajoside*'nin antioksidan etkisini belirlemişlerdir.



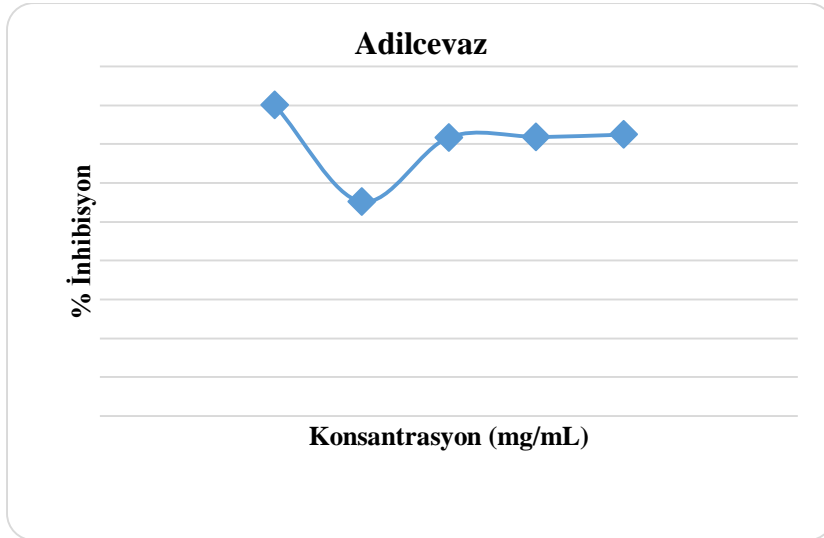
Şekil 1. Tatvan'da yetişen *P. lanceolata* bitkisinin DPPH radikalini giderme aktivitesi IC<sub>50</sub>=3.12



Şekil 2. Bitlis'de yetişen *P. lanceolata* bitkisinin DPPH radikalini giderme aktivitesi IC<sub>50</sub>= 12.13



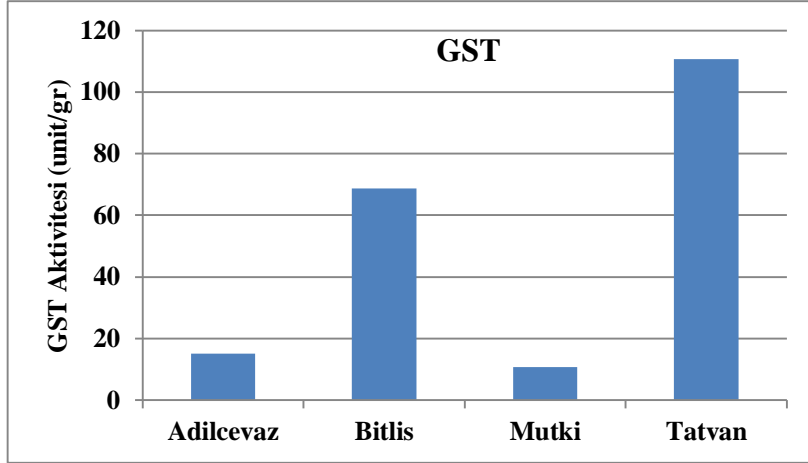
Şekil 3. Mutki’de yetişen *P. lanceolata* bitkisinin DPHH radikalini giderme aktivitesi IC<sub>50</sub>=89.52



Şekil 4. Adilcevaz’da yetişen *P. lanceolata* bitkisini DPHH radikalini giderme aktivitesi IC<sub>50</sub>=22.43

### 3.2. GST (Glutatyon S-Transferaz)

GST, alpha, mu, pi, theta, kappa, zeta, sigma, omega ve delta gibi alt üniteleri içeren enzim ailesi olup birçok endojen ve eksojen elektrofilik bileşiği daha az etkili reaktif metabolitlere dönüştüren detoksifikasyon mekanizmalarında rol alır [21]. Yapılan araştırmada, GST düzeyi, en yüksek olarak Tatvan’dan toplanan örneklerde tespit edildi (110.72 unit/gr). Bitlis’ten toplanan örneklerde 68.80 unit/gr olarak bulunurken, Mutki’den alınan numelerde 10.71 unit/gr, Adilcevaz’dan alınan örneklerde ise 15.12 unit/gr olarak saptandı (Şekil 3.6.).



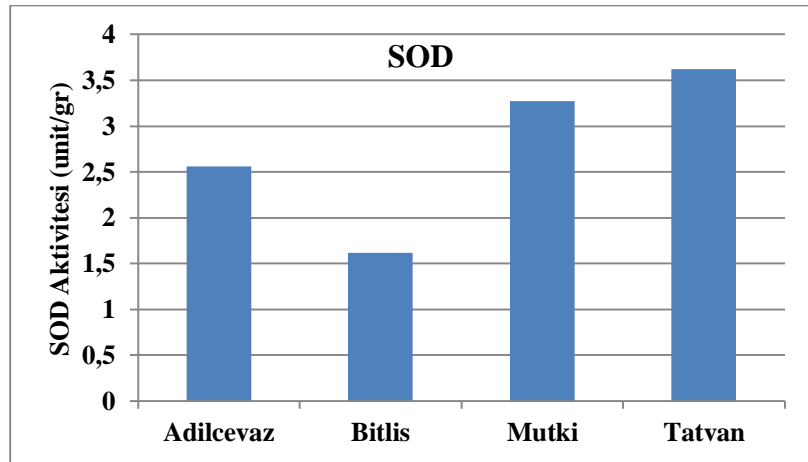
Şekil 5. Adilcevaz, Bitlis, Mutki, Tatvan'da yetişen *P. lanceolata*'nın GST aktivitesi

### 3.3. SOD (Süperoksit Dismutaz)

SOD hücredeki en güçlü antioksidan olup birinci detoksifikasyon enzimidir. Önemli bir endojen antioksidan enzim olan SOD reaktif oksijen türlerine (ROT) karşı koyan ilk savunma hattıdır. SOD süperoksit anyonunun hidrojen peroksit ve moleküler oksijene dismutasyonunu katalize eder. SOD bir metalo enzim olduğundan aktivitesi için bir metal kofaktöre ihtiyaç duyar [22, 23].

Sunulan çalışmada toplanan *P. lanceolata* bitki örneklerinin SOD aktiviteleri spektrofotometrik yöntem ile belirlendi. Elde edilen sonuçlara göre Tatvan'dan toplanan bitki örnekleri en yüksek SOD aktivitesine sahipken (3,62 unit/gr) en düşük aktivite Bitlis'den toplanan örneklerde bulundu (1,62 unit/gr). Adilcevaz'dan alınan numunelerde SOD enzim aktivitesi (2,56 unit/gr) olarak saptanırken, Mutki'den toplanan örneklerdeki SOD aktivitesi (3,27 unit/gr) olarak belirlendi (Şekil 6).

*P. major* bitkisinin SOD enzim aktivitelerinin rakıma bağlı olarak değişkenliğinin incelendiği bir çalışmada SOD aktivitesinin bitki yapraklarında rakım yükseldikçe anlamlı derecede düşüş gösterdiği rapor edilmiştir [24]. Bu çalışmanın sonuçlarından farklı olarak, sunulan araştırmada, örnek toplanan yerlerden en yüksek rakımlı olanı Mutki olmasına rağmen Mutki'den alınan örnekler en düşük aktiviteyi göstermemiştir (2017 m). Bitlis 1545 m, Tatvan 1690 m, Adilcevaz ise 1650 m yüksekliğe sahiptir.



Şekil 6. Bitlis, Tatvan, Mutki ve Adilcevaz'da yetişen *P. lanceolata*'nın SOD Aktivitesi

### 3.4. Antimikrobiyal Aktivite

*P. lanceolata*'nın antimikrobiyal aktivitesi disk difüzyon metodu ile saptandı. Bitlis'ten toplanan bitki örnekleri *E. aerogenes*, *S. aureus*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa* üzerine zayıf antimikrobiyal etki gösterirken, Tatvan'dan alınan bitki örnekleri sadece *S. aureus* üzerine zayıf antibiyotik etki gösterdi.

Mutki'den alınan örnekler *S. aureus*, *A. baumannii*, *P. aeruginosa* ve *E. facelis* üzerinde hafif etki gösterirken, Adilcevaz'dan alınan örnekler kullanılan mikroorganizmalar üzerine herhangi bir etki göstermedi (Tablo 1). Adilcevaz'dan alınan örneklerin herhangi bir mikrobiyal etki göstermemesi toprak yapısının farklı olmasından kaynaklanıyor olabilir.

Elde edilen sonuçlara paralel olarak yapılan bir çalışmada *P. lanceolata*'nın farklı çözücülerdeki ekstraktlarının hafif antimikrobiyal etki gösterdiği ve bu etkinin yapısındaki flavonoid ve terpenlerden kaynaklanıyor olabileceği bildirilmiştir [25]. Farklı bir çalışmada ise *P. lanceolata*'nın su ekstraktlarının *S. aureus*, *S. epidermidis*, *S. Marcescens* ve *Proteus vulgaris* üzerine zayıf antibiyotik etki gösterdiği rapor edilmiştir [26]. Bazzaz ve Haririzadeh [27], *P. lanceolata*'nın preslenerek elde edilmiş taze suyunun bakterisidal etki gösterdiğini saptamışlardır. Ayrıca bazı *Plantago* türlerinin de antimikrobiyal özelliğe sahip olduğu bildirilmiştir.

**Tablo 1.** *P. lanceolata* bitkisinin antimikrobiyal etkisi.

Mikroorganizma	Bitlis	Tatvan	Mutki	Adilcevaz	K1	K2
<i>E. aerogenes</i>	8	-	-	-	30	28
<i>S. aureus</i>	10	4	8	-	27	20
<i>Acinetobacter baumannii</i>	6	-	8	-	25	16
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	10	-	6	-	28	18
<i>E. coli</i>	-	-	-	-	32	20
<i>E. facelis</i>	-	-	4	-	18	-

K1: Ciprofloksasin, K2: Trimetoprim sulfamethaksazol

#### 4. Sonuç

Yaşam boyunca endojen ve eksojen kaynaklardan açığa çıkan serbest radikaller, normalde organizmanın antioksidan savunma sistemleri ile baskılanır. Serbest radikal oluşum hızıyla, bunları etkisizleştiren antioksidan sistem arasındaki denge korunduğu sürece herhangi bir problem görülmez. Antioksidan savunma ile serbest radikal oluşum hızı arasındaki dengenin bozulması sonucunda, patolojik problemlere yol açabilen oksidatif stres meydana gelir. Oksidatif stres altında bozulan fizyolojik olaylar sonucunda, klinik, epidemiyolojik ve deneysel çalışmalarla gösterilen yaşlanma, kanser ve diğer pek çok hastalıkların gelişimi artar [28].

Bugün hastalıklarda serbest radikallerin rolünün araştırılması hız kazanmıştır. Özellikle başta kanser olmak üzere kardiyovasküler hastalıklar, diyabet, romatoid artrit gibi pek çok hastalıkta ve yaşlanma olayında etkileri açığa kavuşmuştur. Son yıllarda serbest radikallerin beslenmeyle olan ilişkileri de ortaya çıkınca, konu bilim adamlarınca daha yoğun ve geniş çapta araştırılmaya başlanmıştır [29, 30].

Antioksidan maddeler ya da antioksidan yönüyle zengin yiyecekler, serbest radikaller ve aktif oksijen tarafından oluşturulan insan vücudunda oluşabilecek oksidatif hasarı azaltmada yardımcı olarak kullanılabileceği bildirmiştir [31, 32].

Sonuç olarak, yapılan çalışma ile Bitlis ili çevresinden toplanan *P. lanceolata* bitki örneklerinin biyolojik aktiviteleri incelendi. Bu bağlamda, tüm bitki örnekleri antioksidan özellik gösterirken, Tatvan'dan alınan örneklerin diğerlerine göre daha yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğu, Tatvan'dan toplanan bitki örneklerinin SOD ve GST enzim aktivitelerinin diğer bölgelerden toplanan numunelere göre daha yüksek olduğu, Tatvan, Bitlis ve Mutki'den toplanan bitki örnekleri çalışmada kullanılan mikroorganizmalar üzerine zayıf antibiyotik etki gösterirken, Adilcevaz'dan toplanan bitki numunelerinin herhangi bir antimikrobiyal etki göstermediği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, *P. lanceolata*'nın lokaliteye bağlı olarak değişik oranlarda antioksidan aktiviteye sahip olduğu, antimikrobiyal etkisinin ise sınırlı olduğunu göstermektedir. Kompleks yapılarından dolayı bitkilerin kimyasal cevaplarının ortaya konmasının zorlukları bulunmaktadır. Mevcut çalışma ile Bitlis yöresinde yetişen *P. lanceolata*'nın antioksidan ve antimikrobiyal kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir. *P. lanceolata*'nın sağlık üzerine etkilerinin saptanması için ileri araştırmalara ihtiyaç vardır.

## Yazarların Katkısı

Canan AKBALIK çalışmanın sürdürülmesinde örnek toplama, literatür taraması, yazımı; Oğuz Ayhan KİREÇÇİ konunun önerilmesi, laboratuvar analizleri, literatür tarama, yazım, sonuçları değerlendirme; Mehmet FIRAT tür teşhisi; İbrahim Halil ŞAHİN laboratuvar analizleri, sonuçları değerlendirme; Fatih Çağlar ÇELİKEZEN laboratuvar analizleri, literatür tarama, sonuçları değerlendirme konularında 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] Baytop T. 1984. Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi. Sanal Basımevi, İstanbul.
- [2] Farnsworth N.R., Akerev O., Bingel A.S. 1985. The Bulletin of WHO, 63: 9865-9871.
- [3] Samuelsen A.B. 2000. The Traditional Uses, Chemical Constituents and Biological Activities of *Plantago major* L. Journal of Ethnopharmacology Sciences, 71: 1-21.
- [4] Kuranel E. 2012. *Plantago lanceolata* Bitkisinin Yara İyileştirici Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- [5] Fons F., Rapior S., Gargadennec A., Andary C., Bessiere J.M. 1998. Volatile components of *Plantago lanceolata* (Plantaginaceae). Acta Bot Gall. 145. 265-269.
- [6] Wichtl M., Anton R. 1999. Plantes thérapeutiques. Paris, 415-8.
- [7] Chiang L.C., Chiang W., Chang M.Y., Ng L.T., Lin C.C. 2002. Antiviral Activity of *Plantago major* Extracts and Related Compounds in vitro. Antiviral Research, 5: 53-62.
- [8] Fleer H., Verspohl E.J. 2007. Antispasmodic Activity of an Extract from *Plantago lanceolata* L. and Some isolated Compounds. Phytomedicine, 14: 409-415.
- [9] Madaus G. 1936. Lehrbuch der Biologischen Heilmittel (III). Georg Thieme Verlag, Heilpflanzen, Leipzig, 2159-2164.
- [10] Ghedira K., Goetz P., Le Jeune R. 2008. *Plantago major* L. et *Plantago lanceolata* L. (Plantaginaceae). Phytothérapie, 6: 367-371.
- [11] Koçak M.S. 2011. Sınırlı Ot (*Plantago lanceolata* L.) Bitkisinin Çözücü Özütlерinin Antioksidan Aktivitelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [12] Güner A., Aslan S., Ekim T., Vural M., Babaç M.T. (edlr.). 2012. Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayını, İstanbul.
- [13] Brand-Williams W., Cuvelier M.E., Berset C. 1995. Use of a free-radical method to evaluate antioxidant activity. Food Sci. Technol.-Lebensm.-Wiss. Technol., 28 (1): 25-30.
- [14] Mc Cord J.M., Fridavich I. 1969. Superoxide Dismutase Aenzymic Function for Erythrocyte. Biological Chemistry, 244: 6049-6055.
- [15] Barry A.L., Thornsberry C. 1985. Susceptibility Tests: Diffusion Test Procedures. (In: Lennette EH, Balows A, Hausler WJ, Shadomy HJ) Manual of Clinical Microbiology, Washington DC, Am. Soc. For Microbiol., 978-987.
- [16] Habig W.H., Pabst M.J., Jakoby W.B., 1974. Glutathione S-transferases. first enzymatic step mercapturic acid formation. J. Biol. Chem., 249: 7130-7139.
- [17] Dalar A., Türker M., Konczak I. 2012. Antioxidant Capacity and Phenolic Constituents of *Malva neglecta* Wallr. and *Plantago lanceolata* L. from Eastern Anatolia Region of Turkey. Journal of Herbal Medicine, 2: 42-51.

- [18] Yiğit Z. 2013. Sınır Otu (*Plantago major* L.) Bitkisinin Antioksidan Kapasitesi, Bazı İz Elementler (Cu, Zn, Fe Ve Mn ) ve Vitamin C Düzeylerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- [19] Gaálvez M., Martí N-Cordero C., Houghton P.J., Ayuso M.J.S. 2005. Antioxidant Activity of Methanol Extracts Obtained from *Plantago* Species. Journal of. Agriculture and. Food Chemistry, 53: 1927-1933.
- [20] Choi S.Y., Jung S.H., Lee H.S., Park K.W., Yun B.S., Lee K.W. 2008. Glycationinhibitory Activity and the Identification of an Active Compound in *Plantago asiatica* Extract. Phytotherapy Research, 22: 323-329.
- [21] Nebert D.W., Vasiliou V. 2004. Analysis of the Glutathione S-transferase (GST) Gene Family. Human Genomics, 1 (6): 460-464.
- [22] Fridovich I. 1995. Superoxide Radical and Superoxide Dismutases. Annual Review of Biochemistry, 64: 97-112.
- [23] Dringen R., Pawlowski P.G., Hirrlinger J. 2005. Peroxide Detoxification by Brain Cells. J Neurosci Research, 79: 157-165.
- [24] Ren H.X., Wang Z.L., Chen X., Zhu Y.L. 1999. Antioxidative Responses to Different Altitudes in *Plantago major*. Environmental and Experimental Botany, 42 (1): 51-59.
- [25] Nostro A., Germano M.P., D'Angelo V., Marino A., Cannatelli M.A. 2000. Extraction Methods and Bioautography for Evaluation of Medicinal Plant Antimicrobial Activity. Letters in Applied Microbiology, 30 (5): 379-384.
- [26] Karakas P.F., Yildirim A., Turker A. 2012. Biological Screening of Various Medicinal Plant Extracts for Antibacterial and Antitumor Activities. Turkish Journal of Biology, 36 (6): 641-652.
- [27] Bazzaz B.S., Haririzadeh G. 2003. Screening of Iranian Plants For Antimicrobial Activity. Pharmaceutical Biology, 41 (8): 573-583.
- [28] Akkuş İ. 1995. Serbest Radikaller ve Fizyopatolojik etkileri. Mimoza Yayıncılık, Konya.
- [29] Aruoma O.I. 1994. Nutrition and Health Aspects of Free Radicals And Antioxidants. Food and Chemical Toxicology, 32: 671-683.
- [30] Scandalios J.G. 2002. The rise of ROS. Trends in Biochemical Sciences, 27 (9): 483-486.
- [31] Mau J.L., Chao G.R., Wu K.T. 2001. Antioxidant Properties of Methanolic Extracts from Several Mushrooms. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 49: 5461-5467.
- [32] Gülçin İ. 2005. The Antioxidant and Radical Scavenging Activities of Black Pepper (*Piper nigrum*) seeds. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 56: 491-499.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Karbon Nanotüp Katkılı Levha Kalıplama Pestilinin AC Elektriksel İletkenliğinin ve Dielektrik Özelliklerinin İncelenmesi**

Aykut ILGAZ<sup>1\*</sup>, Deniz PERİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Balikesir Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Balıkesir, Türkiye  
<sup>2</sup>İşbir Elektrik A.S., Çayırhisar Mh. Yeni İzmir Cd. No:39, Balıkesir, Türkiye  
(ORCID: 0000-0002-9632-0281) (ORCID: 0000-0003-3697-3499)

---

### **Öz**

Cam elyaf takviyeli ve doymamış polyester bazlı polimer kompozit malzemelerin iletkenlik ve dielektrik özelliklerini kontrol etmek için son yıllarda yaygın biçimde kullanılan karbon nanotüpler, yüksek potansiyelli materyallerdir. Bu çalışmada doymamış polyester bazlı standart levha kalıplama pestili (Sheet moulding compound/SMC) ve yüzde 1,2 oranında tek duvarlı karbon nanotüp (TDKN) ile katkılanmış malzeme için, kritik çalışma parametreleri olan AC elektriksel iletkenliği, dielektrik sabiti, dielektrik kayıp faktörü ve dielektrik dağılım faktörü (kayıp tanjant) değerleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. 50 Hz ve 100 kHz frekans aralığında yapılan ölçümlerden elde edilen sonuçlar, karbon nanotüp katkısının yalıtkan olan malzemenin direncini önemli ölçüde azalttığını ve malzemenin AC iletkenliğini önemli ölçüde arttırdığını ortaya koymuştur. Aynı zamanda katkı numune için iletkenliğin frekans değişiminden neredeyse bağımsız olduğu da sonuçlardan görülmektedir. Bununla birlikte dielektrik özelliklerin farklı polarizasyon etkileri nedeniyle frekansa bağlı davranış sergilediği ve artan frekans değerlerinde azalma eğilimi gösterdikleri bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Karbon Nanotüp, Levha Kalıplama Pestili, AC İletkenlik, Dielektrik Sabiti.

---

## **AC Electrical Conductivity and Dielectric Properties of Carbon Nanotube Reinforced Sheet Moulding Compound**

---

### **Abstract**

Carbon nanotubes are high potential materials that have been widely used in recent years to control the conductivity and dielectric properties of glass fiber reinforced and unsaturated polyester-based polymer composite materials. AC electrical conductivity, dielectric constant, dielectric loss factor and dielectric dispersion factor (loss tangent) which are critical operating parameters were analyzed comparatively for the unsaturated polyester based standard sheet molding compound and its 1,2 percent single-walled carbon nanotube (SWCNT) reinforced version in this study. The results obtained from the measurements made in the frequency range of 50 Hz and 100 kHz revealed that the carbon nanotube addition significantly reduced the resistance of the insulating material and remarkably increased the AC conductivity of the material. It can also be seen from the results that the conductivity is almost independent of frequency variation. However, it has been found that dielectric properties of materials exhibit frequency-dependent behavior due to different polarization effects and tend to decrease at increasing frequency values.

**Keywords:** Carbon Nanotube, Sheet Molding Compound, AC Conductivity, Dielectric Constant.

---

### **1. Giriş**

Geleneksel cam elyaf takviyeli polimer (CETP) kompozitlerde katkı maddesi olarak karbon nanotüplerin (KNT) kullanımına ilişkin çalışmaların sayısı son yirmi yılda önemli ölçüde artmıştır [1-4]. Polimer kompozitlere düşük konsantrasyonlarda eklenen karbon nanotüplerin malzemenin elektriksel iletkenliklerini olağanüstü derecede arttırdığı ve hatta iletkenliklerinin yarı iletken

---

\*Sorumlu yazar: [aykutilgaz@balikesir.edu.tr](mailto:aykutilgaz@balikesir.edu.tr)  
Geliş Tarihi: 30.11.2020, Kabul Tarihi: 21.03.2021

seviyelerine ulaştığı literatürde yapılan çalışmalardan iyi bilinmektedir [5-7]. Yüksek en/boy oranı, mekanik dayanımı, üstün elektriksel özelliklere sahip karbon nanotüplerin kompozit malzemeye eklenmesi, elektromanyetik radyasyon kalkını gibi uygulamalarda yalıtkan doğaya sahip polimerin iletkenlik özelliklerini iyileştirmek ve kontrol edebilmek adına büyük avantajlar sağlamaktadır [8].

Karbon nanotüp ile güçlendirilmiş kompozitlerde elektriksel iletkenliği tanımlayan temel teori süzülme teorisidir [9,10]. Düşük konsantrasyonlu katkılı karbon nanotüpler, matristeki kümeler halinde rastgele dağıtılır. Bu durumda, direnç azalmasına rağmen kompozit, yalıtım özelliklerini korumaya devam eder. Katkı maddesinin konsantrasyonu artmaya başladığında, izole edilmiş kümeler yavaş yavaş büyür. Sonunda, matris içinde birbirine bağlı bölgeler oluşturulur. Polimerin yalıtım durumdan iletim durumuna geçtiği bu noktaya süzülme (perkolasyon) eşiği veya kritik konsantrasyon denir. Elektriksel süzülme eşiğinin değeri, polimer matrisine, katkı maddesinin yoğunluğuna ve kompozitin hazırlama yöntemine bağlı olarak değişir [11].

Bu çalışmada, doymamış polyester bazlı levha kalıplama pestili (SMC-Sheet Moulding Compound) malzemeler standart ve tek duvarlı karbon nanotüp (TDKN) katkılı biçimde üretilmiştir. Üretilen malzemelerin AC iletkenlik davranışları ve dielektrik özellikleri frekansa bağlı olarak incelenmiş ve deneylerden elde edilen veriler kullanılarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Teorik fitler sayesinde ise ölçüm yapılamayan frekans aralıklarında, malzemelerin karakteristikleri ortaya konulmuş ve yapılan ölçümlerin doğruluğunu test eden düzeltilmiş belirleme katsayıları hesaplanarak analizlere dahil edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal Üretimi

Sıcak pres üretim metodu yoluyla %26 oranında doymamış polyester, %11 oranında dolgu maddesi, %1.8 oranında stiren, %0.5 oranında peroksit, %1.8 oranında çinko sülfid, %33 oranında kalsiyum karbonat, %0.9 oranında kıvam verici madde ve %25 oranında cam elyaf içeren iki adet SMC malzeme hazırlanmıştır. İlki standart prosedürle hazırlanırken ikinci numuneye ek olarak ağırlıkça %1.2 oranında tek duvarlı karbon nanotüp katkılanmıştır.



Şekil 1. Numunelerin üretim akış diyagramı

Üretilen cam elyaf katkılı numunelerin üretim akış diyagramı Şekil 1'de görülmektedir. Numunelerin üretim sürecinde ilk olarak polyester reçine ve diğer katkı malzemeleri malzeme içinde meydana gelebilecek topaklanma gibi heterojen durumları engellemek ve tüm bileşenlerin entegrasyonu amacıyla mikserlerde devamlı karıştırılarak kıvamlı bir hamur elde edilmiştir. Hamur daha sonra polietilen taşıyıcı filmlerin üzerlerine serilmiştir. Burada hamura cam elyaf takviyesi yapılmış olup cam

elyafın mümkün olduğunca hamurun içine homojen dağılmasına özen gösterilmiştir. Hamura kırılan cam elyafın diğer bileşenlerle uyumunun dahi iyi olması için üzerine yeni bir kat hamur daha serilmiştir. Hava boşluklarını yok etmek için hamur taşıyıcı filmler arasında sıkıştırılmış ve fırına gönderilerek sıcak pres uygulanmıştır. Malzemenin olgunlaşması için en az 2 gün kadar fırında bırakılmış ve sıcak pres yöntemiyle 135-175°C sıcaklıkları arasında ısıtılmış olan kalıpta bekletilmiştir. Piyasadaki CETP malzemelerin viskozite değeri, ısıtma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak değişkenlikler göstermektedir. Bu çalışma için üretilen numunenin minimum viskozite değeri 17000 Pa.s ve maksimum değeri 21100 Pa.s olarak ölçülmüştür. 160 kg/cm<sup>2</sup> kalıp baskı basıncında tutulan malzemenin her milimetresi için 2,5 dakika kalıplama süresi uygulanmıştır. Daha sonra ürün kalıptan çıkarılarak fazlalıkları tıraşlanmış ve 250 mm x 150 mm x 3 mm'lik örnekler test plakalarına basılarak üretilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi numuneler, test plakalarından 20 cm uzunluğunda ve 1,5 cm genişliğinde kesilerek ölçümler alınmıştır.



Şekil 2. Ölçümlerde kullanılan standart ve karbon nanotüp katkılı numuneler.

## 2.1. Metot

Her iki yüzeyi gümüş macun ile kaplanan kompozit filmlerin elektriksel tepkileri, 50 Hz ila 100 kHz frekans aralığında bir empedans spektrometresi (Zurich Technologies, MFIA Impedance Analyzer) yardımıyla analiz edilmiştir. İletkenliğin frekansa bağlı değişimini incelemek için sıcaklık sabit tutulmuş ve ölçümler oda sıcaklığında tamamlanmıştır. CETP kompozitlerin AC iletkenliklerini ( $\sigma_{AC}$ ) ifade etmek için şu eşitlik kullanılmıştır [12]:

$$\sigma_{AC} = \sigma_{DC} + A \cdot f^5 \quad (1)$$

$\sigma_{DC}$  doğru akım iletkenliği, f frekans, A ve n sabitlerdir. Doğru ve alternatif akım iletkenlikleri, Siemens/metre (S/m) biriminde hesaplanmış olup frekansın birimi ise Hertz (Hz) olarak alınmıştır. Malzemenin dielektrik özelliklerini analiz etmek için ise ilk olarak numunelerin sığaları ölçülmüştür. Bu ölçümler için paralel plakalı kondansatör elde etmek amacıyla iki metal plaka arasına 20 mm boyunda, 5 mm genişliğinde ve 4 mm kalınlığında olan numuneler yerleştirilmiştir. Metal plakaların yüzeyleri kutuplanma etkisini en aza indirmek için gümüş boya ile işleme tabi tutulmuştur. Oda sıcaklığında ve değişen frekans değerlerinde yapılan bu sığa ölçümleri Keysight U1733C LCR metre kullanılarak doğrudan gerçekleştirilmiştir. Numunenin boyutlarını kullanarak kompozit malzemelerin dielektrik sabitleri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır [7].

$$\epsilon' = C \cdot \frac{L}{\epsilon_0 \cdot A} \quad (2)$$

Denklemden C ölçülen sığa değeri, L plakalar arası uzaklık,  $\epsilon_0$  boşluğun geçirgenlik katsayısı, A plaka alanıdır. Ölçülen sığa değerinin birimi Farad (F), plakalar arası uzaklığın birimi metre, boşluğun

geçirgenlik katsayısı birimi Farad/metre (F/m) ve plaka alanı birimi m<sup>2</sup> olarak alınmıştır. Dielektrik kayıplar malzemenin zaman içinde ısınmasına neden olarak performansını olumsuz etkileyen parametrelerdendir. Dielektrik kayıp faktörü malzemenin elektrik alandan kazandığı enerjinin ısı enerjisine dönüşme oranı olup şu şekilde hesaplanır [13].

$$\varepsilon'' = \frac{L}{2\pi R A f \varepsilon_0} \quad (3)$$

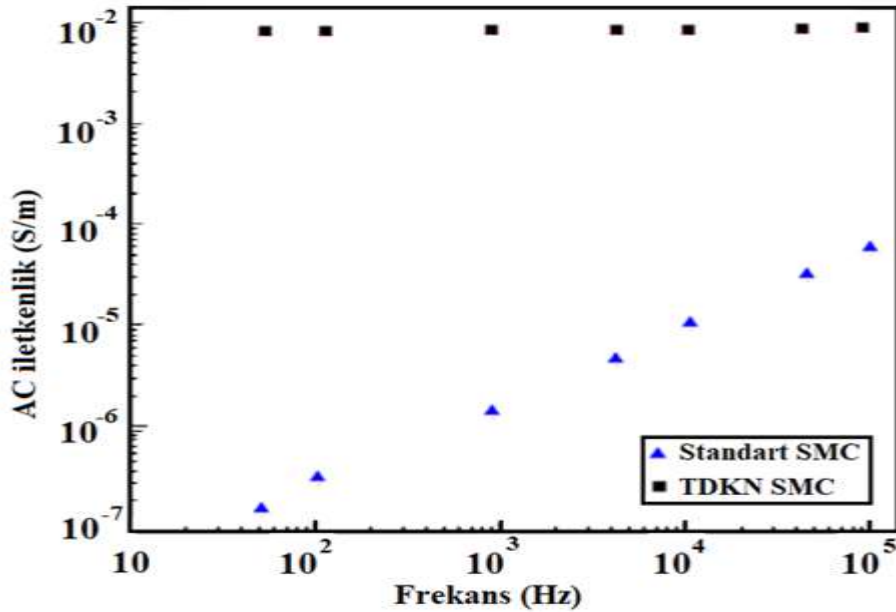
Burada R elektriksel direnç olup birimi Ohm ( $\Omega$ ) dur. Dielektrik dağılma faktörü veya kayıp tanjantı ise dielektrik kayıplardan dolayı elektromanyetik enerjinin ne kadarının ısı enerjisine dönüştüğünü gösteren bir parametre olup dielektrik kayıp faktörünün dielektrik sabitine oranıdır [7].

$$\tan\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (4)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. AC İletkenlik

Şekil 3, katkısız standart ve karbon nanotüp katkılı numunelerin alternatif akım iletkenliklerini 50 Hz-100 kHz frekans aralığında göstermektedir. Standart numunenin iletkenliği frekans ile lineer bir davranış sergilerken, iletkenliğinin de belirli bir seviyede kaldığı görülmektedir. Bununla birlikte TDKN ilave edilen malzemenin AC iletkenliğinin neredeyse frekanstan bağımsız olup yaklaşık olarak 10<sup>-2</sup> S/m değeri aldığı ortaya konulmuştur. Yarıiletkenlerin iletkenlik seviyesi olan bu değer, kritik süzülme eşiğinin aşıldığını ve karbon nanotüplerin malzeme içinde iletkenlik ağı oluşturduklarını göstermektedir [14].

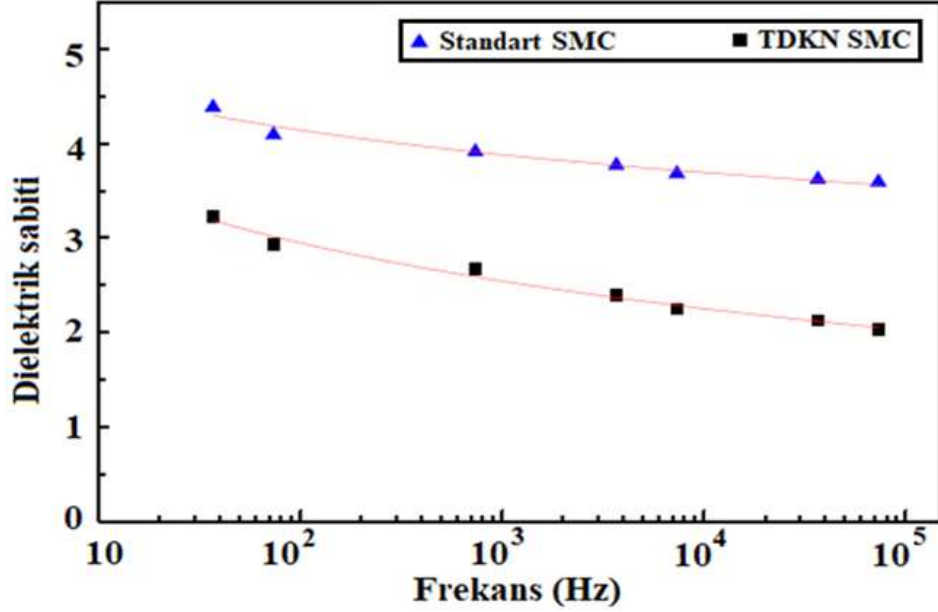


Şekil 3. AC iletkenlik değerlerinin frekansa bağlı olarak değişimi.

#### 3.2. Dielektrik Özellikler

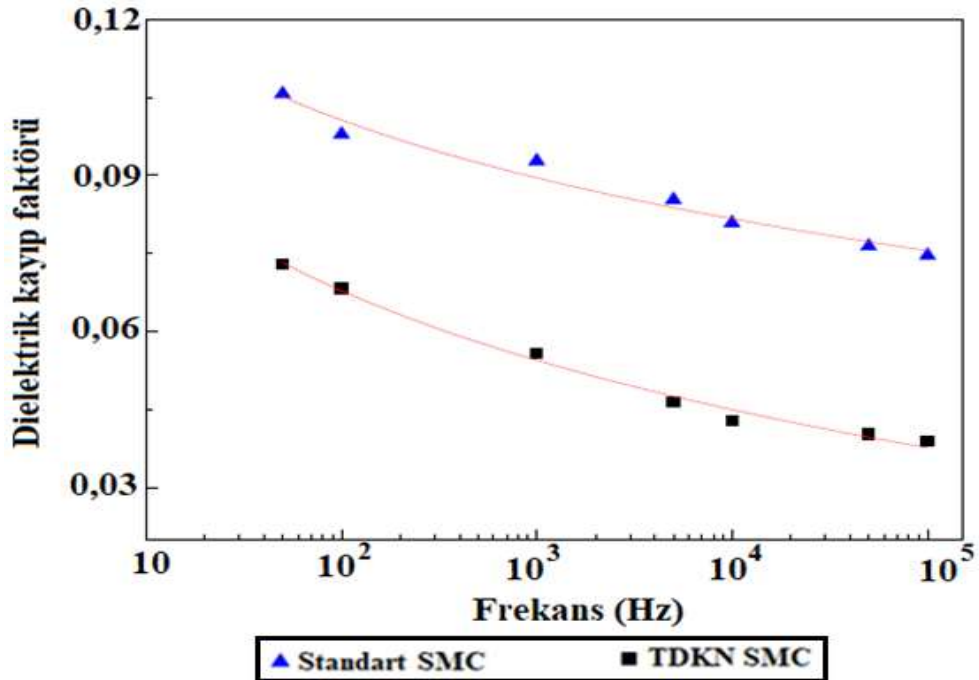
Şekil 4'de standart ve TDKN eklenmiş numunelerin dielektrik sabitlerinin frekans ile değişimi verilmektedir. Semboller deneysel sonuçlardan elde edilen değerleri gösterirken çizgiler yapılan teorik fiti göstermektedir. Oda sıcaklığında, 50 Hz ve 100 kHz frekans aralığında gerçekleşen ölçümlerde düşük frekans değerlerinde malzemelerin dielektrik sabitlerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni düşük frekans değerlerinde etkin olan ara yüzey, atomik ve elektronik polarizasyonların varlığı olarak açıklanabilir. Atomik ve elektronik polarizasyonlar ani gelişen etkileşimler olup dielektrik

sabitinin frekansa bağımlılığını önemli biçimde etkilemezken ara yüzey polarizasyonunun etkisi fazla olup özellikle düşük frekanslarda dielektrik özellikleri en çok etkileyen mekanizmadır [15,16]. Artan frekanslarda ise polarizasyon etkilerinin azalmasıyla numunelerin dielektrik sabitlerinin azaldığı görülmektedir. Tüm frekans değerlerinde TDKN katkılı numunenin dielektrik sabitleri standart malzemeye oranla daha düşüktür.



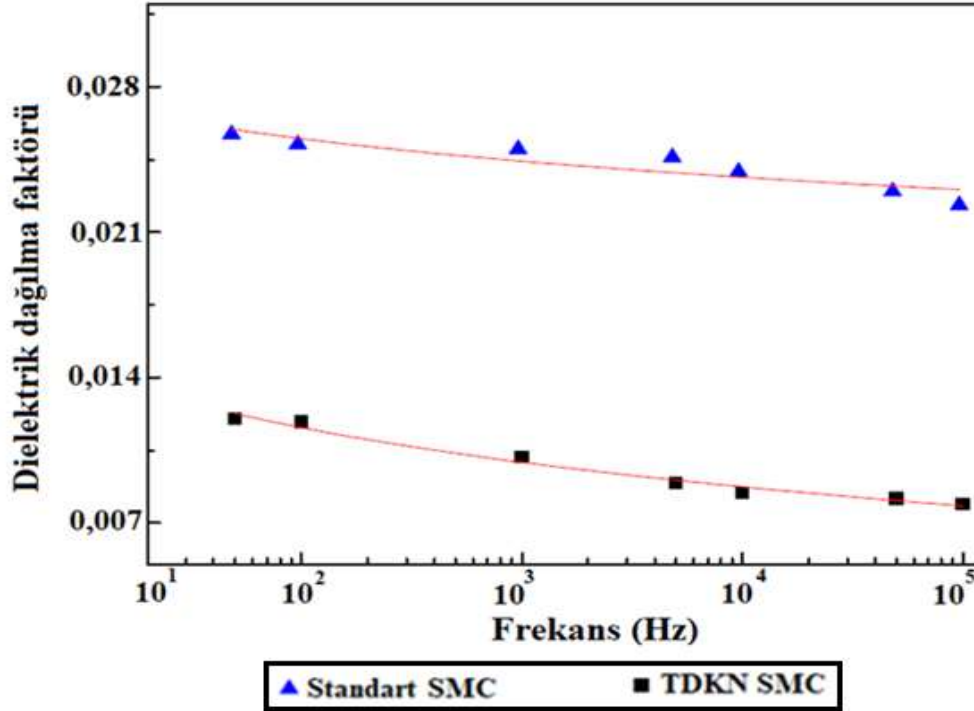
Şekil 4. Dielektrik sabitlerinin frekansa bağlı olarak değişimi.

Karbon nanotüpler, yarıiletken veya iletken doğaya sahip parçacıklar olmaları nedeniyle malzeme içine katıldıkları zaman süzülme eşiği denilen kritik katkılama konsantrasyonunu aştıklarında malzemeyi iletken haline getirirler [9, 10, 17]. Bununla birlikte, karbon nanotüpler kümeler halinde toplanmaya meyilli parçacıklar olduklarından düşük frekanslarda matris içerisinde belirli bölgelerde dağılım gösterirler. Bu durum da, yüksek frekanslara nazaran düşük frekanslarda karbon nanotüp katkılı numunenin dielektrik sabitini arttıran neden olarak sunulabilir.



Şekil 5. Dielektrik kayıp faktörünün frekans ile değişimi.

Malzemelerin dielektrik kayıp faktörlerinin frekans ile değişimi ise Şekil 5’de verilmektedir. Malzemenin kristal örgüsüne ve iç yapısına bağlı olan dielektrik kayıpların en çok standart numunede yaşandığı görülmektedir. Gözeneklilik, mikro çatlaklar, düşük kimyasal uyum, vb. nedenlerle oluşan dielektrik kayıplar, malzeme içerisinde ısı merkezleri gibi davranarak termal gerilimi indüklerler. Bunun sonucunda malzeme içine giren enerjinin bir kısmı ısı enerjisi şeklinde harcanarak malzemenin ısınmasına neden olur. Karbon nanotüpler, malzeme içindeki iletim kayıplarını azaltarak malzemeyi en verimli hale getirmiş ve karbon nanotüplü malzeme diğer numuneye göre daha az ısınmıştır.



Şekil 6. Dielektrik dağılma faktörünün frekans ile değişimi.

Şekil 6’de dielektrik dağılma faktörü diğer deyişle kayıp tanjant değerlerinin frekansa bağlı değişimi gösterilmektedir. Kayıp tanjant değerleri, kayıp faktörü ile benzer biçimde davranış sergileyerek frekans ile ters orantılı biçimde değişir. Her iki dielektrik özellikteki bu azalma yüksek frekanslara gidildikçe polarizasyonların etkilerini yitirmesi ile açıklanabilir. Standart ve TDKN ile güçlendirilmiş kompozit numune için dielektrik sabitinin, dielektrik kayıp faktörünün ve kayıp tanjantın frekansın fonksiyonu olarak değişimini tanımlamak için aşağıda verilen logaritmik bir fonksiyon tanımlanmıştır.

$$y = a \cdot \ln(-b \cdot \ln x) \quad (5)$$

Burada a ve b teorik fit için hesaplanan katsayılarıdır. Tablo 1’de kompozitlerin dielektrik sabitlerinin frekansla değişim eğrisine yapılan fit parametreleri ve modelin doğruluğunu test eden düzeltilmiş belirleme katsayıları ( $R^2$ ) görülmektedir. Özellikle TDKN katkılı numuneler için elde edilen deneysel sonuçlarla logaritmik fit fonksiyonunun tutarlı olduğu ortaya konulmuştur.

**Tablo 1.** Dielektrik sabitinin frekans ile değişimi için yapılan fitteki parametreler.

Katsayılar	Standart SMC	TDKN/SMC
a	-1,1	-0,67
b	-9,8.10 <sup>-4</sup>	-8,4.10 <sup>-4</sup>
R <sup>2</sup>	0,94	0,98

Benzer şekilde Tablo 2 ve Tablo 3’de sırasıyla dielektrik kayıp faktörünün ve dielektrik dağılım faktörünün frekans ile değişimini teorik açıdan tanımlamak amacıyla yapılan fit değerleri mevcuttur.

Her iki durumda da özellikle TDKN katkılı SMC numuneleri için yapılan teorik fitlerin deneysel sonuçlarla oldukça uyumlu olduğu görülmektedir. Böylece ölçüm yapılmayan diğer frekans değerlerinde de malzemelerin dielektrik davranışları öngörülebilir hale gelmiştir.

**Tablo 2.** Dielektrik kayıp faktörü-frekans değişimi için yapılan fitteki parametreler.

Katsayılar	Standart SMC	TDKN/SMC
a	-0,69	-0,98
b	$-9,7.10^{-4}$	$-6,6.10^{-4}$
R <sup>2</sup>	0,87	0,98

**Tablo 3.** Dielektrik kayıp faktörü-frekans değişimi için yapılan fitteki parametreler.

Katsayılar	Standart SMC	TDKN/SMC
a	-0,0027	-0,0041
b	$-9,7.10^{-4}$	$-6,6.10^{-4}$
R <sup>2</sup>	0,77	0,97

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Tek duvarlı karbon nanotüp gibi iletken doğal parçacıklar ile uygun yoğunluklarda malzemeyi güçlendirme, bir kompozit malzemenin elektriksel özelliklerini kontrol edebilmenin yollarından biridir. Yapılan çalışma kapsamında standart ve TDKN ile güçlendirilmiş SMC numuneler hazırlanarak malzemelerin AC iletkenlikleri ve dielektrik özellikleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Katkısız standart numune, frekans arttıkça doğrusal olarak artan AC iletkenliği ile tipik bir yalıtım davranışı sergilerken TDKN katkılı numune için kritik eşik oranının aşıldığı ve kompozit içinde baştanbaşa bir iletkenlik ağının oluştuğu gözlenmiştir. Diğer bir çıkarım da TDKN ilave edilen malzemenin AC iletkenliklerinin neredeyse frekandan bağımsız olmasıdır.

Düşük frekanslarda numunelerin homojen olmayan içyapıları ve malzemede meydana gelen polarizasyonlar nedeniyle dielektrik sabiti ve dielektrik kayıpların yüksek olduğu, frekansın artmasıyla da polarizasyonların etkilerini kaybederek dielektrik sabitlerinin ve kayıplarının azalmasına yol açtığı ortaya konulmuştur. Özellikle TDKN katkılı numune için elde edilen sonuçların yapılan fitlerle de uyumlu olduğu gösterilmiştir.

Yapılan hesapların ve elde edilen bulguların ışığında TDKN katkılı malzemenin, yarıiletken malzemelerin kullanıldığı mikrodalga soğurucu malzeme tasarımı gibi uygulamalar için ideal olduğu ortaya konulmuştur. Benzer şekilde mikroelektronik alanında kapasitör gibi dielektrik özellik gerektiren uygulamalar için ise standart SMC malzemelerinin verimlilik açısından ön plana çıktığı görülmektedir. Sonraki çalışmalarda farklı katkılama konsantrasyonlarında bu malzemelerin iletkenlik ve dielektrik davranışları incelenebileceği gibi farklı sıcaklıklarda optimum çalışma şartları da belirlenebilir.

#### Teşekkür

Yazarlar çalışma sırasında kullanılan takviye malzemelerinin temininde ve numunelerin üretilmesindeki katkılarından dolayı Literatür Kimya'ya teşekkürlerini sunar.

#### 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] Cooper C.A., Young R.J., Halsall M. 2001. Investigation into the deformation of carbon nanotubes and their composites through the use of Raman spectroscopy. *Composites Part A*, 32: 401-411.
- [2] Chen W., Tao X., Liu Y. 2006. Carbon nanotube-reinforced polyurethane composite fibers. *Composites Science and Technology*, 66: 3029-3034.
- [3] Shen Z., Bateman S., Wu D.Y., McMahon P., Olio M.D., Gotama J. 2009. The effects of carbon nanotubes on mechanical and thermal properties of woven glass fibre reinforced polyamide-6 nanocomposites. *Composites Science and Technology*, 69: 239-244.
- [4] Gnidakoung R.J.N., Kim M., Park H.W., Park Y.B., Jeong H.S., Jung Y.B., Ahn S.K., Han K., Park J.M. 2013. Electromagnetic interference shielding of composites consisting of a polyester matrix and carbon nanotube-coated fiber reinforcement. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 50: 73-80.
- [5] Ounaies Z., Park C., Wise K.E., Siochi E.J., Harrison J.S. 2003. Electrical properties of single wall carbon nanotube reinforced polyimide composites. *Composites Science and Technology*, 63: 1637-1646.
- [6] Ahmad K., Pan W., Shi S.L. 2006. Electrical conductivity and dielectric properties of multiwalled carbon nanotube and alumina composites. *Applied Physics Letters*, 89: 133122-1-3.
- [7] Pathania D., Singh D. 2009. A review on electrical properties of fiber reinforced polymer composites. *International Journal of Theoretical & Applied Sciences*, 1: 34-37.
- [8] Barrau S., Demont P., Peigney A., Laurent C., Lacabanne C. 2003. DC and AC conductivity of carbon nanotubes-polyepoxy composites. *Macromolecules*, 36: 5187-5194.
- [9] Coleman J.N., Curran S., Dalton A.B., Davey A.P., McCarthy B., Blau W. 1998. Percolation-dominated conductivity in a conjugated-polymer-carbon nanotube composite. *Physical Review B-Condensed Matter Physics*, 58: 7492-7495.
- [10] Dang Z.M., Shehzad K., Zha J.W., Hussain T., Jun N., Bai J. 2011. On refining the relationship between aspect ratio and percolation threshold of practical carbon nanotubes/polymer nanocomposites. *Japanese Journal of Applied Physics*, 50: 080214.
- [11] Yuan X. 2007. Experimental study of electrical conductivity of carbon nanotube, nanofiber buckypapers and their composites. MSc Thesis, Florida State University, Department of Industrial & Manufacturing Engineering, U.S.
- [12] Dyre J. Schroder T. 2000. Universality of ac conduction in disordered solids. *Reviews of Modern Physics*, 72: 873-892.
- [13] Akram M., Javed A., Rizvi T.Z. 2005. Dielectric properties of industrial polymer composite materials. *Turkish Journal Physics*, 29: 355-362.
- [14] Yang Q., Liu L., Hui D., Chipara M. 2016. Microstructure, electrical conductivity and microwave absorption properties of g-FeNi decorated carbon nanotube composites. *Composites Part B*, 87: 256-262.
- [15] Pethrick R.A., Hayward D. 2002. Real time dielectric relaxation studies of dynamic polymeric systems. *Progress in Polymer Science*, 27: 1983-2017.
- [16] Li Y., Cordovez M., Karbhari V.M. 2003. Dielectric and mechanical characterization of processing and moisture uptake effects in E-glass/epoxy composites. *Composites Part B*, 34: 383-390.
- [17] Chen Y., Wang S., Pan F., Zhang J. 2014. A numerical study on electrical percolation of polymer-matrix composites with hybrid fillers of carbon nanotubes and carbon black. *Journal of Nanomaterials*, 2014: 1-9.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Üst İyonküredeki 'O<sup>+</sup> + N<sub>2</sub>' Reaktif Çarpışmasına Ait Kayıp Terimlerinin Değişimlerinde Güneş Tutulması Etkisinin İncelenmesi

Mehmet YAŞAR\*

*Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Elazığ  
(ORCID: 0000-0002-2758-3635)*

---

### Öz

Dünya iyonküresi üzerindeki güneş tutulma etkilerinin incelenmesi tutulma süresince iyonküre yapısındaki ani ve orta ölçekli değişimler ile ilgili oldukça önemli bilgi kaynağı sağlar. Bu çalışmada Kharkov şehrinde (49.6°K, 36.3°D) 29 Mart 2006 tarihinde gözlemlenen güneş tutulmasının 'O<sup>+</sup> + N<sub>2</sub> → NO<sup>+</sup> + N' reaktif reaksiyona ait kayıp terimleri üzerindeki etkisi yüksekliğe (252, 303, 353 ve 399 km) ve zamana (evrensel zaman dilimine göre saat 09.00'dan 12.30'a kadar) bağlı olarak incelenmiştir. İncelemeler sonucunda kayıp terimlerinin her üç gün içinde (28, 29, 30 Mart) yükseklikle ters orantılı bir şekilde değiştiği görülmüştür. 29 Mart gününde tam tutulmanın meydana geldiği zaman aralığında kayıp teriminin azaldığı görülmüştür. İyonküre üzerindeki güneş tutulma etkisinin tutulmadan sonraki günde önceki güne nazaran daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İyonküre, güneş tutulması, reaksiyon süreçleri.

---

## Investigation of the Solar Eclipse Effect on the Changes of the Loss Terms for 'O<sup>+</sup> + N<sub>2</sub>' Reactive Collision in the Upper Ionosphere

### Abstract

The examining the effect of solar eclipses on the earth ionosphere provides a very important source of information about sudden and medium-scale changes in the ionosphere structure during a solar eclipse. In this study, the effect of solar eclipse observed on March 29, 2006 in Kharkov city (49.6° N, 36.3° E) on loss terms of O<sup>+</sup> + N<sub>2</sub> → NO<sup>+</sup> + N reactive reaction was investigated depending on the altitude (252, 303, 353 and 399 km) and time (UT from 09.00 to 12.30). As a result of the investigations, it was seen that the loss terms change inversely with the height within every three days (28, 29, 30 March). It was observed that the loss term decreased during the time period when the total eclipse occurred on the March 29. It has been found that the solar eclipse effect on the ionosphere is greater on the day after the eclipse than the day before.

**Keywords:** Ionosphere, solar eclipse, reaction processes.

---

### 1. Giriş

Güneş tutulması özellikle tutulmanın öncesi ve sonrasında meydana gelebilecek ani değişimler ile ilgili iyonküresel süreçlerin araştırılmasında eşsiz fırsatlar sunar [1]. Güneş tutulmasından dolayı iyonkürenin yapısında bozulmalar meydana geldiği için, pek çok araştırmacı iyonkürenin tutulmaya karşı verdiği tepkinin ölçülmesi üzerine çok sayıda model, teori ve gözlemler gerçekleştirmişlerdir. Atmosferik iyonlaşma süreçleri üzerindeki güneş ışımalarının önemi, güneş tutulması süresince iyonküresel değişimler üzerine yapılan teorik araştırmalarla ortaya konmuştur [2,3]. Kharkov şehrinde kurulu olan iyonküre enstitüsüne ait Kharkov Incoherent Scatter Radar'a ait ölçüm verileri iyonküre üzerindeki güneş tutulması etkilerinin gözlemlenmesi amacıyla birçok çalışmada kullanılmıştır [4-9].

Tutulma etkisinin incelenmesi güneş ışımalarının artış ve azalışlarında görülen ani değişimlerinden dolayı iyonküredeki dinamik ve fotoiyonlaşma süreçleri gibi önemli olayların

---

\*Sorumlu yazar: [mehmetyasar@firat.edu.tr](mailto:mehmetyasar@firat.edu.tr)

Geliş Tarihi: 17.12.2020, Kabul Tarihi: 21.03.2021

araştırılmasına büyük katkı sağlar. Tutulma süresince iyonküredeki dinamik süreçler zamana, jeofiziksel şartlara ve güneşte görülen değişimlere kuvvetli bir şekilde bağlıdır. Fotoiyonlaşma ve nötr gaz salınımındaki değişimler iyonkürenin doğal yapısında ani bozulmalara sebep olur. Dahası, tutulma boyunca iyonkürenin yapısında meydana gelen değişmelerin araştırılması ve gözlemlenmesi elektromanyetik dalga yayılımına ilaveten çarpışma, difüzyon, ayrılma, yeniden birleşme, taşınma, kayıp ve kazanç süreçlerinin anlaşılmasına çok büyük katkı sağlar [1].

İyonküre  $N_2$ ,  $O_2$  ve  $O$  gibi atmosferik gazların iyonlaşmaları ile şekillenir. İyonküredeki net elektron yoğunluğu kayıp ve üretim süreçlerinin göreceli hızlarına bağlıdır. Gerek E gerekse de F bölgesinde elektron ve iyon kayıpları moleküler iyonlar vasıtasıyla meydana gelir. E bölgesinin yeniden birleşme reaksiyonları aşağıdaki gibidir:



F bölgesinde başlıca temel parçacık, yük değişim reaksiyonları tarafından moleküler iyonlara dönüştürülen,  $O^+$  iyonudur [10]. Yük değişim reaksiyonlarına ait taşınma, çarpışma, kazanç ve kayıp süreçlerinin araştırılması ve incelenmesi hem gece F bölgesinin sürekliliğine hem de mevsimsel anormalliklere katkı sağlar.

Bu çalışmada yük değişim reaksiyonlarından biri olan ' $O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$ ' reaksiyonu için Kharkov Incoherent Scatter Radar'dan alınan ölçüm verileri ve NRLMSISE-00 atmosfer modelinden elde edilen nötr yoğunluklar ışığında hesaplanan kayıp süreçleri üzerinde 29 Mart 2006 tarihli güneş tutulmasının etkisi incelenmiştir. Plazma fiziksel (klasik) yöntemler kullanılarak elde edilen tüm sonuçlar 252, 303, 353 ve 399 km'lik yüksekliklere göre ve evrensel zaman dilimi içinde (universal time) saat 09.00 ile 12.30 arasındaki zaman aralıkları referans alınarak hesaplanmıştır. Bu yükseklik ve zaman aralıklarında çalışılma sebebi, tutulma etkisinin elde edilen sonuçlar üzerinde daha net bir şekilde gözlemlenmesinden dolayıdır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. 29 Mart 2006 Güneş Tutulması

29 Mart 2006 tarihindeki güneş tutulması dünyanın yarısını kat eden dar bir bant içinde gözlemlenmiştir. Ukrayna için 29 Mart 2006 güneş tutulması, güneş diskindeki yaklaşık % 77.4'lük örtülmeden dolayı kısmi bir tutulmadır. Bu çalışmanın konusu olan Ukrayna'nın Kharkov şehrinde gözlemlenen parçalı tutulma evrensel zaman dilimine (UT) göre 10.02'de başlayarak 12.21'e kadar devam etmiştir. Kharkov'daki güneş tutulması süresi toplamda 2 saat 18 dakika sürmüştür. Maksimum örtülme yaklaşık 11.12 ile 11.15 (UT) civarında meydana gelmiştir [6]. 29 Mart 2006 tarihli güneş tutulması % 77.4'lük kısmi bir örtülme orana sahip Ukrayna'nın aksine yerkürenin bazı konumlarında % 100'lük tam bir tutulma olarak gözlemlenmiştir. Tam tutulmanın görüldüğü bir konumun değil de kısmi tutulmanın görüldüğü Ukrayna/Kharkov şehrinin seçilmesi, ölçüme dayalı veriler sunan Kharkov Incoherent Saçılma Radarının bu şehirde bulunmasından dolayıdır.

### 2.2. Kharkov Incoherent Saçılma Radarı (Kharkov IS Radar)

Kharkov şehrinde 90 km uzaklıkta kurulmuş IS radar Avrupa'nın doğusunda iyonküresel plazma değişimlerini kontrol eden süreç ve parametreler üzerinde oldukça yüksek bir bilgi kaynağı sağlamaktadır. IS radarın coğrafi koordinatları 49.6 kuzey enlemleri ile 36.3 doğu boylamlarıdır. Kharkov IS radarı belirli iyonküresel yükseklik aralıklarında elektron yoğunluğu ( $N_e$ ), elektron sıcaklığı ( $T_e$ ), iyon sıcaklığı ( $T_i$ ) ve yüklü parçacık taşınma hızının dik bileşeni ( $V_z$ ) gibi önemli iyonküresel parametrelerin ölçümünde oldukça önemli bir ölçüm aracıdır [6].

### 2.3. Kayıp Süreçleri

Gerek teorik gerekse de deneysel yöntemlerle iyonküre kimyasının analizi ani sinyal kesilmeleri, iyonküresel çarpışma süreçleri, meteor yağmurları, ay ve güneş tutulmaları süresince yoğunluk, sıcaklık ve enerji düzenindeki değişimler gibi çeşitli sayıdaki faktörlerden dolayı büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada güneş tutulması süresince reaktif çarpışmalar için kayıp süreçleri araştırılmıştır. Reaktif çarpışmalar özellikle üst iyonküre için çok önemlidir. Reaktif çarpışmalar oldukça karmaşık süreçlerdir çünkü bu süreçlere ait reaksiyon tesir kesitlerinin hesaplanması hem kuantum mekaniksel hem de plazma fiziksel (klasik) olarak oldukça zordur. Bu bakımdan reaktif çarpışmalar için kayıp süreçlerinin hesaplanması önemlidir [11-14].

F bölgesi kayıp mekanizması baskın iyon olan  $O^+$  ve elektronların ( $e^-$ ) nötr atmosferle etkileşimleri vasıtasıyla iki aşamalı bir süreç ile meydana gelir. Birinci aşama, bu çalışmanın da temelini oluşturan iyon-atom iç değişim süreci (1) veya yük transfer reaksiyonundan (2) biridir:



Kayıp katsayısı  $\beta$  reaksiyon hız sabiti ( $k$ ) ile nötr konsantrasyonun çarpımından elde edilir:

$$\beta = k \cdot N \quad (6)$$

Burada  $k$ , reaksiyon hız sabitini ve  $N$ , yoğunluğu ifade eder [15].

Mendillo ve Forbes'in 1978 yılında ortama hidrojen verilerek yapılan çalışmalarında, kaybın temel kaynağının  $H_2$  ve atomik oksijen arasındaki etkileşimden kaynaklandığını ortaya koymuşlardır. Bu durumda kayıp terimi:

$$L = \beta \exp\left(-\frac{h-h_0}{H_0}\right)N \quad (7)$$

Burada  $H_0$ , atmosferik ölçek yüksekliğini,  $h$  yüksekliği ve  $h_0$  ölçüme başlanılan yüksekliği ifade eder. Bu sonuçtan hareketle kabaca kayıp terimi yazılacak olunursa;

$$L = \beta \cdot N \quad (8)$$

olarak ifade edilir [16].

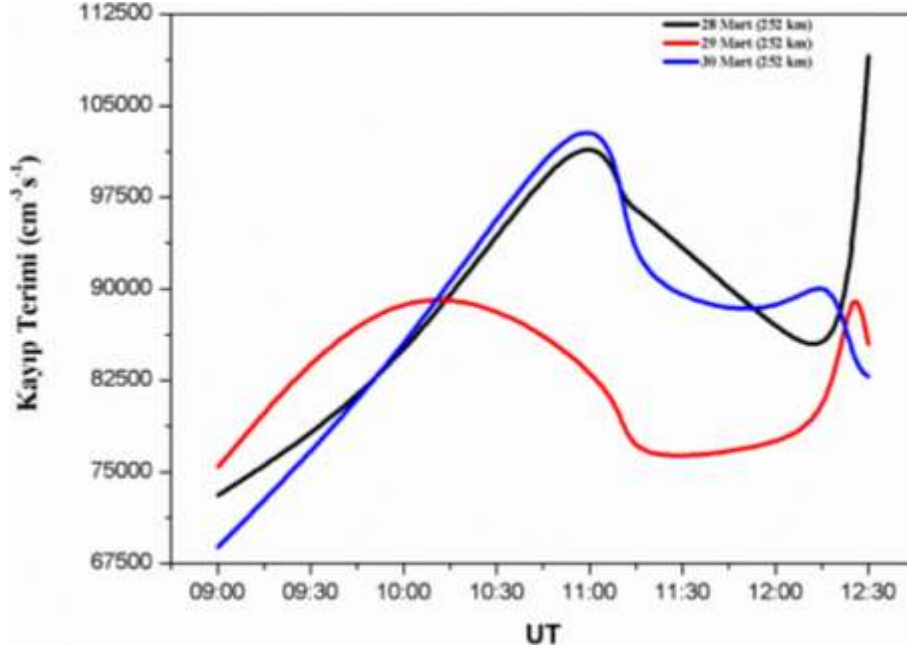
### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, 29 Mart 2006 tarihinde Kharkov'da gözlemlenen güneş tutulması etkisinin ' $O^+ + N_2$ ' reaktif çarpışmasına ait kayıp terimleri üzerinde oluşturduğu zamana ve yüksekliğe bağlı değişimleri incelendi. Öncelikle değişen sıcaklıklarda meydana gelen bu reaksiyonun hız sabitlerinin elde edilmesinin ardından denklem (6)'dan kayıp katsayıları bulundu ve bu katsayılar (8) denklemine yerine konularak kayıp terimleri hesaplandı. Kayıp terimleri (KT) 28 (tutulmadan önceki gün), 29 (tutulma günü) ve 30 (tutulmadan sonraki gün) Mart tarihlerinde UT 09.00 dan 13.00'a kadar değişen zaman aralıklarında, 252, 303, 353 ve 399. km'ler için ayrı ayrı hesaplandı.

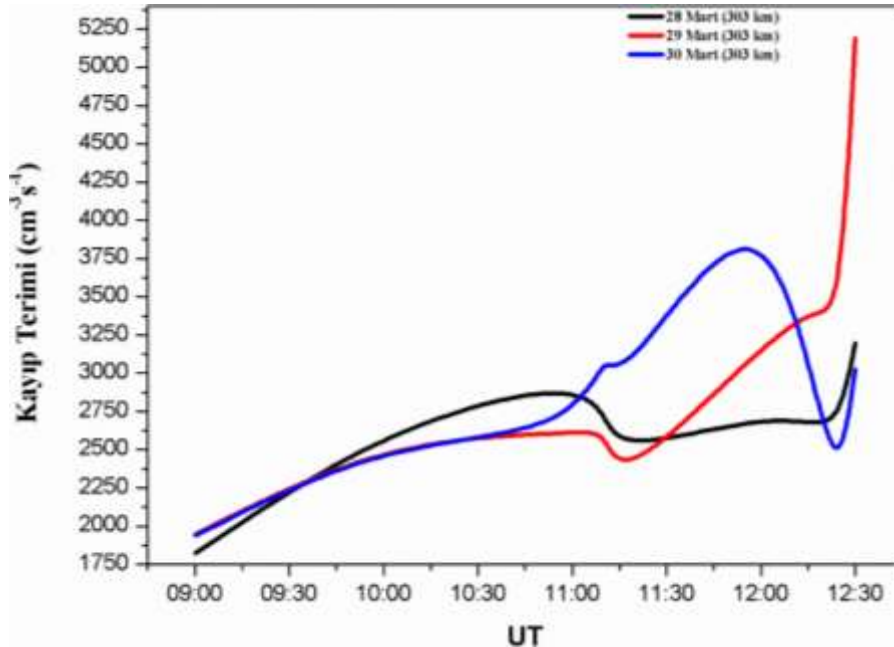
Şekil 1; 252 km'lik yükseklik için 28, 29 ve 30 Mart 2006 günlerindeki kayıp terimlerinin zamana göre değişimlerini göstermektedir. 28 ve 30 Mart tarihlerindeki kayıp terimindeki değişimlerin saat 09.00'dan yaklaşık 12.00'a kadar benzer olduğu ancak UT 12.00'dan itibaren değişimlerin farklılaştığı Şekil 1'den görülmektedir. Tutulma günü olan 29 Mart tarihindeki değişimlere bakıldığında, KT'nin UT 10.15 civarında maksimum değerine ulaştığı ve hemen sonrasında düşüşe geçerek UT 11.15 civarında minimum değerini aldığı görülmüştür. KT saat 12.15 civarında tekrardan artış göstererek ikinci bir maksimuma ulaşmış ve sonrasında azalmıştır.

Şekil 2'de 303 km'lik yükseklik için 28, 29 ve 30 Mart 2006 tarihlerindeki kayıp terimlerinin zamanla değişimleri gösterilmektedir. Üç gün içinde gözleme başlama zamanı olan 09.00'dan 11.00

civarına kadar KT'lerde görülen değişimlerin benzer olduğu ancak saat 11.00'dan itibaren 30 Mart'taki gözlem eğrisinin farklılaşmaya başladığı tespit edilmiştir. Bu farklılaşma ile birlikte KT maksimum değerine saat 11.45 ile 12.00 arasında ulaşmış ve hemen sonrasında düşüşe geçtiği Şekil 2'den görülmektedir. Başlangıç zamanından bitiş zamanına kadar 28 ve 29 Mart'taki KT değişim eğrilerinin benzer oldukları sadece tutulma günündeki değişim şiddetinin tutulmadan önceki güne kıyasla daha fazla olduğu gözlenmiştir. KT, 29 Mart gününde ve tam tutulmanın meydana geldiği 11.00 ile 11.15 zaman aralığında minimuma düşmüştür.



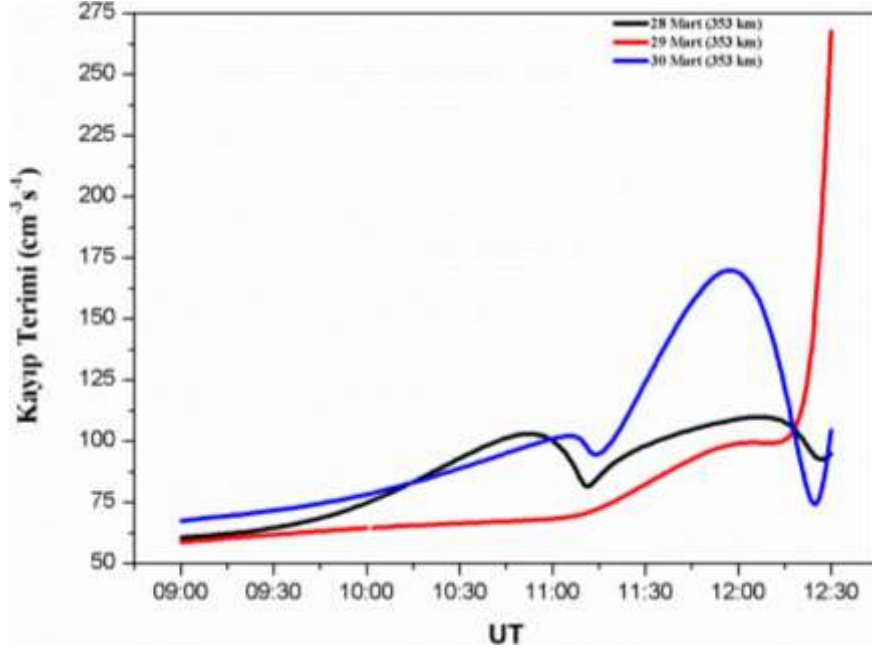
Şekil 1. 252 km yükseklik için 28, 29 ve 30 Mart 2006 günlerindeki kayıp terimlerinin zamana göre değişimi



Şekil 2. 303 km yükseklik için 28, 29 ve 30 Mart 2006 günlerindeki kayıp terimlerinin zamana göre değişimi

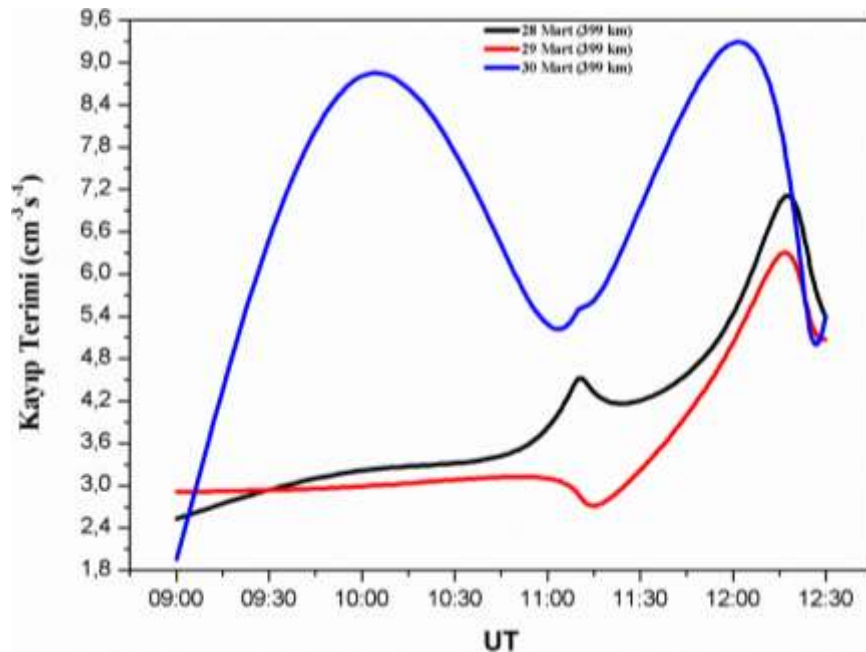
Şekil 3; 28, 29 ve 30 Mart 2006 tarihleri için 353 km yükseklikteki kayıp terimlerinin UT 09.00'dan başlayarak 12.30'a kadar olan değişimlerini göstermektedir. 28 ve 30 Mart günlerinde KT'lerdeki değişimlerin benzer olduğu fakat 30 Mart'taki değişim şiddetinin 28 Mart'a göre daha fazla olduğu Şekil 3'ten tespit edilmiştir. Tutulma günü olan 29 Mart tarihinde KT değişim eğrisinin gözlem

başlangıç zamanından tutulma zamanına kadar sabit bir değişim seyri gösterdiği, tam tutulma zamanı içinde hafif bir düşüş göstererek hemen sonrasında yüksek bir artış trendi içine girdiği Şekil 3'ten tespit edilen bir diğer noktadır.



Şekil 3. 353 km yükseklik için 28, 29 ve 30 Mart 2006 günlerindeki kayıp terimlerinin zamana göre değişimi

Ölçüm ve hesaplama yapılan son yükseklik olan 399 km yükseklikteki kayıp terimlerinin 28, 29 ve 30 Mart'taki değişimleri ise Şekil 4'te gösterilmiştir. Her üç gün içinde gözleme başlanılan zaman olan UT 09.00'dan 12.30'a kadar KT değişim eğrilerinde yer yer benzerlikler yer yer farklılıklar tespit edilmiştir. Özellikle saat 11.15'ten itibaren eğrilerdeki artışın maksimuma ulaşarak sonrasında azalmaya başlaması tespit edilen benzerlikler iken, UT 09.00'dan 11.15'e kadar olan değişimlerde tespit edilen farklılıklardır. 28 ve 30 Mart günlerinde iki maksimum pik görülmüş ancak bu maksimum pikler farklı zaman aralıklarında görülmüştür. Tutulma günü olan 29 Mart gününde saat 09.00'dan tam tutulma anına kadar KT eğrisinin yatay bir şekilde değiştiği ve tam tutulma zaman aralığı içinde minimuma düşmüş sonrasında artış göstermiştir.



Şekil 4. 399 km yükseklik için 28, 29 ve 30 Mart 2006 günlerindeki kayıp terimlerinin zamana göre değişimi

#### 4. Sonuç ve Öneriler

29 Mart 2006 tarihinde meydana gelen güneş tutulmasının iyonküresel kayıp süreçlerinden biri olan kayıp terimi üzerindeki etkisinin incelendiği bu çalışmada, iyonküresel yükseklik arttıkça kayıp teriminin azaldığı yani kayıp terimi ile yüksekliğin ters orantılı bir şekilde değiştiği görüldü. 29 Mart tarihinde tam örtülmenin UT 11.00 ile 11.15 arasında gerçekleştiği göz önüne alındığında özellikle bu zaman aralığında tüm yüksekliklerde kayıp terimi azalmıştır. İki maksimum noktanın gözlemlendiği 252. km'ye ait ölçüm ve hesaplamalar en fazla dalgalanmanın gözlemlendiği yükseklik olarak tespit edilmiştir. Her dört yükseklik için 28 ve 30 Mart tarihlerindeki maksimum ve minimum noktalarda göz önüne alındığında, 28 Mart'a ait grafik eğrilerinin 30 Mart'a ait eğrilere kıyasla daha yatay bir seyir izlediği ve bu nedenle 30 Mart'taki artış ve azalışların 29 Mart'taki değişimlere daha yakın olduğu tespit edildi. Bu durum güneş tutulmasının önceki güne nazaran sonraki günde iyonküresel değişimler üzerinde daha etkin olduğunu ortaya koymaktadır.

Gerek parçalı tutulma gerekse de tam tutulma etkisinin kayıp terimleri üzerinde en net gözlemlendiği yükseklikler 252 ve 399. km'lerdir. Her iki yüksekliğe ait grafikler dikkatle incelendiğinde 'O<sup>+</sup> + N<sub>2</sub>' çarpışmasına ait kayıp, ölçüm başlangıç zamanı olan saat 09.00'dan parçalı tutulmanın başladığı saat 10.00'a kadar artarken, parçalı tutulma ile tam örtülmenin gerçekleştiği zaman aralığında azaldığı oldukça net bir şekilde gözlenmiştir. Bununla birlikte tam örtülmenin sona ermesiyle kaybın arttığı ve bu artışın parçalı tutulma bitiş zamanı olan UT 12.20 civarına kadar devam ettiği görülmüştür. Parçalı tutulmanın sona ermesiyle de kayıp tekrardan düşüşe geçmiştir. Bu düşüşün sebebi Kharkov şehrinde akşam saatlerine yaklaşıması ve dolayısıyla güneş etkisinin azalmasına bağlanabilir. Yapılan hesaplamalar ışığında bu çalışmada çizilen grafikler, hem parçalı tutulmanın hem tam tutulmanın hem de tutulmanın sona erdiği kısacası güneş etkisinin değişkenlik gösterdiği tüm zaman dilimlerinde iyonküredeki güneş etkisinin gözlemlenmesi noktasında oldukça hassas değişimler göstermişlerdir.

Güneşin atmosfer ve özellikle de iyonküredeki tüm değişimler üzerinde en etkin parametre olduğu göz önüne alındığında güneş tutulmalarının iyonküre üzerindeki etkilerinin dikkatle incelenmesi gerekmektedir. Bu incelemeler esnasında özellikle direkt ölçüme dayalı verilerin kullanılması yapılacak olan çalışmaların kalitesini ve doğruluğunu artıracaktır. Bu sebeple mevcut çalışmada Kharkov Incoherent Scatter Radar ölçümleri ile yapılan hesaplamalar bu çalışmaya da konu olan iyonküredeki reaksiyon süreçlerinin değişim ve etkilerinin tespitine sağlayacağı katkı göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir.

#### Teşekkür

Yazar Kharkov Incoherent Scatter Radar çalışanlarına ve nötr yoğunlukların elde edilmesinde kullanılan NRLMSISE-00 atmosfer modeli için modelleme merkezi yönetimine teşekkür eder.

#### Yazarların Katkısı

Makalede tüm katkı yazara aittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Chukwuma V.U., Adekoya B.J. 2016. The effects of March 20 2015 solar eclipse on the F2 layer in the mid-latitude. *Advances in Space Research*, 58 (9): 1720-1731.
- [2] Rishbeth H. 1968. Solar eclipses and ionospheric theory. *Space Science Reviews*, 8: 543-554.

- [3] Oliver W.L., Bowhill S.A. 1974. The F1 region during a solar eclipse. *Radio Science*, 9 (2): 189-195.
- [4] Taran V.I., Bogovsky V.K., Lysenko V.N., Grigorenko Ye.I., Emelyanov L.Ya. 2001. Investigation of circumterrestrial space by means of incoherent scatter radar. *Space Science and Technology*, 7 (2): 36-41.
- [5] Yemelyanov L.Ya., Dzyubanov D.A. 2007. The peculiarities of mid-latitude ionosphere plasma drift velocity determination. *Telecommunications Radio Engineering*, 66 (14): 1313-1327.
- [6] Grigorenko E.I., Lyashenko M.V., Chernogor L.F. 2008. Effects of solar eclipse of March 29, 2006, in the ionosphere and atmosphere. *Geomagnetism and Aeronomy*, 48 (3): 337-351.
- [7] Chernogor L.F., Grigorenko Ye.I., Lyashenko M.V. 2011. Effects in geospace during partial solar eclipses over Kharkiv. *International Journal of Remote Sensing*, 32 (11): 3219-3229.
- [8] Lyashenko M.V., Chernogor L.F. 2013. Solar eclipse of August 1, 2008, over Kharkov: 3. Calculation results and discussion. *Geomagnetism and Aeronomy*, 53 (3): 367-376.
- [9] Chernogor L.F. 2019. Physical processes in the ionosphere during the solar eclipse on March 20, 2015 over Kharkiv, Ukraine (49.6° N, 36.3° E). *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 182: 1-9.
- [10] Hunsucker R.D., Hargreaves J.K. 2003. *The high-latitude ionosphere and its effects on radio propagation*, Cambridge University Press, New York, 1-613.
- [11] Sağır S., Yaşar M., Atici R. 2019. The Relationship between Dst, IMF-Bz and Collision Parameters for  $O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$  Reactive Scattering in the Ionosphere. *Geomagnetism and Aeronomy*, 59 (8): 1003-1008.
- [12] Yaşar M., Canyılmaz M. 2018. Investigations of Chemical Processes of  $O^+ + H_2 (V = 0, J = 0)$  Reaction Using Thermal Variation in the Ionospheric Regions. *Thermal Science*, 22 (1): 47-53.
- [13] Yaşar M. 2021. The Change of Diffusion Processes for  $O^+ + N_2 \rightarrow NO^+ + N$  Reaction in the Ionospheric F Region During the Solar Eclipse Over Kharkov. *Thermal Science*, 25 (1): S51-S56.
- [14] Yaşar M. 2017. Kuantum mekaniksel yaklaşım ile iyonküredeki  $O^+ + H_2 \rightarrow OH^+ + H$  reaksiyonunun incelenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [15] Mendillo M., Hawkins G.S., Klobuchar J.A. 1975. A Sudden Vanishing of the Ionospheric F Region Due to the Launch of Skylab. *Journal of Geophysical Research*, 80 (16): 2217-2228.
- [16] Mendillo M., Forbes J.M. 1978. Artificially created holes in the ionosphere. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 83: 151-162.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **4-butoxybenzylidene-4'-butylaniline (BBBA) Sıvı Kristalinin Geniş Sıcaklık Aralığında İncelenmesi: Optik, Dielektrik, Kalorimetrik ve Kızılötesi Spektroskopik Analiz**

Atilla Eren MAMUK\*, Nejmettin AVCI

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 48000, Muğla, Türkiye  
(ORCID: 0000-0002-1524-3342) (ORCID: 0000-0001-9189-1176)*

---

### **Öz**

Bu çalışmada nematik ve farklı smektik mezofazlar sergileyen alkyloxy benzylidene alkylanilines sınıfına ait Schiff bazlı 4-butoxybenzylidene-4'-butylaniline (BBBA) sıvı kristalinin bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir. Literatürde BBBA sıvı kristali üzerine çalışmalar oldukça az ve yetersizdir. Bu amaçla, morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için optik tekstürleri mezofaz bölgelerinde ve faz geçiş bölgelerinde incelenmiştir. Optik tekstür analizlerinden BBBA'nın sergilediği mezofazlarda ortaya çıkan desenler belirlenmiştir. Ayrıca, dielektrik ölçümler ısıtma ve soğutma durumları için ayarı ayrı incelenerek her iki durum için dielektrik anizotropinin her bir mezofaz bölgesinde nasıl davrandığı araştırılmıştır. Yapılan araştırmalarda ısıtma ve soğutma durumlarında faz geçişler için termal histerezisin varlığı ortaya konulmuştur. Sıvı kristalik özellik sergilediği sıcaklık aralığında birçok mezofazın ortaya çıktığı BBBA'nın kızılötesi spektroskopik ölçümleri gerçekleştirilerek molekülün temel titreşim modları analiz edilmiştir. Ayrıca, BBBA'nın diferansiyel tarama kalorimetrisi yöntemi ile kalorimetrik ölçümleri hem ısıtma hem de soğutma durumları için yapılarak faz geçiş sıcaklıkları ve faz aralığı belirlenmiştir. Elde edilen kalorimetrik sonuçlar dielektrik ölçümlerden elde edilenler ile kıyaslanmıştır. Birçok mezofazı sergilemesi ve hakkında literatürde yeterince çalışmanın olmaması dolayısıyla BBBA sıvı kristali bilimsel araştırmalarda üzerine daha fazla araştırma yapılması gereken bir sıvı kristaldir.

**Anahtar kelimeler:** Sıvı kristaller, dielektrik, optik, DSC, FTIR, tekstür

---

## **Examination of 4-butoxybenzylidene-4'-butylaniline (BBBA) Liquid Crystal in Wide Temperature Range: Optical, Dielectric, Calorimetric and Infrared Spectroscopic Analysis**

### **Abstract**

In this study, some physical properties of Schiff-based 4-butoxybenzylidene 4'-butylaniline (BBBA) liquid crystal belonging to alkyloxy benzylidene alkylanilines class with nematic and different smectic mesophase were investigated. Studies on BBBA liquid crystal are very few and insufficient in the literature. Due to this case, optical textures were examined in mesophase regions and phase transition regions to determine morphological properties. Patterns emerging in the mesophase exhibited by BBBA were determined from the optical texture analysis. In addition, the dielectric measurements were examined separately for heating and cooling conditions, and how the dielectric anisotropy behaves in each mesophase region for both cases. In the researches, the existence of thermal hysteresis for phase transitions in heating and cooling conditions has been revealed. The infrared spectroscopic measurements of the BBBA, in which many mesophases emerge in the temperature range in which it exhibits liquid crystalline properties, were performed and the fundamental vibration modes of the molecule were analyzed. In addition, the calorimetric measurements of the BBBA with the differential scanning calorimetry method were made for both heating and cooling conditions, and phase transition temperatures and phase range were determined. The calorimetric results obtained were compared with those obtained from dielectric measurements. The BBBA liquid crystal is a liquid crystal that needs more research in scientific research due to the fact that it exhibits many mesophase and there are not enough studies in the literature.

**Keywords:** Liquid crystals, dielectric, optic, DSC, FTIR, texture

---

\*Sorumlu yazar: [aemamuk@mu.edu.tr](mailto:aemamuk@mu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 27.12.2020, Kabul Tarihi: 05.05.2021



## 1. Giriş

Sıvı kristaller anizotropik karakterleriyle bilinen ve bu karakteriyle çeşitli fiziksel özelliklere sahip önemli bir malzeme sınıfını temsil ederler. Halihazırda sıvı kristal ekranlar ve polimerle dağınık sıvı kristaller gibi pek çok görüntüleme ve görselleştirme teknolojisi alanında uygulanmaktadır [1-3]. Bazı sıvı kristaller, moleküler elektronik alanında çeşitli uygulamalar öneren yararlı yarı iletken özelliklere sahiptir. Bu moleküller, fotovoltaik cihazlarda aktif katmanlar olarak kullanımları için gerekli özellikleri sağlar [4]. Sıvı kristaller ayrıca yeni holografik tekniklere göre veri depolama alanındaki ilginç malzemeleri temsil etmektedirler [5].

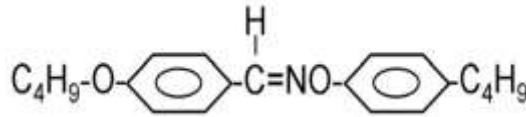
Moleküllerinin düzen derecesine bağlı olarak sıvı kristaller farklı alt fazlar sergileyebilirler. Bu alt fazlar mezofaz olarak adlandırılmaktadır. Sıvı kristal moleküllerinin dinamikleri bir mezofazdan diğerine geçişten etkilenmektedir [1]. En basit sıvı kristal faz olarak değerlendirilen nematik (N) mezofazda zayıf yönelimsel düzen mevcuttur. Söz konusu mezofazda moleküller ortalama olarak bir  $n$  yön vektörü boyunca dizilirler. Sıvı kristallerde farklı moleküler düzen ve yönelimine sahip birçok smektik mezofaz bulunmaktadır. Smektik mezofazlarda moleküller ortalama olarak ağırlık merkezleri boyunca dizilerek katmanlı yapı oluşturmaktadırlar. Smektik yapıda eğer yön vektörü molekül tabakalarına dik şekilde yönelmiş ise bu tür mezofaz smektik A (SmA) olarak adlandırılmaktadır. Eğer yön vektörü söz konusu katmanlara  $90^\circ$ 'den farklı bir açı ile yönelmiş ise bu tür mezofaz ise smektik C (SmC) mezofazı olarak adlandırılmaktadır. 2-boyutlu sıvı kristaller olarak da değerlendirilen SmA ve SmC sıvı kristallerinde katmanlar içindeki moleküler konumlar arasında, tipik olarak birkaç moleküle karşılık gelen bir mesafe boyunca yalnızca kısa menzilli korelasyon vardır [6]. Smektik B (SmB) ise bileşen molekülleri hegzagonal bir düzeni benimseyen fakat hegzagonal örgülerin sadece  $\sim 150-600 \text{ \AA}$  üzerinde tekrar eden konumsal düzene sahip olduğu SmA'nın daha düzenli halidir. Tüm bu smektik fazlarının dışında farklı kristal düzenlere kısmen sahip smektik mezofazlar da bilinmektedir [7]. Bu gibi termodinamik olarak kararlı mezofazlar hareketli doğaları yani akışla karakterize edilmektedirler. Bunun yanı sıra optiksel ve diğer anizotropilerini göstermeleri ile tanımlanmaktadır. Mezofazlarda normal katı kristallere göre moleküller arası etkileşim çok küçüktür. Ayrıca, smektik-smektik, smektik-nematik veya nematik-izotropik sıvı fazları arası geçişlerde tanımlanan ısı, katı kristal-mezofaz geçişine kıyasla çok küçüktür. Mezofazlar için yapılan kalorimetrik çalışmalar mezofaz ve izotropik fazlar arası faz geçişin yakınlarındaki geçiş öncesi etkileri göstermesi açısından oldukça kıymetlidir [8].

*4-butoxybenzylidene-4'-butylaniline* (BBBA) sıvı kristali *alkyloxy benzylidene alkylanilines* ( $nO \cdot m$ ) sınıfına ait *Schiff* bazlı smektogenik bir sıvı kristaldir. Uç zincirlerdeki karbon atom sayısına karşılık gelen değerler bu molekül için  $n=4$  ve  $m=4'$ 'tür. Bu sınıftaki moleküller uzun zincirli alifatik bileşiklerdir. Bu tür sıvı kristaller birçok mezofaz içermeleri bakımından faz geçiş mekanizmalarının anlaşılması hususunda bilimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılan malzemelerdir.  $nO \cdot m$  sınıfındaki homolog serileri daha geniş kapsamlı uygulamalarının yanı sıra, sistematik olarak çeşitlendirmenin kolay olması nedeniyle büyük ilgi görmektedir.  $m$  ve  $n$ 'yi değiştirerek bu sistemlerin moleküler yapıları ve bu tür varyasyonların bu sıvı kristallerin fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi yaygın şekilde araştırılmaktadır [9-17].

BBBA sıvı kristalinin fiziksel özellikleri üzerine yapılan çalışmalar görece azdır. Bu çalışmada BBBA sıvı kristalinin tekstürleri incelenerek optik özellikleri ve faz geçiş sıcaklıkları araştırılmıştır. Geniş sıcaklık aralığında kalorimetrik ölçüm yapılarak faz geçiş sıcaklıklarının ısıtma ve soğutma süreçlerinde davranışı incelenmiştir. Malzemenin kızılötesi spektroskopisi yapılarak kimyasal süreçleri ve yapıları hakkında bilgi edinilmiştir. Moleküllerin özelliklerini ve mezofazların bütün halde tepkisini belirtmesi sebebiyle sıvı kristallerin dielektrik davranışının incelenmesi önemlidir. Sıvı kristallerde makroskobik kutuplanma ile iç elektrik alan kaynaklı moleküler tepki arasında bir bağlantı vardır. Mezofazların dielektrik özelliklerinin moleküler seviyede incelenmesi için anizotropik ortamda iç elektrik alan koşullarının belirlenmesi oldukça önemlidir [18-21]. Bu sebeple BBBA'nın mezofaz bölgesinde dielektrik geçirgenliğinin frekans ve sıcaklığa bağımlılığı incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Makalede araştırılan sıvı kristal *4-butoxybenzylidene-4'-butylaniline* (BBBA) olup, BDH Ltd. firmasından ticari olarak elde edilmiştir. Bu sıvı kristal ( $nO \cdot m$ ) sınıfına ait *Schiff* bazlı ve uç molekül zincirlerinde karbon atom sayıları  $n=4$  ve  $m=4$  olan bir termotropik sıvı kristaldir. BBBA'ya ait molekül formülü Şekil 1'de verilmektedir. Sıvı kristalin faz geçiş sıcaklıkları ve optik tekstürleri Olympus BX-51P polarizasyon mikroskobu (POM) kullanılarak elde edilmiştir. Dielektrik ölçümleri gerçekleştirmek için Solatron SI1260 marka empedans analizörü kullanılmıştır. BBBA sıvı kristalinin faz geçiş karakteristiklerinin sıcaklığın değişimine bağlı belirlenebilmesi için Diferansiyel Taramalı Kalorimetri (Differential Scanning Calorimetry-DSC) ölçümlerinin yapılabilmesi için Perkin Elmer DSC 8000 model kalorimetri ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçümü yapabilmek için ilk olarak, BBBA sıvı kristali bir alüminyum kaba konulmuştur. Ölçümlerde referans ağırlık olması için boş kabın ağırlığı ölçülmüş ve ölçüm değeri 0,002 mg olarak bulunmuştur. Ölçüm aralığı yaklaşık olarak 0 °C ile 100 °C şeklinde ayarlanmıştır. Kalorimetrik ölçüm hızı 5°C/dakika olarak belirlenmiştir. Tarama işlemi gerçekleştirilirken sıvı kristalin olduğu alan 20 ml/dakika akış hızına sahip azot gazı ile beslenmiştir. Ölçüme başlarken BBBA sıvı kristali 0 °C sıcaklığa soğutulmuş ve bu sıcaklıkta örnek 10 dk bekletilmiştir. Sonrasında sabit tarama hızı ile hedef sıcaklık olan 100 °C'ye ulaşılan kadar tarama işlemi devam etmiştir. 100 °C'ye ulaşıldığında ise soğutma işlemine geçilmiş ve başlangıç sıcaklığı olan 0 °C'ye ulaşılan kadar tarama işlemi devam ettirilmiştir. İncelenen örneğin Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR) spektroskopisi 400  $cm^{-1}$  ile 4000  $cm^{-1}$  aralığında oda sıcaklığında (27 °C) Perkin-Elmer spektrometre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. POM ile elde edilen tekstürler farklı sıcaklıklarda elde edilmiştir. Benzer şekilde dielektrik ölçümleri de farklı sıcaklık değerlerinde gerçekleştirilmiştir. BBBA'nın farklı sıcaklıklara ulaştırılması Linkam LTS350 marka ısıtıcı ile gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda BBBA'nın istenilen sıcaklıkta kararlı halde kalabilmesi için  $\pm 0,1^\circ C$  hassasiyete sahip Linkam TMS94 marka sıcaklık kontrolcüsü kullanılmıştır. BBBA sıvı kristali birçok smektik mezofazı sergilemektedir. Bu mezofazların tespit edilebilmesi için sıvı kristaller genellikle güçlü manyetik alanlara maruz bırakılmaktadırlar. Bu nedenle mezofaz tekstürleri belirlenirken BBBA sıvı kristali Varian Associates V-3601 marka elektromıknatis kullanılarak 1 T manyetik alanda tutulmuştur. POM görüntülemeleri ve dielektrik ölçümler gerçekleştirilirken ITO ile kaplanmış/kaplanmamış cam hücreler kullanılmıştır. Bu hücrelerin hazırlanma prosedürü daha önceki çalışmalarımızda ayrıntıları ile belirtilmiştir [22-24].

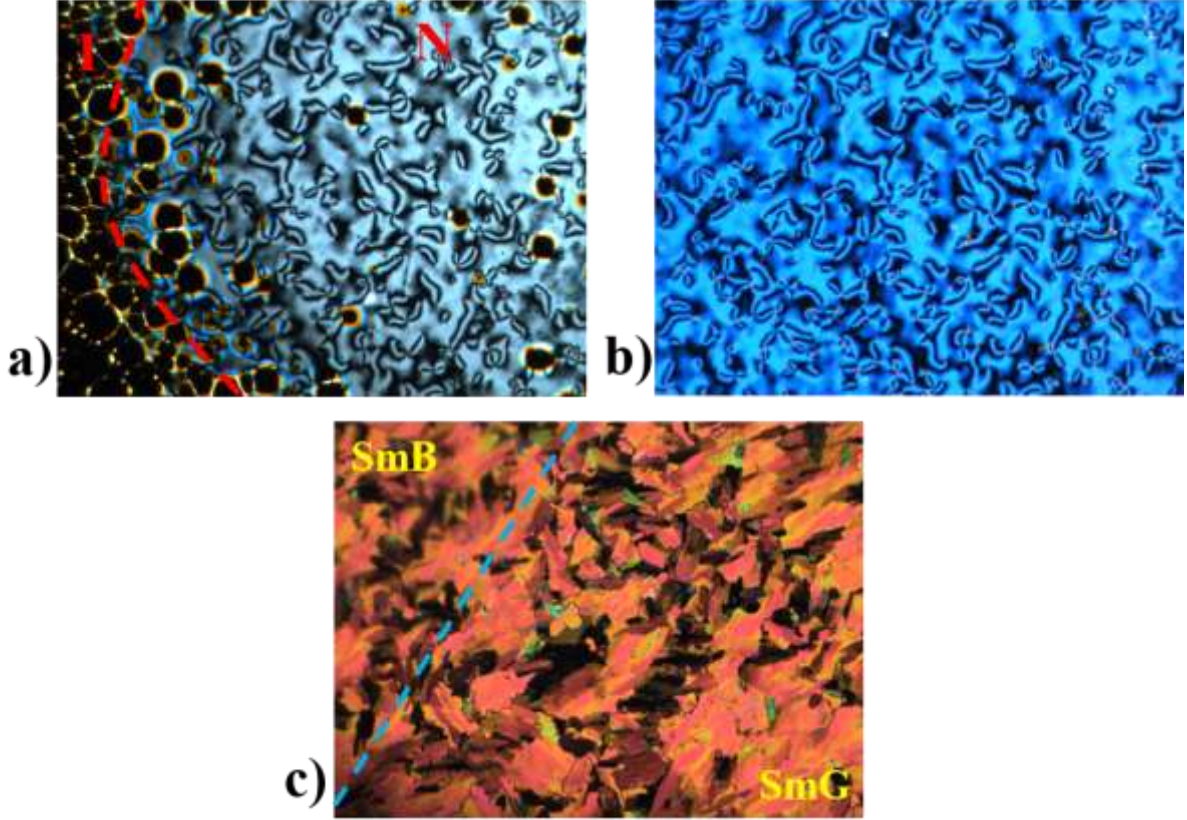


Şekil 1. BBBA sıvı kristalinin molekül formülü

## 3. Bulgular ve Tartışma

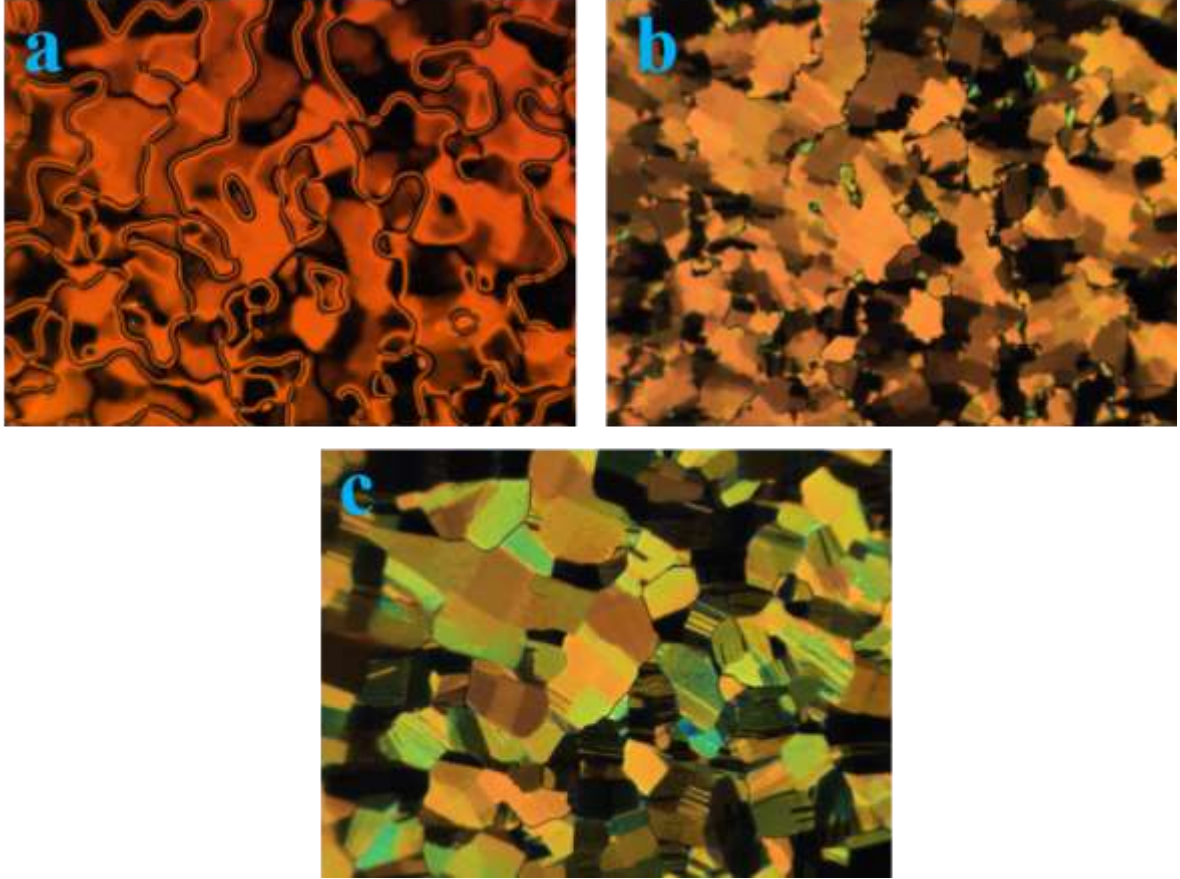
BBBA sıvı kristalinin morfolojik özelliklerinin incelenmesi için POM tekniği kullanılmıştır. POM sistemine entegre yüksek çözünürlüklü kamera ile BBBA'nın optik tekstürleri farklı sıcaklık değerlerinde elde edilmiştir. Sıvı kristal fazların belirlenmesinde POM tekniği yaygın şekilde kullanılan bir tekniktir. Her bir sıvı kristal faz, kendine has optik tekstür sergilemektedir [7]. Sıvı kristaller POM altında, mezofaz sıcaklık bölgelerinde optiksel geçirgenliğe sahiplerdir. Optiksel geçirgenliği olmadığı sıcaklık bölgeleri izotropik sıvı faz olarak tanımlanmaktadır [25]. Şekil 2'de yöneltilmemiş cam hücreler arasında ince film halinde bulunan BBBA sıvı kristalinin optik tekstürleri bulunmaktadır. Şekil 2a'da BBBA'nın I-N faz geçişinde elde edilen optik tekstürü verilmektedir. Her iki fazın birbirinden ayrıldığı bölge kırmızı kesikli çizgilerle belirtilmiştir. Aslında, birinci dereceden faz geçişlerde geçiş bölgesi çizgilerle gösterildiği gibi keskin değildir, bir heterofaz alanı oluşmaktadır. Bu alanda her iki faz da kararlı halde değildir ve bu alanın genişliği hücre kalınlığı, sıvı kristal türü, demirleme enerjisi (anchoring energy) gibi farklı parametrelere bağlı olarak değişmektedir [2, 7, 26-28].

Şekil 2b’de ise BBBA’nın N mezofazı görülmektedir. Bu tekstür, Schlieren tekstürü olarak adlandırılmaktadır ve N mezofaz için karakteristiktir [25]. Bu tür tekstürlerde kıvrımlı kusur yapıları (inversiyon duvarları) ve tekil nokta kusurları (singularities) sıklıkla gözlenmektedir. Şekil 2c’de ise SmB- SmG faz geçiş tekstürü bulunmaktadır. Her iki mezofazın ayrımı mavi kesikli çizgi ile netleştirilmiştir. Bu mezofazlarda tekil ve kıvrımlı kusurlar kaybolarak tane (domain) yapılar ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 2.** BBBA’nın optik tekstürleri verilmektedir. a) I-N faz geçişi tekstürü b) N mezofaz tekstürü c) SmB-SmG faz geçiş tekstürü.

Şekil 3’te BBBA’nın belirli bir bölgesinden alınmış ve farklı sıcaklık değerlerinden tekstürleri bulunmaktadır. N mezofazda ortaya çıkan Schlieren tekstürdeki inversiyon duvarlar SmB mezofaza geçildiğinde tane sınırları haline dönüşmektedir (Şekil 3a-b). Literatürde BBBA için N mezofaz ile SmB mezofazları arasında  $0,5^{\circ}\text{C}$  gibi oldukça düşük faz aralığına sahip SmA mezofazının da varlığı tespit edilmiştir [16, 29, 30]. Bu mezofazın oldukça dar bir sıcaklık aralığında var olmasından dolayı tespiti oldukça zordur. Bu tür dar sıcaklık aralığında var olan mezofazların belirlenmesi için çok düşük tarama hızlarında kalorimetrik ölçümler yapmak gereklidir. Şekil 3b’de BBBA’nın mozaik tekstürde SmB mezofazı görülmektedir. Optik görünümünde SmB’nin SmA’ya göre biraz daha homojen olmasıyla tekstürlerinde yalnızca çok ince değişiklikler üzerinden ayrımı yapılabilmektedir. SmB için fan-benzeri ve mozaik tür tekstürler tanımlanmaktadır. Ancak fan-benzeri tekstürün SmA’da gözlenen fan-benzeri tekstürden ayrımı oldukça zordur, mozaik tekstür ise SmB için karakteristiktir [25]. Mozaik tekstür, tane sınırlarının eşlik ettiği geniş, tekdüze optik görünüm alanları sergilemektedir. Tek tip optik görünüm alanları içinde, yön vektörü, taneden taneye değişen sabit bir yön boyunca yönlendirilmektedir. Mozaik tekstürü çapraz polarizörler arasında döndürülerek, art arda tanecikler yok olma (optik geçirgenliğin olmaması) konumuna getirilebilmektedir [25, 31, 32]. Şekil 3c’de ise mozaik tekstür ile SmG mezofazı verilmektedir. SmB’ye göre tane sınırları daha düzenli haldedir. SmG için en yaygın gözlenen desen mozaik tekstürdür. Tekstürdeki her bir tanenin içinde optik eksen tekdüze ve homojen bir şekilde yönlendirirken, uzun moleküler eksenlerin süresiz yön değişimleri taneden taneye ilerleyerek farklı renkte mozaik yapıların gözlenmesine neden olmaktadır [25, 31, 32].



Şekil 3. BBBA'nın optik tekstürleri verilmektedir. a) N mezofaz b) SmB c) SmG tekstürü.

BBBA sıvı kristalinin dielektrik özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimi hem ısıtma hem de soğutma süreçlerinde ayrı ayrı incelenmiştir. Bu ölçümler 10 kHz frekans altında gerçekleştirilmiştir. 10 kHz'in altındaki frekans değerlerinde safsızlıklardan kaynaklanan iyonik etkiler baskın olabilmektedir. 1 MHz' in üzerindeki frekans değerlerinde ise sıvı kristalin içerisinde bulunduğu cam hücre kaplaması olan ITO'nun etkileri baskın olacaktır. Bu nedenlerden dolayı, dielektrik geçirgenliğin sabit olduğu frekans aralığı içerisinde bulunan 10 kHz frekansı tercih edilmiştir. Ölçümler 25°C'den başlayarak BBBA'nın izotropik faz sergilediği sıcaklık değeri olan yaklaşık 83°C'ye kadar devam ettirilmiştir. Sıvı kristallerde çubuksu moleküller için nematik yön vektörü ( $n$ )'ne göre ayrı ayrı dielektrik sabitleri tanımlanmaktadır.  $n$ 'ye paralel olan bileşen  $\epsilon_{paralel}$  ve  $n$ 'ye dik olan bileşen ise  $\epsilon_{dik}$  olarak ifade edilmektedir. Dielektrik anizotropi ise

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{paralel} - \epsilon_{dik} \quad (1)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır. Dielektrik anizotropi, kalıcı dipol moment ( $\mu$ )'in büyüklüğü ve onun molekül uzun eksenine ile yaptığı açı ( $\beta$ )'ya bağlı olarak pozitif ya da negatif olabilmektedir [33]. Dielektrik geçirgenliğin bileşenleri moleküler düzen parametresine ( $S$ ) bağlıdır. Bu durum aşağıdaki eşitlikler ile verilmektedir:

$$\epsilon_{paralel} = \bar{\epsilon} + \frac{2}{3}\Delta\epsilon S \quad (2)$$

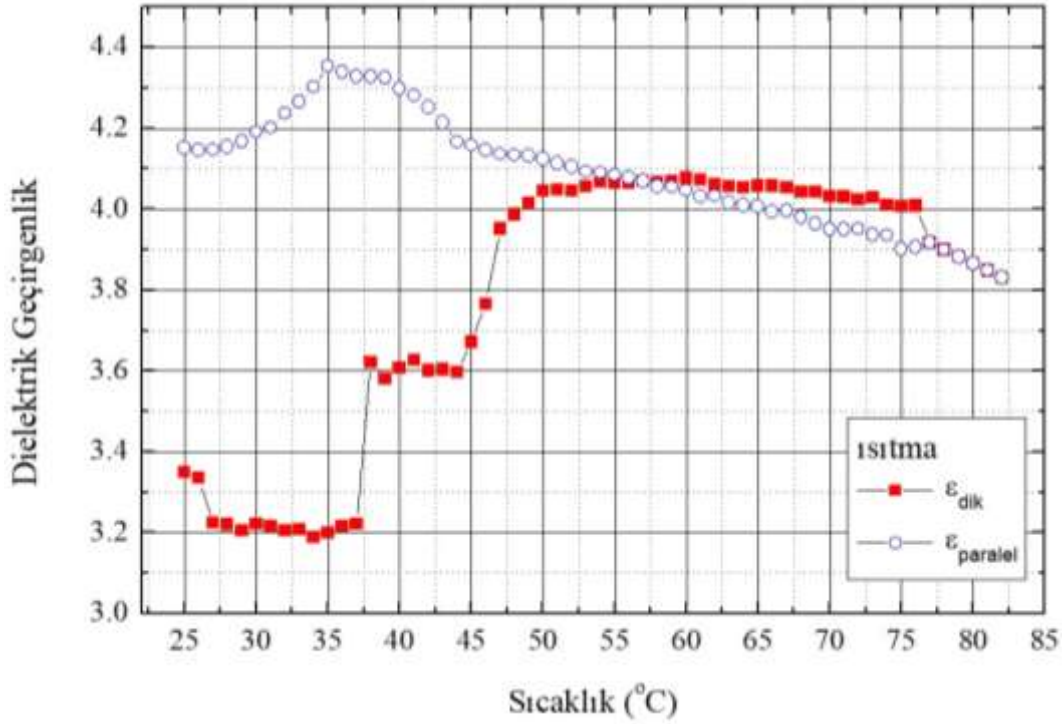
$$\epsilon_{dik} = \bar{\epsilon} - \frac{1}{3}\Delta\epsilon S \quad (3)$$

Mezofaz bölgesinde ortalama dielektrik geçirgenlik olarak da tanımlanabilen dielektrik geçirgenliğin izotropik kısmı

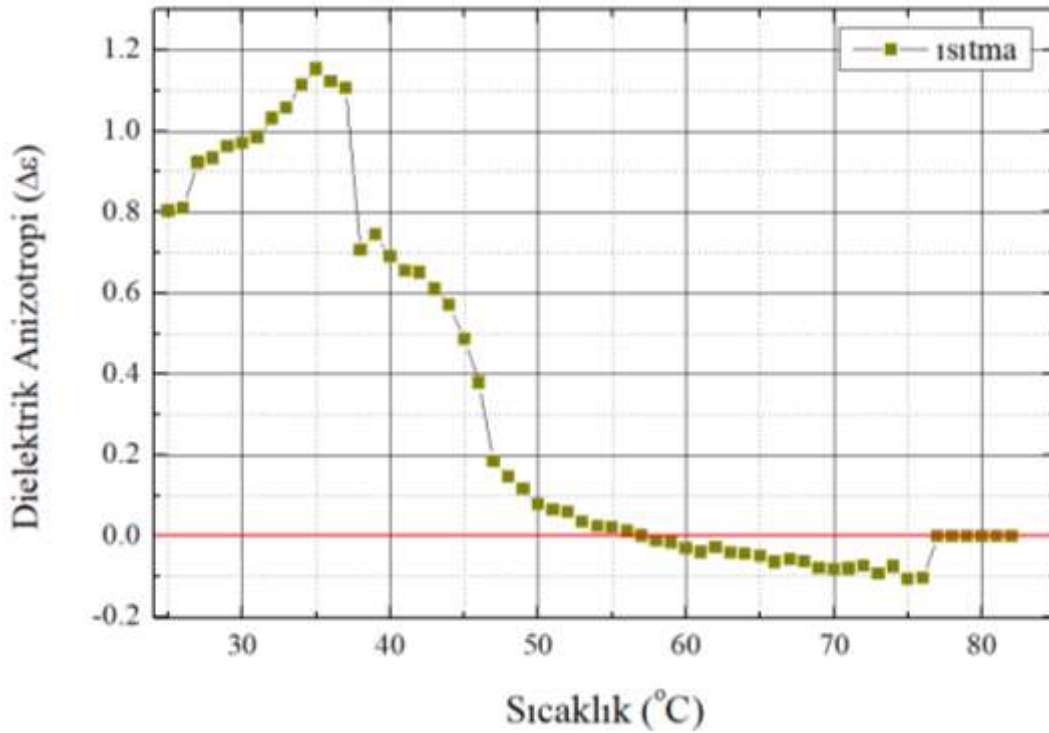
$$\bar{\epsilon} = \frac{1}{3} (\epsilon_{paralel} + 2\epsilon_{dik}) \quad (4)$$

eşitliği ile verilmektedir ve moleküler düzen parametresinden bağımsızdır.

Şekil 4'te BBBA'nın 25°C'den 83°C'ye kadar ısıtıldığı süreçte elde edilmiş sıcaklığa bağlı dielektrik geçirgenlik grafiği bulunmaktadır. 77°C'nin üzerindeki sıcaklık değerlerinde  $\epsilon_{paralel}$  ve  $\epsilon_{dik}$  değerleri üstü üste binmektedir ve tek bir sabit olarak tanımlanmaktadır ( $\epsilon_{izotropik}$ ). Bu bölge izotropik sıvı fazı olarak tanımlanmıştır. İzotropik sıvı faz bölgesinde dielektrik sabiti ( $\epsilon_{izotropik}$ ) sıcaklığın artmasıyla birlikte düzenli bir azalma sergilemektedir. Bu davranış organik bileşikler için beklenen durumdur. Mezofaz bölgesinde (77°C'nin altındaki sıcaklık değerlerinde) N-I faz geçiş bölgesinin hemen yakınlarında denklem 4'ten hesaplanan  $\bar{\epsilon}$  'nın  $\epsilon_{izotropik}$  'ten farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu farkın N mezofazdaki moleküllerin kısa erimli antiferroelektrik düzeninden kaynaklandığı söylenebilir [33]. Denklem 4'ten hesaplanan  $\bar{\epsilon}$  'nın N mezofaz boyunca sıcaklığın azalmasıyla artış gösterdiği görülmüştür. Bu durum, Maier-Meier teorisine göre ortalama dielektrik sabitinin artışının yönelimsel düzen parametresine bağlı olmamakla birlikte molekül yoğunluğuna bağlı olduğu şeklinde açıklanmaktadır [1]. Rao ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada BBBA sıvı kristalinin yoğunluğunun N mezofaz boyunca sıcaklığın azalmasıyla artış gösterdiği raporlanmıştır [8]. 77°C'nin altındaki sıcaklık değerlerinde ise BBBA N mezofaza geçmektedir ve anizotropik malzemelerden beklendiği üzere dielektrik geçirgenlik  $\epsilon_{paralel}$  ve  $\epsilon_{dik}$  olarak ikiye ayrılmaktadır. Yaklaşık 57°C'ye kadar  $\epsilon_{dik}$  değeri  $\epsilon_{paralel}$  değerinden yüksek çıkmaktadır ve 57°C'de her iki değer birbirine eşitlenmektedir. Bu bölgede  $\Delta\epsilon$  negatif olmaktadır. 57°C'de BBBA'nın dielektrik anizotropisi ( $\Delta\epsilon$ ) sıfır olmaktadır. 57°C'den 44°C'ye kadar her ne kadar N mezofaz devam etse de  $\epsilon_{paralel}$ 'in  $\epsilon_{dik}$ 'ten büyük olmasından dolayı artık  $\Delta\epsilon$  pozitif olmaktadır. N mezofazda dielektrik geçirgenliğin işaretindeki bu değişimin gerçekleştiği sıcaklık değeri literatürde nematik 1 (N1) ile nematik 2 (N2) arasında faz geçiş sıcaklığı olarak tanımlanmaktadır [8, 17, 33, 34]. N mezofazda ya da smektik mezofazlar içerisinde dielektrik anizotropi işaret değiştirebilmektedir. Bu işaret değişimi N mezofaz içerisinde bulunan smektik-benzeri kısa erimli düzene sahip cybotactic gurupların varlığından kaynaklanmaktadır [35, 36]. N mezofaz içerisinde ve smektik mezofazlardan daha yüksek sıcaklıkta ortaya çıkan bu tür smektik-benzeri düzene sahip cybotactic yapıların varlığı X-ışını kırınım çalışmaları ile ispatlanmıştır [37]. Şekil 5'te BBBA'nın ısıtma sürecinde  $\Delta\epsilon$  değerinin sıcaklıkla değişimi verilmektedir. Bu şekil incelendiğinde N mezofaz bölgesinde  $\Delta\epsilon$ 'nin negatif olduğu bölge kırmızı renkle verilen eksenin altında kalan kısım olarak açıkça görülmektedir. 44°C sıcaklıkta ise SmB-N faz geçişi gerçekleşmektedir. SmB mezofaz bölgesinde  $\epsilon_{paralel}$ , sıcaklığın artmasıyla N mezofaz da görülen düzenli azalışını devam ettirmektedir.  $\epsilon_{dik}$  ise N mezofaz değerlerine kıyasla faz geçiş bölgesinde keskin şekilde azalmakta ve SmB mezofazında neredeyse sabit kalmaktadır. 37°C'de ise SmG-SmB mezofaz geçişinden kaynaklanan dielektrik geçirgenlik değerlerinde belirgin değişim gözlenmektedir. SmG mezofazında sıcaklığın artmasıyla  $\epsilon_{paralel}$  düzenli bir artış gösterirken  $\epsilon_{dik}$  neredeyse sabit kalmaktadır.



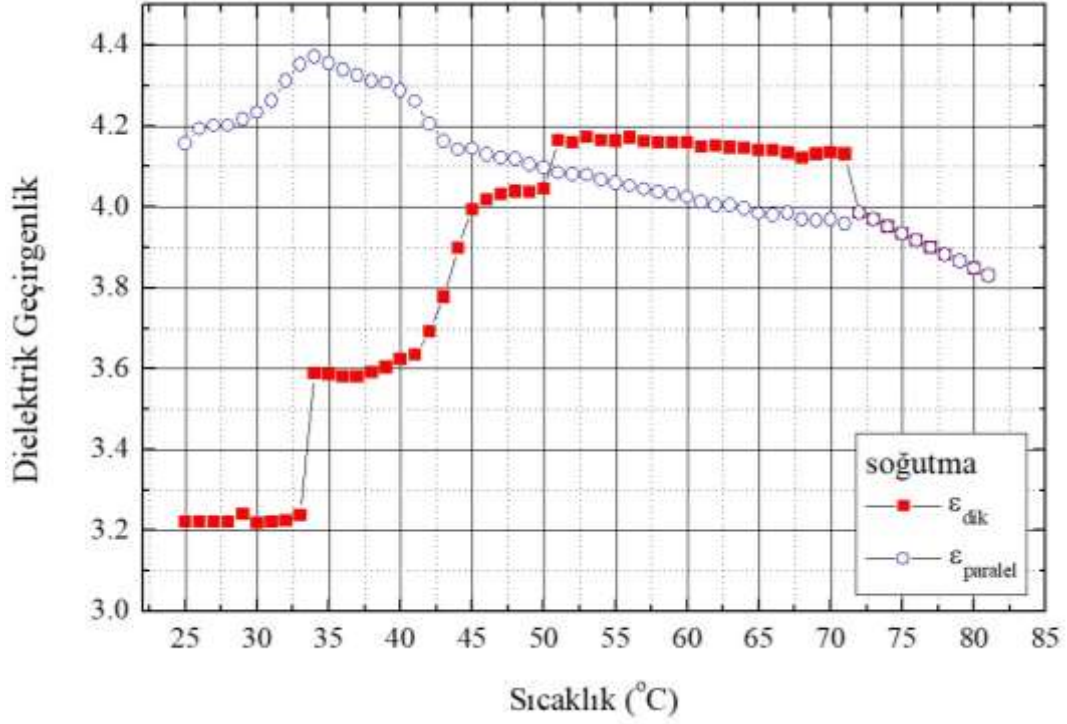
Şekil 4. BBBA'nın ısıtılması sırasında elde edilmiş sıcaklığa bağlı dielektrik geçirgenlik değerlerinin değişimi.



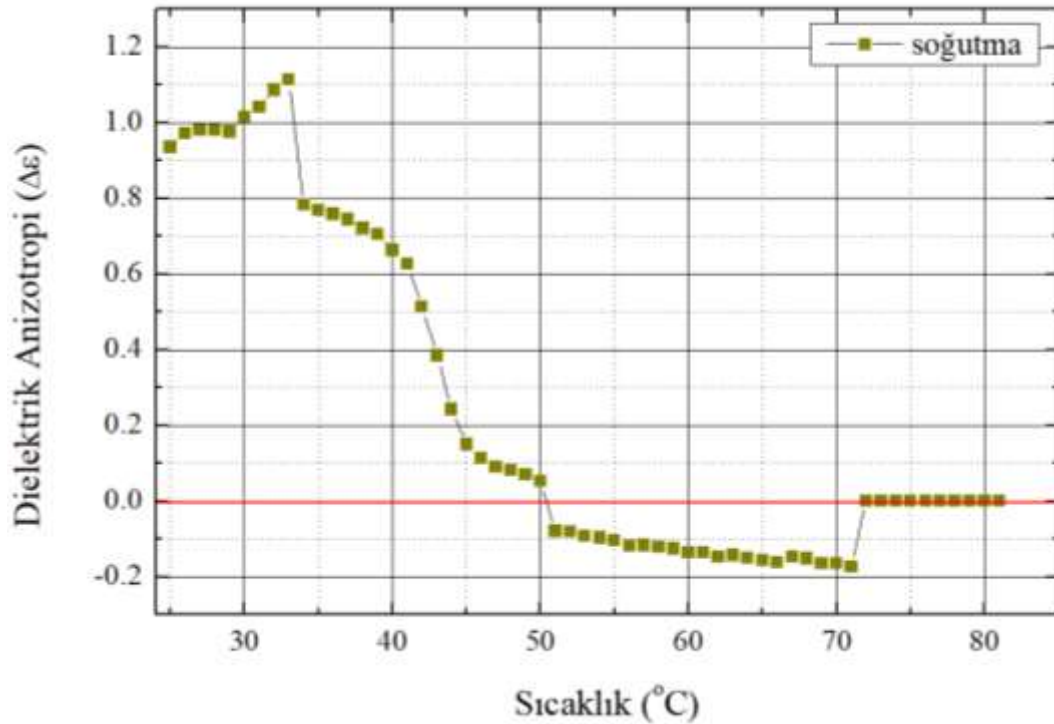
Şekil 5. BBBA'nın ısıtma sürecinde sıcaklığa bağlı dielektrik anizotropi değişimi.

Şekil 6'da BBBA sıvı kristalinin soğutma sürecinde dielektrik geçirgenlik değerlerinin sıcaklıkla değişimi verilmektedir. Dielektrik geçirgenlik değerlerinin davranışı ısıtma grafiğindeki (Şekil 4) değişimlere oldukça benzemektedir. İzotropik faz bölgesinde  $\epsilon_{paralel}$  ve  $\epsilon_{dik}$  üst üste binerek sıcaklığın azalmasıyla artış sergilemişlerdir ve bu bölgede  $\Delta\epsilon$ 'nin sıfır olduğu açıkça görülmektedir. I-N faz geçişi 71°C'de gerçekleşmektedir. N1-N2 faz geçişi ise 50°C'de ortaya çıkmaktadır. N mezofaz bölgesinde  $\Delta\epsilon$ 'nin negatif ve pozitif olduğu bölgeler Şekil 7'de açık şekilde belirtilmektedir. Soğutma sırasında SmB ve SmG mezofazlarında dielektrik geçirgenlik değerlerinin davranışı ısıtma sırasındaki

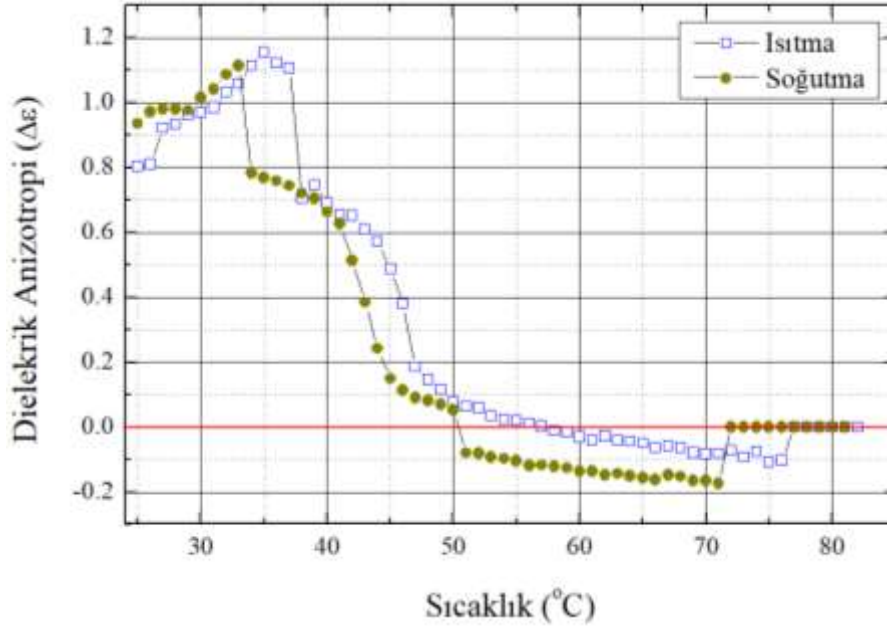
duruma oldukça benzemekle beraber mezofazlar arası faz geçiş sıcaklıkları farklılık göstermektedir. N-SmB faz geçişi 40°C'de, SmB-SmG faz geçişi ise 33°C'de olmaktadır. Isıtma ve soğutma süreçlerinde faz geçiş sıcaklıklarındaki bu tür farklılık termal histerezisin göstergesidir (Şekil 8). Farklı sıvı kristallerde termal histerezisin varlığı birçok kez raporlanmıştır [19, 23, 38, 39]. Bu durum sıvı kristallerin aşırı ısıtılması ya da aşırı soğutulması durumunda ortaya çıkmaktadır ve birinci derece faz geçiş için karakteristik bir durumdur.



Şekil 6. BBBA'nın soğutulması sırasında elde edilmiş sıcaklığa bağlı dielektrik geçirgenlik değerlerinin değişimi.

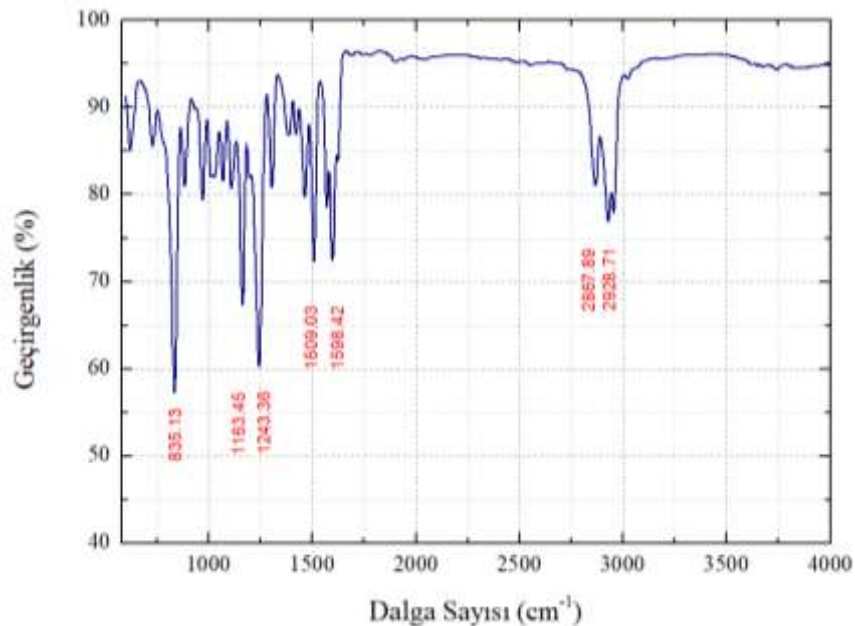


Şekil 7. BBBA'nın soğutma sürecinde sıcaklığa bağlı dielektrik anizotropi değişimi.



Şekil 8. BBBA'nın ısıtma ve soğutma sürecinde sıcaklığa bağlı dielektrik anizotropi değişimi ve termal histerezisin gösterimi.

Çalışmamızda BBBA'nın kızıl ötesi spektroskopik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FT-IR), kimyasal süreçleri ve yapıları araştırmada yaygın olarak kullanılan bir teknik ve önemli bir araçtır. Ayrıca FTIR, kristallerdeki ve sıvı kristal bileşiklerdeki konformasyonel değişiklikleri ve polimorfizmi araştırmak için bilinen bir yöntemdir [40, 41]. Ayrıca, sıvı kristal faz geçişlerini incelemek için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Kızılötesi piklerin şekli, maksimum soğurma konumu ve soğurma yoğunluğu gibi bazı özellikleri belirli bir fazdaki moleküler etkileşimlere bağlıdır ve böylece mezofazlar hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır [42]. Kızılötesi spektroskopinin parmak izi bölgesi, yapısal değişiklikler konusunda bilgiler vermektedir. Sıvı kristallerin fenil halkaları ve bağlantı grupları (azo, ester, imin) veya hidroksil gurubu ve H-bağları gibi fonksiyonel grupları hakkında karakteristik bilgiler sağlamaktadır [40, 42, 43]. Şekil 9'da BBBA sıvı kristalinin oda sıcaklığında gerçekleştirilen FT-IR spektroskopisine ait geçirgenlik grafiği verilmektedir. Grafik üzerinde bazı temel geçirgenlik piklerinin kodları kırmızı renkte belirtilmiştir.



Şekil 9. BBBA sıvı kristalinin FTIR Spektroskopisi



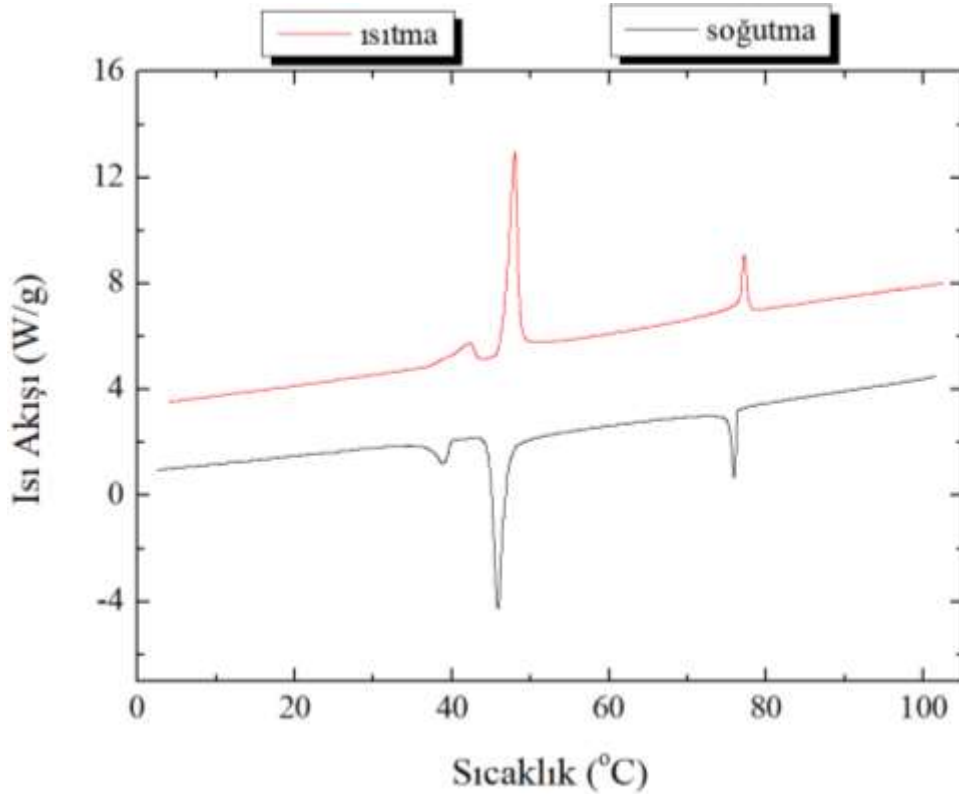
**Tablo 1.** BBBA sıvı kristalinin FTIR Spektroskopisinden elde edilen titreşim modları

Dalga Sayısı (cm <sup>-1</sup> )	Titreşim Modu
2955,79	alkil zincirinin CH <sub>3</sub> asimetric gerilme titreşimi
2928,71	alkil zincirinin CH <sub>2</sub> asimetric gerilme titreşimi
2867,89	alkil zincirinin CH <sub>3</sub> simetric gerilme titreşimi
1598,42	fenil halkasındaki C = C gerilme titreşimi
1570,31	fenil halkasındaki C = C gerilme titreşimi
1509,03	fenil halkasındaki C = C gerilme titreşimi
1464,60	alkil zincirinin CH <sub>2</sub> makaslama titreşimi
1421,64	alkil zincirinin CH <sub>2</sub> makaslama titreşimi
1386,92	fenil halkasındaki C = C gerilme titreşimi
1305,53	CH <sub>2</sub> dalgalanma titreşimi
1243,36	C – O – C antisimetric gerilme titreşimi
1163,45	fenil halkasındaki C – H gerilme titreşimi
1110,08	C – C hidrokarbon zincirlerinin gerilmesi ve CH <sub>2</sub> bükümü
1012,82	alkil-O-C asimetric gerilme titreşimi
970,94	CH <sub>2</sub> gerilme titreşimi
884,54	CH <sub>2</sub> salınım titreşimi ve fenil halkasındaki C-H düzlen dışı bozunum
835,13	CH <sub>2</sub> salınım titreşimi ve C-CH <sub>3</sub> gerilmesi
729,45	CH <sub>2</sub> salınım titreşimi

Tablo 1’de BBBA’ya ait tüm titreşim modları verilmektedir. BBBA moleküllü siyano gurubu ile birbirine bağlı iki fenil halkasının uçlarında alkil ve alkoksi guruplarının bağlı olduğu bir yapıdır. Tablo 1 incelendiğinde bu moleküle ait spektroskopinin alkil zincirinde CH<sub>3</sub> ve CH<sub>2</sub> asimetric titreşim ve fenil halkasında C = C gerilme titreşim modları görülmektedir. 2960 cm<sup>-1</sup> ile 2800 cm<sup>-1</sup> dalga sayısı aralığında ortaya çıkan pikler aromatik ya da alifatik C – H gerilme titreşimleri olarak değerlendirilebilmektedir. Alkil zinciriyle ilişkili CH<sub>2</sub> asimetric gerilme titreşimi 2928 cm<sup>-1</sup>’de sivrilir, bu da çok sayıda kıvrımı olan düzensiz bir molekül kuyruğuna işaret etmektedir [44, 45]. Özellikle, 1480 cm<sup>-1</sup> - 1430 cm<sup>-1</sup>, 1370 cm<sup>-1</sup> - 1300 cm<sup>-1</sup> ve 750 cm<sup>-1</sup>-710 cm<sup>-1</sup> arası spektral bölgelerin pikleri alkil zincir yapısına duyarlı olduğu bilinmektedir [46].

Sıvı kristalik faz maddenin belirgin ve bağımsız bir hali olmasına rağmen birçok farklı sıvı kristalik faz türü vardır. Farklı sıvı kristalik fazlar ve diğer mezofazlar tanımlanmalı ve sonrasında fazın yapısını oluşturan moleküler düzenlerine göre sınıflandırılmalıdır. Bu bağlamda, çalışmamızda BBBA sıvı kristalinin hem ısıtma hem de soğutma sırasında kalorimetrik ölçümleri DSC tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. DSC ölçümleri tek başına sıvı kristalik mezofazların tanımlanmasında kullanılamamaktadır. Bununla birlikte, entalpi değişimindeki durum bir mezofaz içinde moleküler düzenin derecesi ile ilgili bazı bilgileri vermesi sebebiyle bu teknik genellikle optiksel mikroskopi ile birlikte sıvı kristalik mezofazların tanımlanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Mezofazlar arası entalpi değişimi esas alınarak kristal-mezofaz, mezofaz-mezofaz ve mezofaz-izotropik sıvı faz geçişler hakkında kıymetli bilgiler edinilmektedir [2, 7, 47, 48]. Şekil 10’da BBBA sıvı kristalinin sıcaklığa bağlı ısı akış grafiği verilmektedir. Grafikte kırmızı renkli eğri katı kristal fazdan izotropik faza devam eden ısıtma esnasındaki tarama eğrisidir. BBBA ısıtılırken ilk olarak 42,1°C’de görece küçük faz geçiş piki gözlenmektedir. Bu pik SmG-SmB faz geçişine karşılık gelmektedir. 48,0°C’de ise oldukça büyük bir başka pik ortaya çıkmaktadır. Bu pik ise SmB-N faz geçişine karşılık gelmektedir ve güçlü birinci derece faz geçişi olarak tanımlanmaktadır. Bu geçişte BBBA katı fazdan sıvı faza geçmiştir. Literatürde SmB ile N mezofazları arasında çok dar bir sıcaklık aralığında ortaya çıkan SmA mezofazı da raporlanmıştır [16, 17, 29, 30, 33, 34]. SmA mezofazının tespit edildiği çalışmalarda söz konusu mezofazın tespit edilmesi için 0,01°C /dakika gibi oldukça düşük tarama hızlarında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmamızda tarama hızı 5°C /dakika olarak belirlenmiştir ve termo-grafik üzerinde SmA mezofazına karşılık gelecek herhangi bir pik gözlenmemektedir. Şekil 10’da 77,2°C’de N-I faz geçişine ait pik görülmektedir. Sıvı kristallerde mezofaz-izotropik faz geçiş pikleri belirgin şekilde daha küçüktür ve zayıf birinci derece geçişin olduğunu belirtmektedir [2]. Isıtma işlemi sonrasında BBBA sıvı kristali bu kez soğutulurken termal tarama işlemi devam ettirilmiştir. Bu taramayı gösteren eğri Şekil 7’de siyah

renk ile belirtilmiştir. I fazdan N mezofaza geçiş  $75,9^{\circ}\text{C}$ 'de olmaktadır. Isıtma ve soğutma durumlarında  $\text{N} \leftrightarrow \text{I}$  faz geçişleri arasında  $1,3^{\circ}\text{C}$ 'lik bir fark vardır. Bu durum faz geçişler için termal histerezis olarak tanımlanmaktadır. Termal histerezisin varlığı dielektrik ölçümlerde de tespit edilmiştir. N-SmB faz geçiş piki ise  $45,8^{\circ}\text{C}$ 'de ortaya çıkmıştır. Bu geçişte ise ısıtma ve soğutma arasında  $2,2^{\circ}\text{C}$ 'lik bir fark vardır. SmB-SmG faz geçişine karşılık gelen pik  $38,8^{\circ}\text{C}$ 'de görülmektedir. Isıtma ve soğutma süreçlerinde bu faz geçiş için  $3,3^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklık farkı bulunmaktadır. DSC ve dielektrik ölçümleri sonucunda elde edilen faz geçiş sıcaklıkları arasında ve aynı zamanda her iki ölçüm için termal histerezis değerlerinde farklar olduğu tespit edilmiştir. Dielektrik ölçümlerinde BBBA,  $30\ \mu\text{m}$  kalınlığa sahip planar ve homeotropik yöneltilmiş (işlenmiş) düzgün cam hücrelere doldurularak incelenmiştir [22-24]. DSC ölçümlerde ise sıvı kristal yığın halde ölçülmüştür. Cam hücrelerde, hücrenin oldukça ince olmasından dolayı incelenen sıvı kristal üzerinde yüksek demirleme etkisi (anchoring effect) oluşmaktadır. Bu etki özellikle mezofaz geçişlerinde etkili olmaktadır. Yığın halde ölçülen sıvı kristallerde bu etki oldukça azdır. Bu nedenle incelenen sıvı kristalin ölçüm durumu faz geçiş sıcaklıklarını ve mezofaz aralıklarını öteleyebildiği gibi faz geçişlerde ortaya çıkan termal histerezisin büyüklüğünü de etkilemektedir [49, 50].



Şekil 10. BBBA sıvı kristalinin ısıtma ve soğutma durumlarında elde edilen DSC eğrileri.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, BBBA sıvı kristalinin morfolojik, dielektrik, kızılötesi spektroskopik ve kalorimetrik özellikleri üzerine araştırma yapılmıştır. Morfolojik özelliklerin incelenmesi için optik tekstürleri alınarak örneğin mezofazlarda ve faz geçişlerinde ortaya çıkan desen ve kusur yapıları belirlenmiştir. N mezofaz bölgesinde Schlieren türü desen ve bu desende inversiyon duvarlar ve tekil noktaların ortaya çıktığı tespit edilmiştir. SmB ve SmG mezofazlarda taneli bir yapıyı simgeleyen karakteristik mozaik tekstürün varlığı belirlenmiştir. Yapılan dielektrik ölçümler sonucunda N mezofazda iki farklı faz oluştuğu belirlenmiştir. N1 ve N2 olarak adlandırılan iki fazın geçişinde dielektrik anizotropinin sıfır değerini aldığı açıkça görülmektedir. BBBA; N1 fazında negatif, N2 fazında ve diğer smektik mezofazlarda pozitif dielektrik anizotropiye sahiptir. Dielektrik ölçümlerine göre BBBA'nın ısıtma ve

soğutma durumlarında farklı faz geçiş sıcaklıklarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum termal histerezisin varlığını ortaya koymaktadır ve bu birinci derece faz geçişler için beklenen bir durumdur. Termal histerezisin varlığı DSC ölçümlerinde de ortaya çıkmıştır. Dielektrik ve DSC ölçümlerinde elde edilen faz geçiş sıcaklıkları ve termal histerezis kıyaslandığında farklı sıcaklıklarda gerçekleştikleri görülmüştür. Bu farkın sebebi, cam hücrelerde sıvı kristalin yüksek demirleme etkisinde kalmasından dolayıdır. Çalışmada ayrıca, BBBA sıvı kristalinin kızılötesi spektroskopisi çalışılmıştır. Yapılan ölçümlerde molekülün geçirgenlik piklerinin karşılığı olan kimyasal bağlar ve guruplar tanımlanmıştır. Tanımlanan bu yapılar, BBBA'nın sergilediği mezofazlar arası geçiş dinamiklerinin anlaşılmasında ve molekülün kristalite paketlenme durumları üzerine yapılacak çalışmalar için oldukça faydalı olacaktır.

### **Teşekkür**

Yazarlar, teknik desteklerinden dolayı Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Araştırma Laboratuvarları Merkezi'ne teşekkür etmektedirler.

### **Yazarların Katkısı**

A.E.M. deneysel ölçümleri ve bunların analizini yapmıştır, aynı zamanda makalenin yazımını gerçekleştirmiştir. N.A. deneysel ölçümleri ve bunların analizini yapmıştır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Demus D., Goodby J., Gray G.W., Spiess H.-W., Vill V. 1998. Handbook of Liquid Crystals. Wiley-VCH, Weinheim, 1-2591.
- [2] Blinov L.M. 2011. Structure and Properties of Liquid Crystals. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 1-458.
- [3] Bendahou A., Khoubia Z., Benabdallah T., Maschke U. 2018. Mesophase study of pure and doped cyanobiphenyl liquid crystals with salen-type systems. Liq Cryst., 45: 1312-1323.
- [4] Archambeau S., Bock H., Seguy I. 2007. Organic solar cells with an ultra thin organized hole transport layer. J Mater Sci Mater Electron., 18 (9): 919-923.
- [5] Matharu A.S., Jeeva S., Ramanujam P.S. 2007. Liquid crystals for holographic optical data storage. Chem Soc Rev., 36 (12): 1868-1878.
- [6] Vertogen G., de Jeu W.H. 1988. Thermotropic Liquid Crystals, Fundamentals. Springer, Dordrecht, Heidelberg, London, New York, 1-325.
- [7] Collings P.J., Hird M. 2017. Introduction to liquid crystals: Chemistry and physics. Taylor and Francis, London, 1-305.
- [8] Rao J.V., Rao N.V.S., Pisipati V.G.K.M., Murty C.R.K. 1980. Density Studies in N-(p-n-Butoxybenzylidene)-p-n-Butylaniline. Berichte der Bunsengesellschaft für Phys Chemie, 84: 1157-1160.
- [9] Deschamps J., Trusler J.P.M., Jackson G. 2008. Vapor pressure and density of thermotropic liquid crystals: MBBA, 5CB, and novel fluorinated mesogens. J Phys Chem B., 112 (13): 3918-3926.
- [10] Diaconu I., Melniciuc-Puică N., Dorohoi D., Aflori M. 2007. Birefringence dispersion of N-(4-methoxybenzylidene)-4-butylaniline (MBBA) determined from channeled spectra. Spectrochim Acta - Part A Mol Biomol Spectrosc., 68 (3): 536-541.
- [11] Sudhadevi Antharjanam P.K., Prasad E. 2010. Nematic to smectic texture transformation in MBBA by in situ synthesis of silver nanoparticles. New J Chem., 34 (3): 420-430.

- [12] Xu Z.D., He Y.N., Guo M.C., Wang X.G. 2007. Alternating current electric-field-induced tunable microstructures and electrohydrodynamic convection properties observed in azo-dye-doped MBBA liquid crystal cells. *J Appl Phys.*, 102 (2): 67-80.
- [13] De Luca G., Emsley J.W., Lesage A., Merlet D. 2012. The structures and conformations of mesogenic molecules in the pre-transitional region of the isotropic phase: 5OCB and MBBA and their mixtures. *Liq Cryst.*, 39 (2): 211-219.
- [14] Bertocchi M.J., Ratchford D.C., Casalini R., Wynne, James H., Lundin, J.G. 2018. Electrospun Polymer Fibers Containing a Liquid Crystal Core: Insights into Semiflexible Confinement. *J Phys Chem C*, 122: 16964-16971.
- [15] Celebre B.G., De Luca G., Ferrarini A. 1997. Short-and long-range contributions to the ordering of rigid planar solutes dissolved in a 55wt% ZLI1132+ EBBA nematic mixture. *Mol Phys.*, 92 (6): 1039-1050.
- [16] Mitra S., Mukhopadhyay R., Venu K. 2000. Molecular motions in liquid crystal BBBA (4O.4): QENS study. *Chem Phys.*, 261: 149-156.
- [17] Lebovka N.I., Lisetski L.N., Goncharuk A.I. 2013. Phase transitions in smectogenic liquid crystal 4-butoxybenzylidene- 4'-butylaniline (BBBA) doped by multiwalled carbon nanotubes. *Phase Transitions*, 86: 463-476.
- [18] Kleman M., Lavrentovich O.D. 2004. *Soft Matter Physics: An Introduction*. Springer New York, New York, 1-63.
- [19] de Gennes P.G., Prost J., Pelcovits R. 1995. *The Physics of Liquid Crystal*. *Phys Today*, 48 (5): 70-71.
- [20] Singh S., Dunmur P.D.A. 2002. *Nematic Liquid Crystals: Elastostatics and Nematodynamics*. In: *Liquid Crystals*, Edited by Khoo I.C., Wiley-Interscience, New Jersey, 174-220.
- [21] Khoo I.C., Wu S.T. 1993. *Optics and Nonlinear Optics of Liquid Crystals*. World Scientific, Singapur, 1-440.
- [22] Avcı N., Borshch V., Sarkar D.D. 2013. Viscoelasticity, dielectric anisotropy, and birefringence in the nematic phase of three four-ring bent-core liquid crystals with an L-shaped molecular frame. *Soft Matter.*, 9: 1066-1075.
- [23] Mamuk A.E., Nesrullajev A., Mukherjee P.K. 2017. Refractive and birefringent properties of 4-alkyl-4'-oxycyanobiphenyls at direct and reverse phase transitions. *Mol Cryst Liq Cryst.*, 648 (1): 168-181.
- [24] Özden P., Mamuk A.E., Avcı N. 2019. Investigation of the viscoelastic properties of 4-propoxy-biphenyl-4-carbonitrile. *Liq Cryst.*, 46 (15): 2190-2200.
- [25] Dierking I. 2003. *Textures of Liquid Crystals*. Wiley-VCH, Weinheim, 1-233.
- [26] Oswald P., Pieranski P. 2005. *Smectic and Columnar Liquid Crystals*. Taylor & Francis, Boca Raton, 1-711.
- [27] Doi M. 2013. *Soft Matter Physics*. Oxford University Press, Oxford, 1-257.
- [28] Kleman M., Lavrentovich O.D. 2004. *Soft Matter Physics: An Introduction*. Springer, New York, 1-63.
- [29] Heng M., De-Heng S., Jun H., Yu-Feng P. 2009. Simulation study on terahertz vibrational absorption in liquid crystal compounds. *Chinese Phys B.*, 18: 1085-1088.
- [30] Smith G.W., Gardlund Z.G. 1973. Liquid crystalline phases in a doubly homologous series of benzylideneanilines-textures and scanning calorimetry. *J Chem Phys.*, 59: 3214-3228.
- [31] Robertson J.H. 1980. Textures of liquid crystals by D. Demus and L. Richter. *Acta Crystallogr Sect A.*, 36 (6): 1096-1096.
- [32] Demus D., Diele S., Grande S., Sackmann H. 1983. Polymorphism In Thermotropic Liquid Crystals. In: *Advances in Liquid Crystals* edited by Brown, G.H., Vol: 6, Academic Press, New York, San Francisco, London, 1-107.
- [33] Rao J.V., Murty C.R.K. 1985. Dielectric Studies In N-(P-N-Butoxybenzylidene) P-N-Butylaniline. *Phase Transitions*, 5: 139-144.
- [34] Rao J.V., Murty C.R.K. 1985. Ultrasonic Investigations of N- (P-N-Pentyloxybenzylidene) P-N-Butylaniline. *Phase Transitions*, 5: 145-150.
- [35] de Jeu W.H., Lathouwers T.W., Bordewijk P. 1974. Dielectric Properties of di-n-Heptyl Azoxybenzene in the Nematic and in the Smectic-A Phases. *Phys Rev Lett.*, 32: 40-43.

- [36] de Jeu W.H., Goossens W.J.A., Bordewijk P. 1974. Influence of smectic order on the static dielectric permittivity of liquid crystals. *J Chem Phys.*, 61: 1985-1989.
- [37] Vries A.D. 1970. Evidence for the Existence of More Than One Type of Nematic Phase. *Mol Cryst Liq Cryst.*, 10 (1-2): 31-35.
- [38] Mamuk A.E., Nesrullajev A. 2016. Refractive and birefringent properties and order parameter of nematic liquid crystal at the direct and reverse nematic  $\leftrightarrow$  isotropic liquid phase transition. *J Optoelectron Adv Mater.*, 18 (11-12): 928-937.
- [39] Hosaka S., Tozaki K.I., Hayashi H., Inaba H. 2003. Effect of magnetic field on the phase transitions of EBBA by means of a high-resolution and super-sensitive DSC. *Phys B Condens Matter.*, 337: 138-146.
- [40] Avadanei M., Perju E., Cozan V., Bruma M. 2014. Phase transitions of a monotropic azomethine liquid crystal investigated by ATR-FTIR spectroscopy. *Phase Transitions*, 87: 243-254.
- [41] Martínez-Felipe A., Imrie C.T., Ribes-Greus A. 2013. Study of structure formation in side-chain liquid crystal copolymers by variable temperature fourier transform infrared spectroscopy. *Ind Eng Chem Res.*, 52: 8714-8721.
- [42] Osiecka N., Galewski Z., Juszynska-Gałązka E., Massalska-Arodź M. 2016. Studies of reorganization of the molecules during smectic A–smectic C phase transition using infrared spectroscopy and generalized two-dimensional correlation analysis. *J Mol Liq.*, 224: 677-683.
- [43] Singh S., Singh H., Srivastava A. 2016. Study of phase transitions in a bent-core liquid crystal probed by infrared spectroscopy. *Vib Spectrosc.*, 86: 24-34.
- [44] Enomoto S., Ozaki Y., Kuramoto N. 1993. Comparative Study of Langmuir-Blodgett Films of Three Kinds of Dyes Containing a 2-[[4'-(Mono- or dialkylamino)phenyl- or naphthyl]azo]-N-methylbenzothiazolium Chromophore by Infrared, Visible Absorption, and Resonance Raman Spectroscopies. *Langmuir.*, 9 (11): 3219-3224.
- [45] Fernsler J.G., Glaser M.A., Shao R. 2017. Aggregation-driven, re-entrant isotropic phase in a smectic liquid crystal material. *Liq Cryst.*, 44 (5): 769-783.
- [46] Papadopoulos P., Grigoriadis C., Haase N. 2011. Dynamics of Structure Formation in a Discotic Liquid Crystal by Infrared Spectroscopy and Related Techniques. *J Phys Chem B.*, 115 (50): 14919-14927.
- [47] Smith G.W. 1990. Study of Formation, Phase Behavior, and Microdroplet Size of a Polyurethane-based Polymer-dispersed Liquid Crystal. *Mol Cryst Liq Cryst Inc Nonlinear Opt.*, 180: 201-222.
- [48] Smith G.W., Vaz N.A. 1988. The relationship between formation kinetics and microdroplet size of epoxy-based polymer-dispersed liquid crystals. *Liq Cryst.*, 3: 543-571.
- [49] Alexe-Ionescu A.L., Barberi R., Bonvent J.J., Giocondo M. 1996. Nematic surface transitions induced by anchoring competition. *Phys Rev E - Stat Physics, Plasmas, Fluids, Relat Interdiscip Top.*, 54: 529-535.
- [50] Soltani T., Marcerou J.P., Othman T. 2013. Thermal hysteresis at the phase transition in liquid crystalline materials. *Liq Cryst.*, 40: 165-171.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Spektroskopik Teknikler Kullanılarak Furosemid ile DNA Etkileşimlerinin İncelenmesi**

Bahar YILMAZ\*

*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Karaman  
(ORCID: 0000-0002-6315-3018)*

---

### **Öz**

İlaç-DNA etkileşiminin araştırılması, moleküler düzeyde ilaç etkisini anlamak ve spesifik DNA hedefli ilaç tasarlamak için önemlidir. Furosemid, diüretik adı verilen bir ilaç ailesindedir ve böbrek, kalp ve karaciğer hastalıkları dahil olmak üzere çeşitli tıbbi sorunların neden olduğu ödemin tedavisinde kullanılır. DNA'nın Furosemid ile etkileşimi absorpsiyon, emisyon, Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopik (FTIR) teknikler ve agaroz jel elektroforezi ile analiz edilmiştir. FTIR sonuçları, Furosemid'in guanin ve sitozin nitrojen bazları ile bağlanmasının yanı sıra DNA şeker-fosfat omurgası ile zayıf teması gösterir. Furosemid'in DNA ile etkileşiminin UV, floresans spektroskopisi ve agaroz jel elektroforezi çalışmaları, DNA'ya bağlanabildiğini göstermiştir. Bu sonuçlar, Furosemid ilaç molekülünün başta kanser hastalıkları olmak üzere DNA temelli birçok hastalığın tedavisinde kullanılabileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Furosemid, İlaç-DNA etkileşimi, FTIR spektroskopisi, UV spektroskopisi, Floresans spektroskopisi

---

## **Study of Interactions of Furosemide with DNA Using Spectroscopic Techniques**

### **Abstract**

Investigation of drug-DNA interaction is important for understanding the drug action at molecular level and for designing specific DNA targeted drug. Furosemide is in a family of medicines called diuretics and is used for the treatment of edema caused by various medical problems, including diseases of the kidneys, heart and liver. The interaction of DNA with Furosemide has been analyzed by absorption, emission, Fourier transform infrared spectroscopic (FTIR) and agarose gel electrophoresis. Results of FTIR indicate binding of Furosemide with guanine and cytosine nitrogen bases along with poor contact with the DNA sugar-phosphate backbone. UV, fluorescence spectroscopy and agarose gel electrophoresis studies of the interaction of Furosemide with DNA have shown that it can binds to DNA. These results show that the Furosemide drug molecule can be used in the treatment of many DNA-based diseases, especially cancer diseases.

**Keywords:** Furosemide, Drug-DNA interaction, FTIR spectroscopy, UV spectroscopy, Fluorescence spectroscopy

---

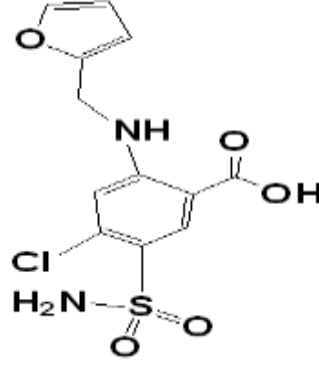
### **1. Giriş**

Furosemid ödem tedavisinde kullanılan antranik asit türevi olan idrar söktürücüdür. Furosemid, beyazımsı yapıya sahip kokusuz kristal bir tozdur (Şekil 1). Yüksek tansiyon tedavisinde kullanılabilir ve vücudun aşırı tuz emmesini önler [1]. Aynı zamanda konjestif kalp yetmezliği, karaciğer hastalığı veya nefrotik sendrom gibi böbrek rahatsızlığı bulunan kişilerde sıvı tutulumunu (ödem) tedavi etmek için kullanılır. Furosemid ayrıca karaciğer sirozu, böbrek yetmezliği, nefrotik sendrom için, hızlı diürezin gerekli olduğu beyin veya akciğerlerin şişmesi için yardımcı tedavide ve yeterli rehidrasyon ile birlikte şiddetli hiperkalseminin tedavisinde kullanılır [2, 3].

---

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

Geliş Tarihi: 08.01.2021, Kabul Tarihi: 21.03.2021



Şekil 1. Furosemid'in kimyasal yapısı

Deoksiribonükleik asit (DNA), yaşam sürecinde önemli bir rol oynar. Canlı hücrelerde genetik bilginin kopyalanması ve taşınması sağlar [4, 5]. Ayrıca transkripsiyon yoluyla proteinlerin ve enzimlerin biyolojik sentezini yönlendirir. Bazı küçük moleküllerin DNA ile bağlanma mekanizması üzerine yapılan çalışmalar, geçtiğimiz birkaç on yılda anahtar konulardan biri olarak belirlenmiştir [6]. Dahası, DNA'nın yapısal özelliklerini, genlerin mutasyonunu, bazı hastalıkların kökenini, bazı antitümör ve antivirüs ilaçlarının etki mekanizmasını anlamak ve bu nedenle başa çıkmak için yeni ve daha etkili DNA hedefli ilaçlar tasarlamak birçok hastalıkla başa çıkmakta çok yardımcı olacaktır [7].

Kontrolsüz bölünmeler nedeniyle oluşan kanser hastalığı başta olmak üzere birçok DNA temelli hastalık bulunmaktadır. DNA temelli hastalıklar, hücre çoğalması, dokularda yenilenme ve onarım amacıyla meydana gelmektedir [8]. Bu hatalıkların oluşumundaki temel sebep, hatalı DNA replikasyonlarından kaynaklı hücre bölünmeleridir. Bu nedenle DNA'nın kimyasal bazı moleküllerle etkileşmesi ve bu etkileşmelerin tayin edilebilmesi, kanser tedavisi başta olmak üzere birçok DNA temelli hastalıklarda yeni ilaçların geliştirilmesi açısından önemlidir [8, 9]. Örneğin birçok kanser ilacı DNA moleküllerini etkiler ve bu etkileşim DNA-ilaç komplekslerini oluşturur. Son zamanlarda DNA-ilaç etkileşimlerini incelemek için spektroskopik, elektrokimyasal ve kromatografik yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile DNA ve ilaç molekülleri arasındaki etkileşimlerin kovalent veya kovalent olmayan bağlarla, içerdikleri gruplar ve konformasyonlarla nasıl gerçekleştirildiği saptanmaktadır [10].

İlaç molekülleri, DNA ile kovalent veya kovalent olmayan etkileşimler yoluyla bağ kurabilir. DNA molekülünde bu tür bir bağlanmanın meydana gelebileceği birkaç bölge vardır. Bunlar; iki baz çifti arasında (tam interkalasyon), küçük olukta, ana olukta, dış tarafta sarmal yapıda ve elektrostatik bağlama olarak gerçekleşebilir [10]. İlaçların geliştirilmesi yavaş ve maliyetli bir süreçtir. Bu nedenle Furosemid gibi bazı ilaçların biyolojik bileşiklerle moleküler benzerliğe sahip ve DNA ile etkileşim gösterebileceği gibi yaklaşımlar onaylanmış birçok ilaçları yeniden konumlandırmaktadır [8].

Bu çalışmada, diüretik bir ilaç olan Furosemid'in DNA ile etkileşimleri hakkında kaynaklarda yeteri kadar çalışmaya rastlanmadığı için bu ilacın DNA ile etkileşmelerinin spektroskopik ve elektroforez yöntemlerle incelenmesi amaçlanmıştır. Bu ilaç molekülünün DNA yapısını nasıl etkilediği absorbans ve emisyon spektrumları ile belirlenmeye çalışıldı ve bu etkileşimler DNA moleküllerinin jel görüntüleri ile ayrıca desteklenmeye çalışılmıştır. Bu nedenle Furosemid gibi DNA ile etkileşim sağlayarak DNA yapısına etki eden ilaç moleküllerinin etki mekanizmaları detaylı bir şekilde çalışılmış ve rapor edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Yüksek derecede polimerize edilmiş çift zincirli DNA molekülü (Buzağı timus bezinden elde edilen DNA (= Calf Thymus DNA)), Furosemid ilaç molekülü ve tampon çözelti malzemeleri Merck ve Sigma-Aldrich'den temin edildi. Tris- HCl tampon (pH 7.4) ve tüm çözeltiler distile su kullanılarak hazırlandı.

DNA'nın stok çözeltisi, Tris-HCl tamponu içinde çözülerek hazırlandı ve 4 °C'de saklandı. Bir DNA çözeltisi 260 ve 280 nm'de 1.8'den daha fazla bir UV soğurma oranı vermiştir, bu da DNA'nın

proteinden yeterince arınmış olduğunu göstermektedir. Proteinden yeterince arınmış olarak elde edilen DNA molekülü deney için kullanıma uygun bulunmuştur. DNA molekülünün konsantrasyonu, 260 nm'de molar absorpsiyon katsayısı kullanılarak UV absorpsiyon spektroskopisi ile ölçülerek belirlendi. Suda çözünürlüğü düşük olan Furosemid ilaç molekülünün stok çözeltisi, asetonda bir miktar ilaç çözümü gerçekleştirildi ve son hacim Tris-HCl tamponu ile  $1.10^{-3}$  M olacak şekilde tamamlandı.

## 2.2. FTIR spektroskopisi

FTIR spektroskopisi, Furosemid ilaç molekülünü, çift zincirli DNA molekülünü ve Furosemid-DNA kompleksinin olası etkileşimlerini kanıtlamak için  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  arasında taramalar gerçekleştirilmiş ve yapılan taramalar ile elde edilen spektrumlar rapor edilmiştir [10].

## 2.3. UV ve Floresans spektroskopisi

DNA-Furosemid etkileşimleri için UV-Vis spektrumları, bir Shimadzu UV 1800 kullanılarak elde edildi. DNA ve Furosemid solüsyonları 1 cm'lik kuvars küvet içinde ölçülerek kaydedildi. Emilim deneyleri, DNA (100  $\mu\text{M}$ ) konsantrasyonu sabit tutulup ilaç konsantrasyonu (100-1000  $\mu\text{M}$ ) arasında değiştirilerek ölçüldü ve absorbans değerleri kaydedildi.

Floresan ölçümleri, bir Hitachi F-7100 ile gerçekleştirildi. DNA ve Furosemid arasındaki etkileşim için, 340 nm dalga boyunda uyarım yapılmış 420 nm'de floresans yoğunluğu alınmıştır ve rapor edilmiştir [11, 12].

## 2.4. Furosemid'in DNA ile etkileşiminin tespiti

Furosemid ilaç molekülünün (100-1000  $\mu\text{M}$ ) DNA (100  $\mu\text{M}$ ) üzerinde etkisi araştırılmıştır. Farklı konsantrasyondaki Furosemid molekülü DNA ile inkübe (24 saat, 37 °C'de) edilmiştir. İnkübasyon sonrası elektroforezde yürütülüp ortaya çıkan bantlar izlenmiştir.

## 2.5. Agaroz jel elektroforezi

İnkübe edilen DNA ve farklı konsantrasyonlardaki Furosemid molekülleri jelde elektrik akımı altında yürütülmüştür. %1'lik TBE tamponu (50mM  $\text{H}_3\text{B}_3$ , 50mMTris, 1 mM-EDTA ve pH 7.2) tampon çözelti olarak hazırlanmıştır ve etidyum bromür (0,5  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) ile boyama işlemi gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan agaroz jel soğutulurak (55 °C'ye kadar) yükleme için DNA kuyucukları oluşturmak üzere taraklar yerleştirildikten sonra jel tabağına kabarcıklar olmayacak şekilde dökülmüştür. Polimerizasyon gerçekleşmesi için 45-50 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Polimerizasyonu gerçekleştirilen jel elektroforez tankına alındıktan sonra, TBE 1X tamponu ile jelin üstü kapanacak şekilde elektroforez tankı dolduruldu. Örnekler jel kuyucuklarına yüklendi ve yürütüldü (80 V, 60 dakika). Yürütme işlemi bitince, görüntüleme cihazı ile DNA fragmanları görüntülendi ve jellerin fotoğrafları çekildi [4].

## 3. Bulgular ve Tartışma

FTIR, boyutu küçük biyomoleküllerin yapısının aydınlatılmasından tıbbi teşhise kadar değişkenlik gösteren birçok uygulamalarla yaşam genelinde son zamanlarda oldukça etkili bir cihaz olarak keşfedildi. Aynı zamanda bu araç, ilaç-biyomolekül veya ilaç-makromolekül etkileşimlerinde de yapının karakterizasyonu için önemli bir yöntem olarak düşünülmüştür.

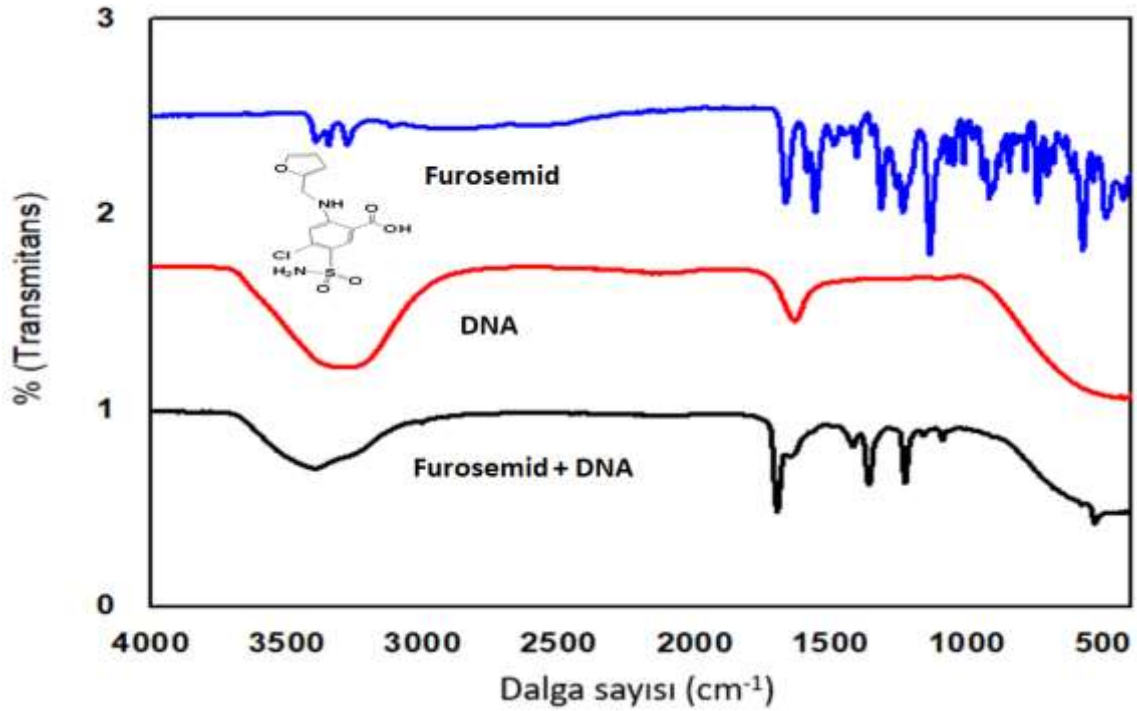
FTIR çalışması, Furosemid bağlanması üzerine DNA'nın yapısal özelliklerindeki değişiklikleri anlamak için yapıldı. DNA-ilaç komplekslerinin oluşturduğu yeni spektrumlar, Furosemidin DNA'ya bağlandığını gösteren bir kanıt olarak rapor edildi. Serbest Furosemid, serbest DNA ve Furosemid-DNA etkileşiminin FTIR spektrumları Şekil 2'de gösterilmiştir.

Serbest DNA'nın amino grubunun (NH) oluşturduğu geniş pik  $3550-3000\text{ cm}^{-1}$  civarında ortaya çıkmıştır. Furosemid bağlanması ile oluşan Furosemid-DNA kompleksi ise  $3700-2900\text{ cm}^{-1}$  civarında daha geniş bir pik ortaya çıkarmıştır. Bu açıkça, serbest DNA'nın amino grubundan sorumlu olan bandın, ilaç kompleksleşmesi üzerine genişlediğini göstermiştir. NH bandının ilaç molekülleri ile elde edilen komplekslerde meydana gelen genişlemeler, Johnson ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada olduğu gibi,



esas olarak ilaçların DNA bazları ile H-bağı oluşturarak etkileşime girdiğini ifade etmektedir. Furosemid ilaç molekülünün farklı noktalarda (1669, 1591, 1561, 1491, 1451, 1406, 1318, 1230 ve 1140  $\text{cm}^{-1}$ ) verdiği pikler ve DNA'nın 1637,4  $\text{cm}^{-1}$  civarında verdiği karbonil (C = O) pikinin titreşim frekansının ortadan kaybolduğu gözlenmiştir. Ardından yeni bir titreşim bandının 1700  $\text{cm}^{-1}$  civarında ortaya çıkması DNA-Furosemid etkileşiminden kaynaklandığını göstermektedir. Bu durum, Furosemid ve DNA'nın C = O ve NH gruplarının, H-bağ etkileşimine etkin bir şekilde dâhil olduğunu göstermektedir.

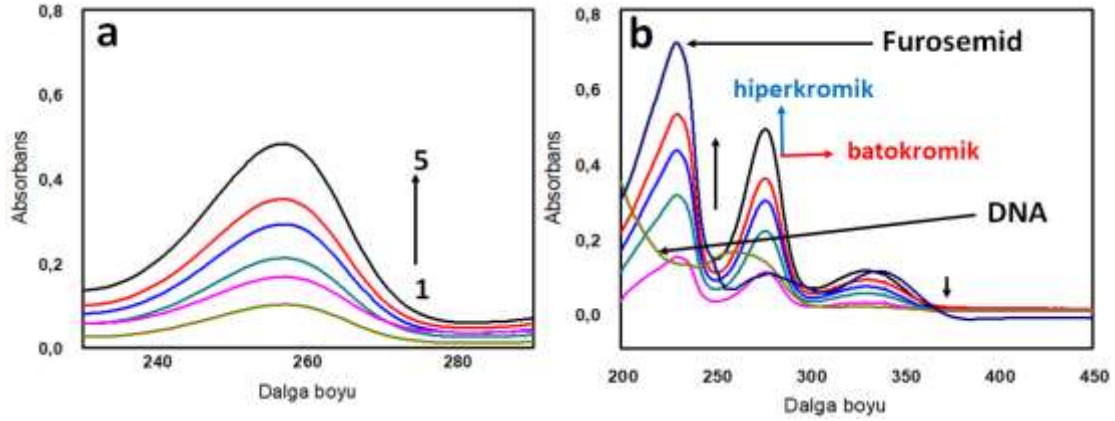
Furosemid'in DNA bazları (G-C / A-T) ile H-bağlanma etkileşimi, 1707-1400-1200  $\text{cm}^{-1}$  civarında DNA yapısının düzlem içi titreşimlerinin ana spektral değişiklikleri ile doğrulanmaktadır. Esas olarak DNA yapısındaki guanin ve timin bazları 1695  $\text{cm}^{-1}$  (G, T) civarında pik verirken, Furosemid ile kompleksleştikten sonra pik 1707  $\text{cm}^{-1}$  civarına kaymıştır. İlaç kompleksleşmesine bağlı olarak bazların titreşim frekansındaki değişim, Furosemid'in A-T ve G-C bazları ile etkileşime girebildiğini açıkça göstermiştir.



Şekil 2. DNA, Furosemid ve DNA-Furosemid kompleksinin FTIR spektrumları (4000-400 $\text{cm}^{-1}$ )

Furosemid ilaç molekülünün DNA hedef bölgesi için bağlanma ilgisinin karakterize edilmesi, ilaç etkinliğinin önemini arttırmaktadır. Yani Furosemid-DNA kompleksinin oluşmasına olanak sağladığı için önemli bir durumdur. Bu durumu desteklemek üzere Furosemid molekülünün DNA'ya bağlanması UV-vis spektroskopisi ile incelenmiştir.

Saf DNA molekülünün farklı konsantrasyonlardaki (50, 100, 200, 400, 500 ve 1000  $\mu\text{M}$ ) absorbans değeri 260 nm'de doğru orantılı bir şekilde artış göstermiştir (Şekil 3a). Sabit konsantrasyondaki DNA molekülünün (100  $\mu\text{M}$ ) farklı konsantrasyonlardaki Furosemid ilaç molekülü (100-1000  $\mu\text{M}$ ) ile absorpsiyon spektrali Şekil 3b'de gösterilmektedir. Furosemid molekülü 240 ve 340 nm civarında belirgin pikler gösterirken, DNA molekülü 260 nm'de belirgin bir pik göstermektedir. Sabit tutulan DNA molekülü üzerine Furosemid ilave edilmesi ile 260 nm'de bulunan pik yoğunluğunda artış meydana (hiperkromik değişim) gelmiştir. 240 ve 340 nm'de bulunan piklerde hiperkromik değişimler gözlemlenirken, 260 nm'de hem hiperkromik hem de batokromik değişimler meydana gelmiştir (Şekil 3b). DNA spektrumlarında meydana gelen belirgin kaymalar (260'dan 270'e), Bayrakçı ve Yılmaz'ın yapmış olduğu DNA etkileşim çalışmalarıyla örtüştüğünden dolayı DNA-Furosemid kompleksi arasında meydana gelen etkileşimi desteklemiştir. Meydana gelen hiperkromik kaymalar, DNA'nın ikincil yapısının kırıldığını, batokromik bir kaymanın gözlenmesi ise DNA ve Furosemid arasında interkalasyon olduğunu açıklamıştır.



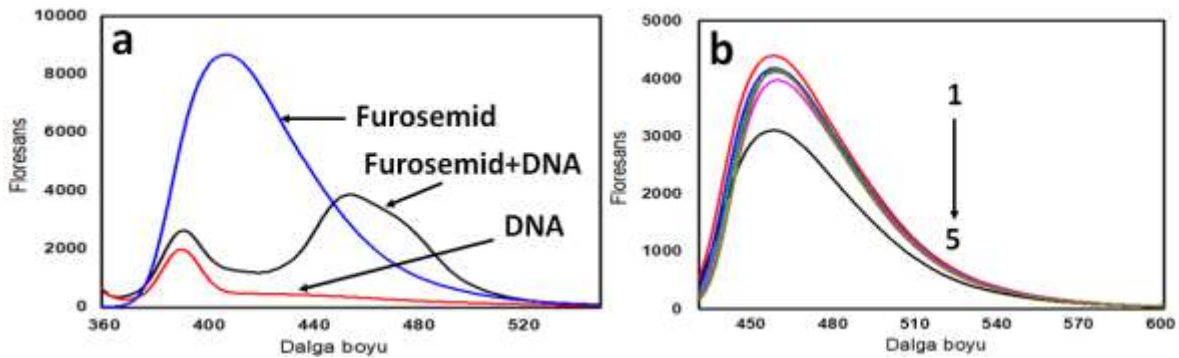
**Şekil 3.** DNA'nın artan derişimlerdeki (50-1000 µM) UV spektrumları (a) 100 µM DNA çözeltisi üzerine (100-1000 µM) Furosemid eklenmesi ile 200-600 nm arasında elde edilen UV spektrumları (b)

Furosemid, interkalasyonu gerçekleştirmek için yapısında bulunan aromatik halka, klasik interkalatif etkileşimine katkı sağlamıştır. Ek olarak, bu ilaç molekülü düşük bağlanma boyutuna sahip küçük bir moleküldür. Bu nedenle küçük oluk bağlanması, majörden daha çok tercih edilir ve genellikle AT'nin uzantıları ve 2-amino grubu (NH) için küçük DNA oluşuna bağlanma tercihinde sahiptirler. Johnson ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile paralellik gösteren bu çalışma doğrultusunda ortaya çıkan kaymalar Furosemid molekülünün DNA yapısının amin gruplarına ilgi duyabileceği kanıtlamıştır. Furosemid-DNA arasında meydana gelen bu absorbans değişimlerini emisyon spektrumlarıyla da destekleyebilmek için floresans ölçümleri alınmıştır.

Furosemid'in DNA'yı interkalatif mod ile bağlaması floresans ölçümlerde de görülen floresans prob ile kanıtlanmıştır. DNA yokluğunda ve varlığında Furosemid emisyon spektrumları Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4'te gösterildiği gibi, 340 nm'de uyarılan dalga boyu ile Furosemid maksimum emisyon dalga boyu 420 nm olarak belirlendi. Furosemid'in emisyon yoğunluğu, DNA molekülü eklenmesi üzerine 420 nm'den 460 nm'ye belirgin bir kayma ile sonuçlandı. Furosemid'in DNA molekülü eklenmesi üzerine meydana gelen kaymanın yanısıra emisyon yoğunluğundaki azalma, DNA molekülünün Furosemid ilaç molekülünün floresans özelliğini baskıladığını göstermiştir. Artan DNA konsantrasyonu ile 460 nm'de meydana gelen kompleks yapının floresans değeri ters orantılı olarak azalma göstermiştir (Şekil 4b).

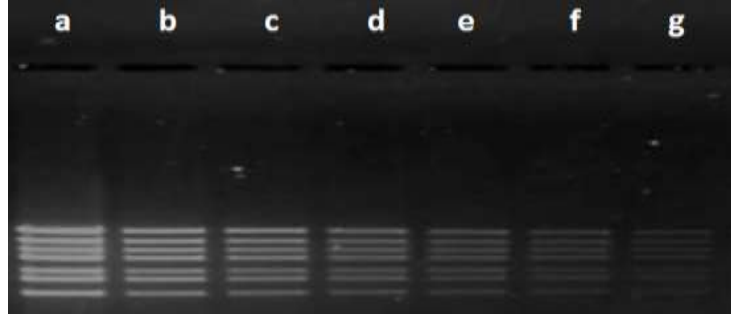
Bu floresans yoğunluğunun değişmesinin iki olası nedeni vardır. İlk olarak, Furosemid ve DNA arasındaki bağlanma ilaç molekülünün DNA molekülleri arasında girerek meydana gelebilir ve ilaç molekülünün floresans yoğunluğu azalabilir. İkinci olarak, Furosemid DNA ile dışardan bağlanma gerçekleştirir ve DNA Furosemid ilaç molekülünün floresans gruplarını etkileyerek emisyon yoğunluğunun azalmasına sebep olabilir.

Furosemid molekülünün gösterdiği floresans özelliğinin azalıp kayması DNA molekülünün ise değişmeyip hatta artış göstermesi Furosemid molekülünün DNA molekülü yapısına girdiği veya floresans özelliğe sahip bölgesinin DNA ile etkileşime girerek baskılandığı ifade edilmiştir.



**Şekil 4.** DNA, Furosemid ve DNA-Furosemid kompleksi emisyon spektrumları (a) Furosemid (100 µM) ile artan DNA konsantrasyonunun (100-1000 µM) emisyon spektrumları (b)

UV ve floresans sonuçları ile elde edilen DNA ve Furosemid arasındaki etkileşimleri desteklemek amacıyla son olarak agaroz jel elektroforez (%2'lik agaroz) yöntemi ile görselleştirilerek açıklanmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki Furosemid ilaç molekülü (100-1000  $\mu\text{M}$ ) solüsyonları hazırlandıktan sonra 100  $\mu\text{M}$  DNA ile inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonrası DNA-Furosemid etkileşimleri agaroz jel elektroforezinde yürütülerek aralarındaki etkileşim gözlenmiştir. Şekil 5'te de görüldüğü üzere ilaç konsantrasyonu arttıkça jelde görüntülenenen DNA fragmanlarında daha soluk görüntüler elde edilmiştir. Bunun nedeni Furosemid ilaç molekülünün DNA yapısına bağlanması ya da ilgisinden dolayı DNA molekülünün jel içerisinde yürütmesinin engellenmesinden kaynaklanmaktadır. DNA molekülleri jel elektroforezi içerisinde molekül ağırlıklarına göre hareket ettiklerinden dolayı ilaç molekülleri ile etkileşime giren DNA yapıları porlardan geçmekte zorlandıkları için görüntülerde daha az konsantrasyonda DNA molekülleri gözlenmiştir.



**Şekil 5.** Agaroz jel elektroforezi ile DNA ve Furosemid arasındaki ilişkinin görüntülenmesi. DNA (a) DNA-100  $\mu\text{M}$  Furosemid (b) DNA-200  $\mu\text{M}$  Furosemid (c) DNA-300  $\mu\text{M}$  Furosemid (d) DNA-400  $\mu\text{M}$  Furosemid (e) DNA-500  $\mu\text{M}$  Furosemid (f) DNA-1000  $\mu\text{M}$  Furosemid (g)

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Kanser, kalp hastalıklarından sonra en çok ölümlerle sonuçlanan hastalıklardan biri olarak bilinir. Aşırı hızlı çoğalan hücrelerden dolayı oluşan bu hastalıklarının tedavisinde asıl amaç, kontrolsüz çoğalan hücrelerin baskılanmasıdır. Kanser oluşumunun başlıca nedeni DNA moleküllerinin hatalı replikasyonu sonucu hücrelerin kontrolsüz çoğalmasıdır. Tedavi için genellikle DNA çoğalmasını engellemek amaçlı ilaçlar tasarlanmaktadır. Bu nedenle DNA molekülü ile etkileşebilen ilaç molekülleri, ilaç etken maddeleri, metal yapılar ve çevresel atıklar gibi kimyasal maddeler tedavi yöntemlerini geliştirmek için oldukça önemlidir. Birçok farmakolojik çalışmalarda tasarlanan bu tür yapıların, DNA-ilaç etkileşimlerini araştırmak için, çoğunlukla elektrokimyasal ve spektroskopik çalışmalar yapılmasının yanında, kromatografik metotlardan da yararlanılmaktadır.

Bu çalışmada, Furosemid ve DNA arasındaki etkileşimler, FTIR ölçümleri ile birlikte UV ve floresans spektroskopik teknikler kullanılarak araştırıldı. Ayrıca, Furosemid'in DNA'ya yüksek afinite ile bağlanabildiği agaroz jel elektroforez ile gösterildi. UV spektrumunun analizi ile, Furosemid'in DNA'ya bağlanırken baz çiftlerine veya amin gruplarına etkisi olduğu gözlemlendi. Furosemid ve DNA arasındaki etkileşimin esas olarak hidrofobik etkileşimleri ve hidrojen bağlarını içerdiği belirlendi.

Dolayısıyla ile bu çalışma, Furosemid'in DNA ile bağlanma mekanizmasını anlamak, DNA'yı hedefleyen yeni ve etkili ilaç moleküllerinin yapısını tasarlamak için daha ileri gitmemize yardımcı olabilir. Daha sonraki çalışmalarda ise, DNA temelli başta kanser hastalıkları olmak üzere birçok hastalığın tedavisinde bu tür ilaçların kullanılıp kullanılmayacaklarının incelenip araştırılmasına yönelik bir çalışmanın ortaya çıkma potansiyeli gerçekleşebilir.

#### Yazarların Katkısı

Bu makaledeki tüm katkı yazara aittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Braler D.C. 1986. Drug-Drug and Drug-Disease Interactions with Nonsteroidal Anti-Inflammatory Drugs. *Am. J. Med.*, 80 (Suppl 1A): 62-77.
- [2] O'Grady S.M., Musch M.W., Field M. 1990. Diuretic Compounds Structurally Related to Furosemide. *Methods in Enzym.*, 191: 781-792.
- [3] Ujhely M. 1991. loop Diuretics: A Practical Guide to Their Use and Selection. *Conn. Med.*, 55 (3): 162-165.
- [4] Bayrakcı M., Yılmaz B. 2019. DNA ile Bağlanabilen Suda Çözünür Sülfonato Kaliks [8] Aren Sentezi ve Antimikrobiyal Aktivitesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8 (1): 615-620.
- [5] Atmaca L. 2020. Antineoplastik İlaçların DNA ile Etkileşmelerinin UV-Görünür Bölge Spektroskopisi ile İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [6] Kashanian S., Khodaei M. M., Pakravan P. 2010. Spectroscopic studies on the interaction of isatin with calf thymus DNA. *DNA and Cell Biology*, 29 (10): 639-646.
- [7] Afrin S., Rahman Y., Sarwar T., Husain M.A., Ali A., Tabish M. 2017. Molecular spectroscopic and thermodynamic studies on the interaction of anti-platelet drug ticlopidine with calf thymus DNA. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 186: 66-75.
- [8] Shahabadi N., Hadidi S. 2012. Spectroscopic studies on the interaction of calf thymus DNA with the drug levetiracetam. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 96: 278-283.
- [9] Fritzsche H., Akhebat A., Taillandier E., Rippe K., Jovin T.M. 1993. Structure and Drug interaction of parallel-stranded DNA studies by infrared spectroscopy and fluorescence. *Nucleic Acids Research*, 21 (22): 5085-5091.
- [10] Johnson I.M., Prakash H., Prathiba J., Raghunathan R., Malathi R. 2012. Spectral analysis of naturally occurring methylxanthines (theophylline, theobromine and caffeine) binding with DNA. *PLoS One*, 7 (12): e50019.
- [11] Bayrakcı M., Yılmaz B. 2019. Biyoaktif Giemsa Boyama Ajansı ile Suda Çözünür Sülfonato Kaliksaren Moleküllerinin Etkileşiminin Spektrofotometrik Olarak İncelenmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (2): 985-992.
- [12] Bayrakcı M., Yılmaz B. 2018. Intermolecular interactions and binding mechanism of inclusion complexation between sulfonate calix [n] arenes and ethidium bromide. *Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry*, 90 (3-4): 341-349.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Gama Spektrumunun Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı

Pelin OTANSEV\*, Çetin BOLCAL

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul  
(ORCID: 0000-0003-0766-649X) (ORCID: 0000-0001-9274-0150)*

---

### Öz

Bu çalışmada, True Basic programlama dilini kullanarak gama spektrumunu analiz eden bir bilgisayar programı yazılmıştır. Program bir ana program ve bu ana programa bağlı alt programlar şeklindedir. İnteraktif olarak çalışan programın başında bir yardım sayfası vardır. Programı test etmek için, Malatya civarından alınan bir toprak örnek yüksek saflıkta germanyum (HPGe) detektörü kullanılarak sayım sisteminde sayıldı. Sayım sistemi 133Ba ve 137Cs standartları kullanılarak kalibre edildi. Toprak örnekten elde edilen spektrumdan sayıma karşılık kanal değerleri belirlendi ve bir veri dosyası oluşturuldu. Ayrıca, izotopun enerjisi, izotopun adı, izotopun kütle numarası ve pik şiddetlerinden oluşan ikinci bir veri dosyası oluşturuldu. Bu veri dosyaları programın içinde çağırılmaktadır. Programda sayıma karşılık kanaldan oluşan veri dosyası kullanılarak spektrum çizildi ve pikler analiz edildi. Program keskin ve temiz piklerde iyi sonuçlar vermektedir. Bir izotopun tanınması için aynı çekirdeğin farklı piklerini belirlemek gibi programın daha fazla geliştirilmesi ve alt programların ilave edilmesi yararlı olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Radyasyon, Spektrum, Bilgisayar Programı, İzotop.

---

## A Computer Program for Analysis of Gamma Spectrum

---

### Abstract

In this study, a computer program that analyzes the gamma spectrum by using the True Basic programming language was written. The program is in the form of a main program and subprograms linked to this main program. There is a help page at the beginning of interactively working program. To test program, a soil sample was counted in the counting system by using high purity germanium (HPGe) detector. The counting system was calibrated by using 133Ba and 137Cs standards. From the spectrum obtained from the soil sample, the channel values against the counts were determined and a data file was created. Also, a second data file consisting of the energy of isotope, the name of isotope, the mass number of isotope and peak intensities was created. These data files are called in the program. In the program, the spectrum was drawn by using the data file consisting of the channel versus the count and the peaks were analyzed. The program gives good results in sharp and clean peaks. To identify an isotope, it would be useful to further develop the program such as identifying different peaks of the same nuclide and to add subprograms.

**Keywords:** Radiation, Spectrum, Computer Program, Isotope.

---

### 1. Giriş

Yeryüzündeki tüm canlılar karasal kökenli radyoaktif elementlerin ve kozmik kökenli ışınların radyasyonuna maruz kalmaktadır [1-5]. Radyoaktif bir çekirdek alfa ve beta yayınladıktan sonra kararlı duruma geçemediğinde, geride kalan çekirdek uyarılmış haldedir ve gama ışını yayınlarak kararlı duruma gelir [6]. Topraktaki doğal radyoaktivitenin büyük kısmını 232Th ve 238U bozunma zincirlerinde bulunan radyonüklitler ile 40K oluşturmaktadır [7-10]. 232Th, 238U ve 40K gama ışını yayınlırlar. Gama ışınları, atomun elektron seviyelerinin değişimi sonucu meydana gelir. Gama ışınları madde içinde üç yolla enerjilerini kaybederler. Bunlar fotoelektrik etkisi, compton etkisi ve çift oluşumdur [11].

---

\*Sorumlu yazar: [pelins@istanbul.edu.tr](mailto:pelins@istanbul.edu.tr)

Geliş Tarihi: 12.01.2021, Kabul Tarihi: 21.03.2021

Radyasyon ölçüm cihazlarının çalışma prensipleri de radyasyonun madde ile etkileşmesine dayanır. Bu cihazlardan biri de yüksek saflıkta germanyum (HPGe) detektörüdür. Sayım sistemlerinde kullanılan HPGe detektörleri enerji ayırma gücünün yüksek olması ve birbirine yakın olan pikleri kolaylıkla ayırt edebilmesi bakımından diğer detektörlere nazaran daha avantajlıdır. Bu detektörler çevresel örneklerdeki radyonüklitlerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır [12]. Örneklerin sayım sisteminde sayılması sonucu elde edilen spektrumun analiz edilebilmesi için çeşitli bilgisayar programları vardır. Bu programların kullanımının kolay olması, hızlı çalışması ve hassas sonuçlar vermesi gama spektrumunun analizinde çok önemlidir.

Bu çalışmada, Malatya civarından alınan bir toprak örnek pelet haline getirilerek 14.6 MeV nötronlarla ışınlandı. Işınlanan örnek, HPGe detektör, Canberra 2002 CSL model bir ön yükseltici, Canberra 2015 A model spektroskopi yükselticisi, Canberra 8075 model bir analog dijital dönüştürücü, Canberra S-100 model çok kanallı analizör ve bilgisayardan oluşan sayım sisteminde sayıldı. Elde edilen spektrumdan sayıma karşılık kanal değerleri belirlendi. Bu değerlerden bir veri dosyası oluşturuldu. Sayım sisteminin kalibrasyonu için  $^{133}\text{Ba}$  ve  $^{137}\text{Cs}$  standart kaynaklar kullanıldı. İzotopun enerjisi, izotopun adı, izotopun kütle numarası ve pik şiddetlerinden oluşan ikinci bir veri dosyası oluşturuldu. Bu veri dosyaları oluşturulduktan sonra bilgisayar programında: Verilerin veri dosyasından alınarak spektrumun çizilmesi, enerji-kanal kalibrasyonunun yapılması, pikin seçilmesi, gauss fitinin yapılması, spektrum üzerinde seçilen pikin enerjisinin bulunması ve hangi izotopa ait olduğunun belirlenmesi işlemleri yapılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Günümüzde gama spektrum analizi yapan farklı dillerde yazılmış çeşitli programlar vardır. Bu programlar kullanılan programlama dili, piklerin tanınması ve eğrilerin uydurulması bakımından farklılık göstermektedir [13-15]. Bu çalışmada gama spektrumunun analizini yapan bilgisayar programı kullanıcının interaktif olarak çalışabileceği şekilde "True Basic" programlama dilinde yazıldı. Farklı bilgisayarlarda aynı yazılımı kullanabilme olanağı vermesi bakımından True Basic programlama dili büyük bir avantaj sağlamaktadır. True Basic modern programlama yapısı, büyük sayı ve dizileri içerebilmesi, karmaşık grafiklerin çizilebilmesi ve alt programların kullanılabilmesi gibi çeşitli özelliklere sahiptir [16]. Program bir ana program ve bu ana programa bağlı alt programlar şeklinde hazırlandı. Ana program yalnızca çağırıcı program şeklindedir. Alt programlar sırasıyla verilerin okunması, spektrumun çizilmesi, enerji-kanal kalibrasyonunun yapılması, pikin seçilmesi, gauss fitinin yapılması ve sonuçta pikin hangi izotopa ait olduğunun belirlenmesi gibi farklı işlemleri kapsamaktadır. Bu çalışmada oluşturulan bilgisayar programı aşağıda verilmektedir.

```
!*****PEAK IDENTIFICATION*****
OPTION NOLET
SET COLOR "RED/WHITE"
OPEN #20: SCREEN .2,1,0,.7
DIM X(5000), Y(5000), XG(8000), YG(8000), XX(5000), YY(5000)
DIM XGA(5000), YGA(5000), Q(5000), XN(5000), YN(5000), S1(20), SID1(20)
DIM XXX(5000), YYY(5000), XXD(5000), YYD(5000), YGG(5000), ENERZ(20)
DIM CC$(20), SID(20)
! *****
!*****MAIN PROGRAM*****
!*****
CALL YARDIM
! TÜM SPEKTRUM*****
CALL VERI
ISON1=ISON
CALL MAXY(Y())
OPEN #22:SCREEN 0.02, .98,.35,.98
CALL COORDINATE(X(),Y())
CALL SPKCIZ(X(), Y())
! SPEKTRUMDA SEÇİLMİŞ KISIM *****
```

```

CALL GETPOINT
IB=INT(XG(1))
IS=INT(XG(2))
FOR J=1 TO IS-IB
I=IB+J-1
XX(J)=X(I)
YY(J)=Y(I)
NEXT J
ISON=IS-IB
CLEAR
CALL MAXY(YY())
CALL COORDINATE(XX(),YY())
CALL SPKCIZ (XX(),YY())
CALL MAXY (YY())
CALL GETPOINT
IB=INT(XG(1))
IS=INT(XG(2))
ISON=IS-IB
XH=IB
YH=Y(IB)
!PRINT IB,IS,XH,YH
FOR J=IB TO IS
I=J
XX(J)=X(I)
YY(J)=Y(I)
NEXT J
YMAX1=0
FOR I=IB TO IS
IF YMAX1>YY(I) THEN
ELSE
YMAX1=YY(I)
END IF
NEXT I
CALL GAUSS1 (XX(),YY())
CALL FIT (XGA(),YGA())
CALL GAUSS2 ((X),Y())
CALL EGRI
CALL TANI
STOP
!*****
!*****SUBROUTINES*****
!*****
SUB YARDIM
INPUT PROMPT "PROGRAMI ÇALIŞTIRMAK İÇİN YARDIM İSTİYORSANIZ 'EVET=1'
GİRİN": E
CLEAR
IF E=1 THEN
PRINT " ***** MERHABA ***** "
PRINT " ***** "
PRINT " *1- PROGRAM KANAL SAYISINI VERİN ***** "
PRINT " *2- VERİ DOSYASININ ADINI GİRİN ***** "
PRINT " *3- ÇALIŞACAĞINIZ BÖLGEYİ FAREYİ TIKLATARAK SEÇİN ***** "
PRINT " *4- FAREYİ X EKSENİ ALTINDA BİR DEFA TIKLATTIĞINIZDA ***** "
PRINT " * SEÇİLEN BÖLGE EKRANA GELECEKTİR ***** "
PRINT " *5- FAREYİ İKİ KANADINDA TIKLATARAK TANIMAK ***** "

```

```

PRINT " * İSTEDİĞİNİZ PİKİ SEÇİN VE YİNE X EKSENİ ALTINDA ***** "
PRINT " * TIKLATIN ***** "
PRINT " *6- BACKGROUNDU BELİRLEMEK İÇİN FAREYİ MÜMKÜN ***** "
PRINT " * EN UZAK NOKTALARDA VE YİNE X EKSENİ ALTINDA ***** "
PRINT " * TIKLATIN ***** "
PRINT " ***** "
PRINT " *****BAŞARILAR ***** "
PRINT " ***** "
ELSE
END IF
END SUB
SUB VERİ
INPUT PROMPT "KANAL SAYISI=":ISON
PRINT "VERİ DOSYA ADI";
INPUT F$
CLEAR
OPEN #1:NAME F$
FOR I=1 TO ISON
INPUT #1: A$, BOS, KANAL, SAYIM
LET X(I)=KANAL
LET Y(I)=SAYIM/100
NEXT I
CLOSE #1
END SUB
SUB MAXY (Y())
YMAX=0
FOR I=1 TO ISON
IF YMAX>Y(I) THEN
ELSE
YMAX=Y(I)
END IF
NEXT I
END SUB
SUB COORDINATE (XC(),YC())
CLEAR
PLOT
SET WINDOW XC(1)-0.5, XC(ISON)+0.5, -YMAX/20,YMAX+.3
PRINT YMAX
HI=(XC(ISON)-XC(1))/10
PLOT TEXT, AT XC(1)-ISON/44,-YMAX/26:USING$("#####",XC(1))
FOR J=1 TO 9
PLOT TEXT, AT XC (1)+J*HI-ISON/44,-YMAX/26:USING$("#####",(XC(1)+J*H1))
NEXT J
H6=YMAX/62
PLOT LINES: XC(1),0;XC(ISON),0 !X AXIS
PLOT LINES: XC(1),0;XC(1),YMAX+.3 !Y AXIS
FOR I=1 TO 10
H2=H1*I
PLOT XC(1)+H2,H6;XC(1)+H2,0
NEXT I
H3=YMAX/10
H5=.5*ISON/50
FOR J=1 TO 9
H4=H3*J
PLOT XC(1)+ H5,H4;XC(1)+H4

```



```

NEXT J
END SUB
SUB SPKCIZ (M(),N())
FOR I=1 TO ISON
PLOT LINES: M(I),N(I);
NEXT I
END SUB
SUB GETPOINT
SET COLOR "BLUE"
oldx, oldy=100
J=0
DO
GET POINT X1,Y1
IF Y1<0 THEN EXIT DO
SET TEXT JUSTIFY "CENTER", "HALF"
PLOT TEXT, at X1,Y1:"+"
J=J+1
XG(J)=X1
YG(J)=Y1
oldx=X1
oldy=Y1
LOOP
END SUB
SUB GAUSS1 (XN(),YN())
FOR N=IB+1 TO IS-1
Q(N)=YN(N-1)/YN(N+1)
XGA(N)=XN(N)
YGA(N)=Q(N)
IF YGA(N)>0 THEN
YGA(N)=LOG(YGA(N))
IF YGA(N)>0 THEN WEIGHT=1/(YGA(N))
IF YGA(N)<0 THEN WEIGHT=1/(-YGA(N))
ELSE
END IF
NEXT N
END SUB
SUB FIT (XXD(),YYD())
SUM=0
SUMX=0
SUMY=0
SUMX2=0
SUMXY=0
SUMY2=0
FOR S=IB+1 TO IS-1
SUM=SUM+WEIGHT
SUMX=SUMX+WEIGHT*XXD(S)
SUMY=SUMY+WEIGHT*YYD(S)
SUMX2=SUMX2+WEIGHT*XXD(S)*XXD(S)
SUMXY=SUMXY+WEIGHT*XXD(S)*YYD(S)
SUMY2=SUMY2+WEIGHT*YYD(S)*YYD(S)
NEXT S
|*****
|*****KATSAYILARIN HESAPLANMASI*****
|*****
DELTA=(SUM*SUMX2)-(SUMX*SUMX)

```

```

B=(SUMX2*SUMY-SUMX*SUMXY)/DELTA
A=(SUMXY*SUM-SUMX*SUMY)/DELTA
END SUB
SUB GAUSS2 (XXX(),YYY())
SIGMA2=2/A
SIGMA=SQR(SIGMA2)
X0=-(B/A)
Y0=YMAX1
Y00=YMAX1*100
EN=X0*.212548+48.3972
END SUB
SUB EGRI
PLOT
! *****
SET COLOR "RED"
CALL GETPOINT
IB=INT(XG(1))
IS=INT(XG(2))
ISON=IS-IB
XSN=IB
YSN=Y(IB)
YSS=Y(IS)
G=0
GC=0
H=.1
DO
IF IB+H*G<=IS THEN
G=G+1
YLI=((YSN-YSS)/(IB-IS))*(H*G)+YSN
XG(G)=XSN+H*G
YG(G)=Y0*EXP(-(XG(G)-X0)^2/(2*SIGMA^2))
IF YG(G)>=YLI THEN
GC=GC+1
XG(GC)=XG(G)
YG(GC)=YG(G)
YGG(GC)=YG(GC)-YLI
PLOT LINES: XG(GC),YG(GC);
ELSE
END IF
ELSE
EXIT DO
END IF
LOOP
NP=(XG(GC)-XG(1))/H
TOPSAY=0
FOR GC=1 TO NP-1
TOPSAY=TOPSAY+H*GC*(YGG(GC+1)+YGG(GC))/2
NEXT GC
END SUB
SUB TANI
OPEN #17: SCREEN 0.02,.8,.0,.3
SET COLOR "RED"
PRINT" İZOTOP  ENER(KeV)      ENERK(KeV)  ŞİDDET  TOPLAM SAYIM  "
K=0
OPEN #5:NAME "ÇEK.DAT"

```

```

FOR I=1 TO 698
INPUT #5:A$,EZ,C$,SI
EN=TRUNCATE(EN,3)
EZ=TRUNCATE(EZ,3)
ED1=EZ-0.4
ED2=EZ+0.4
IF EN>=ED1 AND EN<=ED2 THEN
HP=0.001
N=(ED2-ED1)/HP
FOR M=1 TO N
EDM=ED1+HP*M
IF EDM=EZ THEN
K=K+1
ENERZ(K)=EZ
CC$(K)=C$
SID(K)=SI
ELSE
END IF
NEXT M
AK=K
ELSE
END IF
NEXT I
FOR I=1 TO AK
PRINT USING "#####": CC$(I), EN,ENERZ(I),SID(I),TOPSAY
NEXT I
CLOSE #17
END SUB
END

```

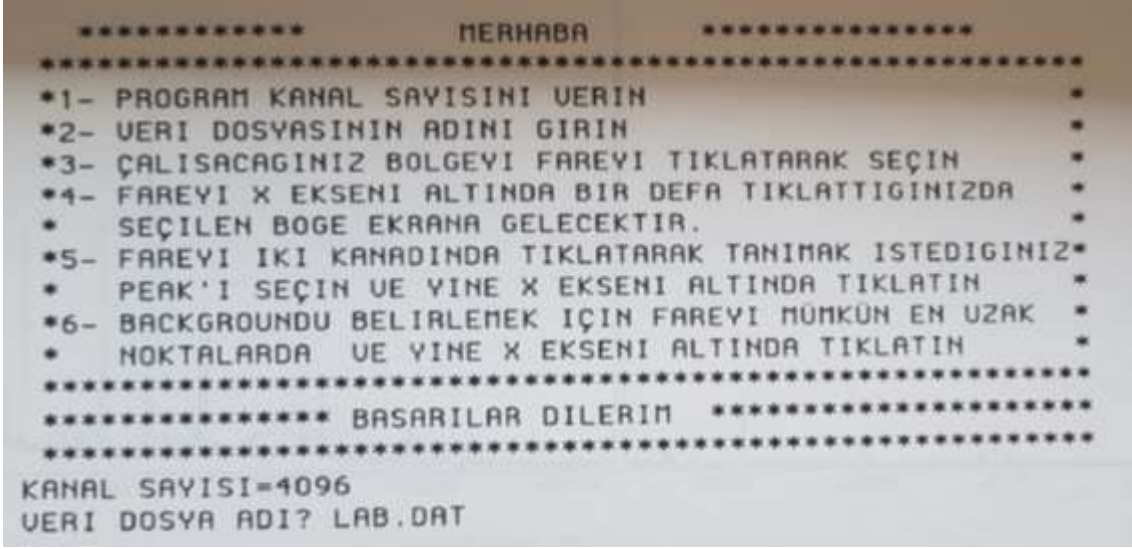
Programı test etmek için, Malatya civarındaki bir bölgeden alınan toprak örnek HPGe detektör, Canberra 2002 CSL model bir ön yükseltici, Canberra 2015 A model spektroskopi yükselticisi, Canberra 8075 model bir analog dijital dönüştürücü, Canberra S-100 model çok kanallı analizör ve bilgisayardan oluşan gama sayım sisteminde sayıldı. Bunun için, örnek, 200 mesh olacak şekilde toz haline getirildi ve 5 saat 80 °C de kurutuldu. Örnek içine selüloz nitrat eklenerek çapı 13 mm olacak şekilde 9 tonluk basınç altında pelet haline getirildi. Örnek ÇNAEM de  $1.01 \times 10^8$  n cm<sup>-2</sup> sn<sup>-1</sup> nötron akısı ve 200 kV hızlandırma potansiyeli altında 14.6 MeV nötronlarla ışındı. Toprak örnek sayımı, kristal çapı 49.8 mm, uzunluğu 50.5 mm olan ayırma gücü yüksek HPGe detektörü kullanılarak yapıldı. Background etkisini azaltmak için detektör, kalınlığı 5.3 cm ve uzunluğu 28.2 cm olan bir kurşun zırh içerisindedir. Örneğin sayım sisteminde sayılması sonucu elde edilen veriler bir depolama aygıtı ile bilgisayar ortamına aktarıldı. Veriler sayıma karşılık kanaldan oluşmaktadır. Sayım sisteminin enerji kalibrasyonu ise <sup>133</sup>Ba ve <sup>137</sup>Cs standartları kullanılarak yapıldı. Standart kaynakların sayımı numunelerin sayıldığı sayım sisteminde yapıldı. Bu standart kaynaklardan elde edilen spektrumda her bir pik tepesine karşılık gelen enerji ve kanal değerleri belirlendi. Tablo 1’de standart gama kaynaklarından elde edilen spektruma ait pik enerjileri ve kanal değerleri verilmektedir.

**Tablo 1.** Standart gama kaynaklarından elde edilen spektruma ait pik enerjileri ve kanal değerleri.

	İzotop	Enerji(keV)	Kanal
<sup>133</sup> Ba		80.998	153.13
		276.397	1072.70
		302.851	1197.45
		356.005	1447.46
		383.851	1578.15
<sup>137</sup> Cs		661.638	2885.02

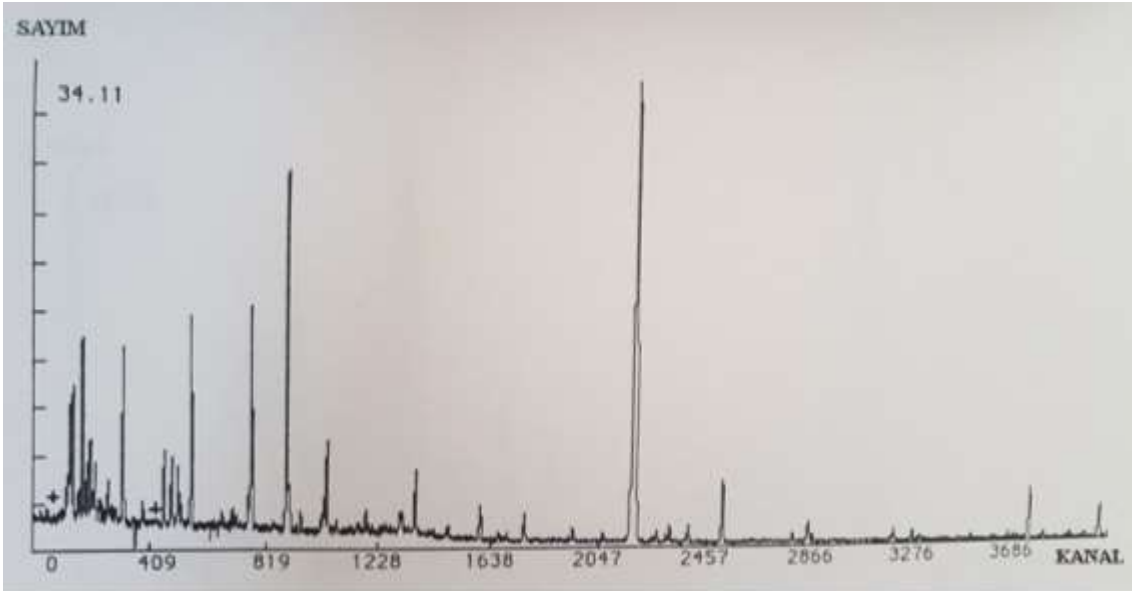
### 3. Bulgular ve Tartışma

Programda örneklerin sayım sisteminde sayılması sonucu elde edilen ve sayıma karşılık kanaldan oluşan bir veri dosyası ile izotopun enerjisi, izotopun adı, izotopun kütle sayısı ve pik şiddetlerinden oluşan ikinci bir veri dosyası kullanıldı. Bu dosya, program içinde daha önce yüklenen veri dosyası olarak sonradan çağırılmaktadır. Program interaktif şekilde çalışmaktadır. Programın başında bir yardım sayfası vardır. Kullanıcı ilk kez programı kullanıyorsa bu yardım sayfasından yararlanabilmektedir (Şekil 1).



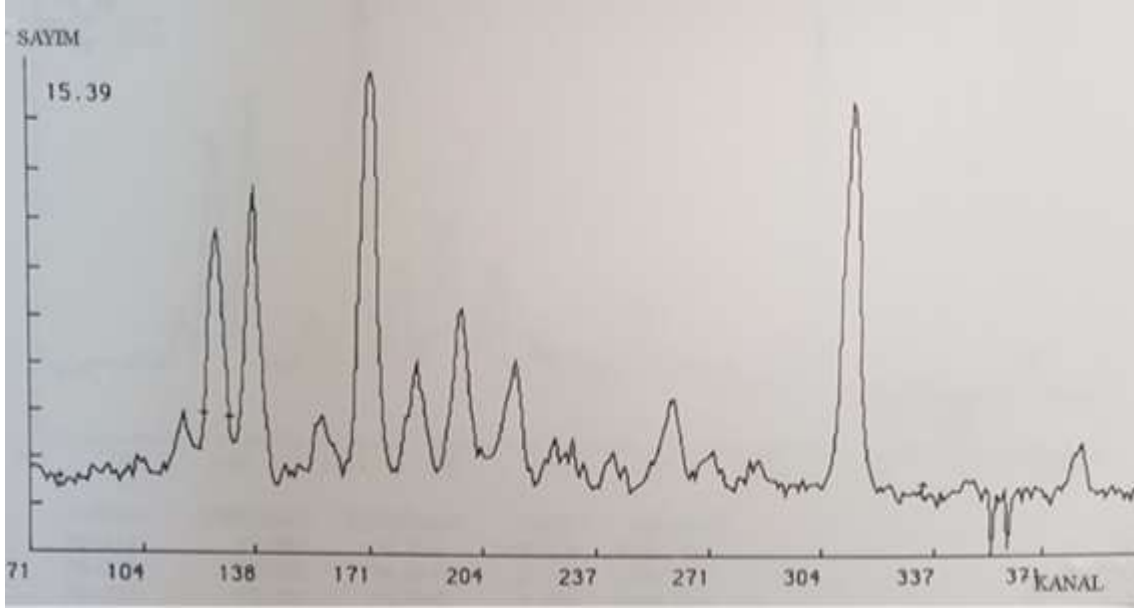
Şekil 1. Programdaki yardım sayfası.

Şekil 1’de görüldüğü gibi, programda kanal sayısı ve veri dosyasının adı sorulmaktadır. Veri dosyasının adı girildikten sonra ekranda otomatik olarak kanala karşılık sayımdan oluşan grafik çizilir. Şekil 2’de bilgisayar programında elde edilen spektrum görülmektedir.



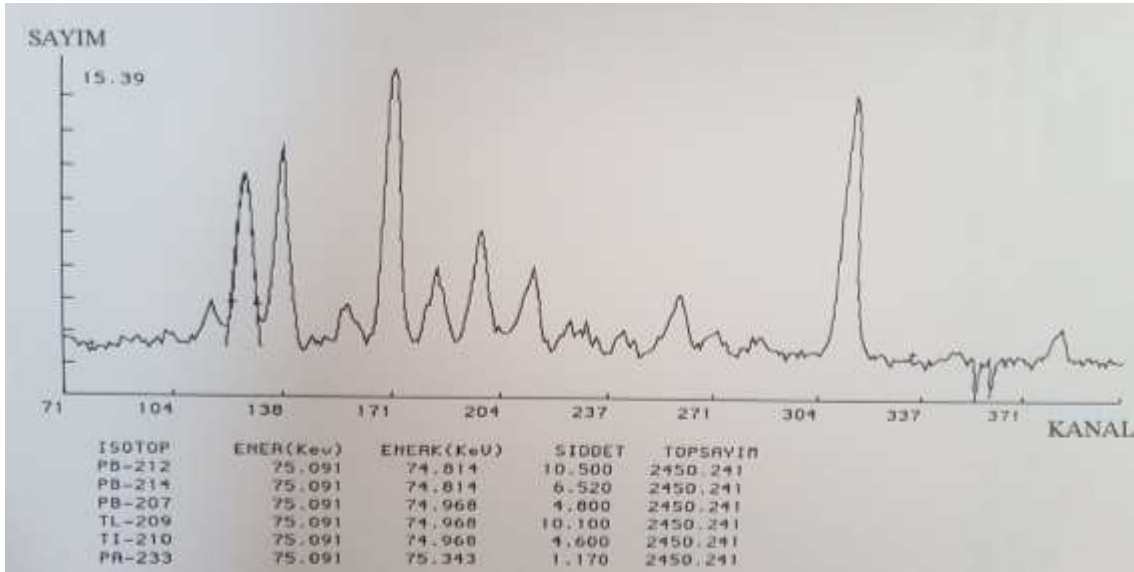
Şekil 2. Bilgisayar programında elde edilen spektrum.

Spektrum üzerinde çalışılmak istenilen bölge fare ile sınır noktalar işaretlenerek seçilir. Fare ile yapılan her işlemde sonra programın bir sonraki aşamaya geçebilmesi için farenin x eksenine altındaki tıklanması gerekmektedir. Bu durumda, Şekil 3’teki gibi spektrum üzerinde seçilen bölge ekrana gelir.



Şekil 3. Spektrum üzerinde seçilen bölge.

Bir sonraki aşama, spektrum üzerinde piki seçmektir. Bu işlemde fare ile pikin her iki kanadına tıklanır. Background'u çıkarmak için pikin her iki yanındaki kuyruğun dışındaki süreklilik bölgesi üzerinde tıklanır. Şekil 4'te görüldüğü gibi pik altındaki toplam sayım, piki oluşturan muhtemel izotopların enerjisi ve şiddeti program tarafından otomatik olarak verilmektedir.



Şekil 4. Programda spektrum analiz sonuçları.

Programda spektrumun analizi sonucu elde edilen sonuçlar Tablo 2'de verilmektedir. Tablo 2'de, toplam sayım değeri spektrumda seçilen pikin program tarafından belirlenen sayım değerini ve Ener (keV) ise spektrumda seçilen pikin program tarafından belirlenen enerji değerini ifade etmektedir. Ener (keV) değerleri ise program tarafından çağrılan veri dosyasıdır. Ener (keV)' e karşılık gelen muhtemel izotoplar, bu izotopların enerjileri ve şiddetleri program tarafından, daha önce oluşturulan veri dosyası çağrılarak belirlenmektedir.

**Tablo 2.** Bilgisayar programında elde edilen analiz sonuçları.

Toplam Sayım	Ener (keV)	Enerk (keV)	İzotop
3966.680	846.872	846.812	Mn-56
1221.397	151.535	151.179	Kr-85m
309.101	743.464	743.407	Zr-97
910.802	267.972	268.272	Ba-135
155.672	487.142	487.021	La-140
322.705	641.300	641.263	La-142
5491.742	166.196	165.852	Ce-139
1323.582	145.785	145.440	Ce-141
5099.363	114.658	114.307	Nd-149
1185.009	156.196	155.852	Nd-149
6232.299	211.655	211.293	Nd-149
2706.864	270.508	270.149	Nd-149
551.876	423.791	423.526	Nd-149
577.374	540.725	540.500	Nd-149
886.134	654.964	654.806	Nd-149
1031.728	103.502	103.180	Sm-153
89382.410	511.116	510.699	Tl-208
2627.017	583.321	583.174	Tl-208
2333.400	75.091	74.814	Pb-212
1153.572	87.524	87.189	Pb-212
8094.564	238.955	238.577	Pb-212
3151.952	77.453	77.107	Pb-214
893.218	727.460	727.250	Bi-212
1751.219	90.276	89.955	Ac-228
2256.772	338.615	338.419	Ac-228
663.621	463.389	463.099	Ac-228
2274.073	911.209	911.160	Ac-228
3992.915	84.528	84.203	Th-231

Bu çalışmada kullanılan toprak örnek, daha önce Akyüz ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada analiz edilmiştir [17]. Akyüz ve arkadaşları tarafından yapılan analiz sonuçları Tablo 3'te verilmektedir.

**Tablo 3.** Akyüz ve arkadaşlarının bu çalışmada kullanılan toprak örnekten elde ettikleri analiz sonuçları [17].

İzotop	Pik Enerjileri (keV)
Tl-208	277.5, 510.8, 583.1
Pb-212	74.9, 77.0, 87.3, 238.6, 300.0
Pb-214	77.4, 87.5, 295.4, 351.8
Bi-212	727.2, 860.5
Bi-214	609.1, 934.1, 1119.9
Ac-228	105.3, 129.1, 209.3, 270.1, 328.2, 338.3, 409.3, 462.9, 794.9

Bu çalışmada oluşturulan bilgisayar programından elde edilen analiz sonuçları (Tablo 2) ile Akyüz ve arkadaşlarının farklı bir çalışmada elde ettikleri sonuçlar (Tablo 3) karşılaştırıldığında, her iki sonucun uyumlu olduğu görülmektedir. Program keskin ve temiz piklerin tanımında oldukça iyi sonuçlar vermektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada gama spektrumunun analizini yapan bir bilgisayar programı yazılmıştır. Programı test etmek için Malatya civarından alınan toprak örnekten elde edilen gama spektrumu analiz edilmiştir. Program, bir ana program ve bu ana programa bağlı alt programlar şeklinde "True Basic" programlama dilinde yazılmıştır. Programdan elde edilen analiz sonuçları, farklı bir grubun analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bu sonuçlara göre, enerji ve izotop değerleri uyusmaktadır. Bunun yanında, programın izotop tanısı kısmında bir izotopun tanınması için aynı çekirdeğin farklı piklerini belirleyecek şekilde programın daha da geliştirilmesi ve alt programların ilave edilmesi yararlı olacaktır. Program, gama spektrumu analizi üzerine bilgisayar programı yazmak isteyen araştırmacılara ışık tutacaktır.

#### Yazarların Katkısı

Bu çalışmada Çetin BOLCAL fikir, eleştiri, bilgisayar ve laboratuvar ortamının sağlanması konusunda katkıda bulunmuştur. Pelin OTANSEV araştırma, veri toplama, laboratuvar çalışması, analiz, yorum, kaynak taraması ve makalenin yazımı konusunda katkı sağlamıştır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Tabar E., Yakut H., Saç M.M., Taşköprü C., İçhedef M., Kuş A. 2017. Natural radioactivity levels and related risk assessment in soil samples from Sakarya, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 313 (1): 249-259.
- [2] Gönen E. 2012. Edirne ilinin çevresel radyoaktivitesinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- [3] Al-Jundi J. 2002. Population doses from terrestrial gamma exposure in areas near to old phosphate mine, Russaifa, Jordan. *Radiation Measurements*, 35 (1): 23-28.
- [4] Faheem M., Mujahid S.A., Matiullah M. 2008. Assessment of radiological hazards due to the natural radioactivity in soil and building material samples collected from six districts of the Punjab province-Pakistan. *Radiation Measurements*, 43 (8): 1443-1447.
- [5] Tzortzis M., Svoukis E., Tsertos H. 2004. A comprehensive study of natural gamma radioactivity levels and associated dose rates from surface soils in Cyprus. *Radiation Protection Dosimetry*, 109 (3): 217-224.
- [6] Kara A. 2008. Karaca ve Çal mağaralarında radon konsantrasyonu ve radyoaktivite seviyesinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [7] UNSCEAR 1993. Sources and effects of ionizing radiation. Report to General Assembly, with scientific Annexes, United Nations, New York.
- [8] UNSCEAR 2000. Sources and effects of ionizing radiation. Report to General Assembly, with scientific Annexes, United Nations, New York.

- [9] Akhtar N., Tufail M., Ashraf M. 2005. Natural environmental radioactivity and estimation of radiation exposure from saline soils. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1 (4): 279-285.
- [10] Kurnaz A., Küçükömeroğlu B., Keser R., Okumuşoğlu N.T., Korkmaz F., Karahan G., Çevik U. 2007. Determination of radioactivity levels and hazards of soil and sediment samples in Fırtına Valley (Rize, Turkey). *Applied Radiation and Isotopes*, 65 (11): 1281-1289.
- [11] Krane K.S. 1988. *Introductory Nuclear Physics*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- [12] Bingöldağ N. 2017. Nevşehir ilinin toprak, su ve tarım ürünlerinde doğal radyoaktivitenin ve ağır metallerin belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Korthoven P.J.M. 1968. A computer program for the analysis of gamma-ray spectra. Research and development report. Iowa State University of Science and Technology, IS-1811, USA, <https://doi.org/10.2172/4544744> (Erişim Tarihi: 09.01.2021).
- [14] Guzzi G., Cuypers J. 1974. A computer program for gamma ray spectrometry with Ge (Li) detectors. Joint Nuclear Research Centre Ispra Establishment, Italy. <http://aei.pitt.edu/91764/1/5117.pdf> (Erişim Tarihi: 09.01.2021).
- [15] Ergün Y.T. 1989. Development of a computer program for analysis of gamma-ray spectra and its use in instrumental neutron activation analysis. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [16] Kemeny G.J., Kurtz T.E. 2002. True Basic. Published by True BASIC Inc, USA, 1-249.
- [17] Akyüz T., Küçer R., Sarıtepe P., Bolcal Ç. 1993. Natural and neutron-induced gamma-ray spectroscopic investigations of the radioactive mineral from the deposits of Malatya. *İstanbul Üniversitesi Astronomi ve Fizik Dergisi*, 58: 1-8.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

**Türkiye'nin örümcek faunası için yeni bir kayıt: *Palaestina dentifera*  
O. Pickard-Cambridge, 1872 (Araneae, Zodariidae)**

İlhan COŞAR\*

*Kırıkkale Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Yahşihan, Kırıkkale, Türkiye  
(ORCID: 0000-0002-8239-0107)*

---

**Öz**

Bu makale, Türkiye araneofaunası için yeni olan bir zodarid türünü bildirmektedir. *Palaestina dentifera* O. Pickard-Cambridge, 1872'nin karakteristik özellikleri ve fotoğrafları sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** *Palaestina*, sistematik, Akdeniz, yeni kayıt, Türkiye.

---

**A new record for the spider fauna of Turkey: *Palaestina dentifera*  
O. Pickard-Cambridge, 1872 (Araneae, Zodariidae)**

---

**Abstract**

This paper reports a zodarid species which is new for the araneofauna of Turkey. The characteristic features and photographs of *Palaestina dentifera* O. Pickard-Cambridge, 1872 are presented.

**Keywords:** *Palaestina*, systematic, Mediterranean, new record, Turkey.

---

**1. Giriş**

Zodariidae familyasına ait türler, karınca ve termitlerden oluşan beslenme diyetine sahip, morfolojik ve ekolojik açıdan çeşitlilik gösteren, ve dünyanın tropik ve subtropik bölgelerinde yayılışa sahip örümceklerdir. Bugüne kadar dünya üzerinde, Zodariidae familyasına ait 87 cins ve 1206 tür kaydedilmiştir. Bu familya içerisinde *Palaestina* O. Pickard-Cambridge, 1872 cinsine ait 3 tür tanımlanmıştır: *P. dentifera* O. Pickard-Cambridge, 1872, *P. eremica* Levy, 1992 ve *P. expolita* O. Pickard-Cambridge, 1872'dir [2]. Bu cins dünya genelinde az bilinen bir cins olup, keliserlerinde dış benzeri frontal dikenlerin yer alması ve ön gözlerin arka gözlerden daha büyük olması ile diğer zodariidlerden kolayca ayırt edilebilirler [3-4]. Mevcut türlerin hepsi Akdeniz havzasında yayılış göstermektedir [2]. Türkiye'de Zodariidae familyası 4 cinsine ait 22 tür bulundurmaktadır [5]. Fakat son yapılan çalışmalar ile bu sayı 27 yükselmiştir [5-13]. *Palaestina* cinsi ise *P. expolita* olmak üzere tek tür ile temsil edilmektedir[5]. Bu çalışmada ise *Palaestina dentifera*, 1872 türü ilk kez Türkiye'den kaydedilmiştir. Bu yeni kayıt ile Türkiye'deki Zodariidae familyasına ait tür sayısı 28'ye, *Palaestina* cinsine ait tür sayısı ise 2'ye yükselmiştir.

**2. Materyal ve Metod**

Çalışmada, Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nden toplanan iki adet dişi örümcek numunesi incelenmiştir. Örnekler taş altından el aspiratörü yardımıyla toplanmıştır. Laboratuvara getirilen örneklerin teşhisi için en iyi bilinen teşhis anahtarları kullanılmıştır [3-4]. Fotoğraflama ise Leica S8APO Stereomikroskop ve buna bağlı Canon EOS 250D fotoğraf makinesi ile yapılmıştır. Dişi örnekler fotoğraflanırken türe özgü karakteristik yapıların daha net fotoğraflarını elde edebilmek için

---

\*Sorumlu yazar: [ilhancsr88@gmail.com](mailto:ilhancsr88@gmail.com)

Geliş Tarihi: 13.01.2021, Kabul Tarihi: 21.03.2021

farklı odak noktaları netleştirilerek çok sayıda fotoğraf çekilmiştir. Çekilen fotoğraflar daha sonra "Combine ZP-Resim Yığıma Yazılımı" kullanılarak net bir görüntü içeren tek bir fotoğraf elde edilmeye çalışılmıştır. En net fotoğraf Adobe® Photoshop CC 2019 yazılımı kullanılarak düzenlenmiştir. Numuneler Kırıkkale Üniversitesi Araknoloji Müzesi (KUAM) Koleksiyonunda, %70'lik etanolde etiketlenerek saklanmıştır. Ölçümler milimetre cinsinden verilmiştir.

### 3. Bulgular

Familya **Zodariidae** Thorell,1881

Cins **Palaestina** O. Pickard-Cambridge, 1872

**Palaestina dentifera** O. Pickard-Cambridge, 1872

*Palaestina dentifera* O. Pickard-Cambridge, 1872: 268 (D ♂♀)

*Palaestina dentifera* Jocqué, 1991a: 139, f. 343-350 (♂♀)

*Palaestina dentifera* Levy, 1992: 72, f. 13-18 (♂♀).

**İncelenen örnek:** 2♀♀, Gaziantep, Nurdağı, 37°11'04"N 36°48'22"D. 559 metre a.s.l., 04.05.2012. Leg. İ. Coşar.

**Teşhis:** *P. dentifera* türü karakteristik özellikleri bakımından *Palaestina* cinsi içerisinde bulunan diğer türlerden farklılık göstermektedir. Bu cins içerisindeki *P. expolita* O. Pickard-Cambridge, 1872 türüyle morfolojik olarak benzerlik göstermekle birlikte; dişi bireyde epijinin orta kısmında "V" şeklinde sklerotize olmuş bir yapıya sahip olmasıyla *P. expolita* türünününden tamamen farklılaşmıştır.

**Betimleme** (♀): Ölçümler: Toplam uzunluk 2.40. Prosoma uzunluk 1.0, genişlik 0.60. Abdomen uzunluk 1.40, genişlik 0.90. Oküler alan uzunluk 0.30. Epijin uzunluk 0.30. Prosoma açık kahverengi ve orta kısmından yanlara doğru uzanan şerit şeklinde koyu renkli desene sahiptir. Prosomanın ön kısmı arka kısmına kıyasla daha yüksek. Ön orta gözlerin etrafı siyah renktedir (Şekil 1). Sternum açık kahverengi olup kenarlarında koyu kahverengi çizgi şeklinde desen bulunmaktadır (Şekil 2). Klipus geniş, açık kahverengidir. Keliserler sarımsı-kahverengi olup her bir keliserin frontal yüzeyinin distalinde 4 adet koyu kahverengi diken benzeri kısa kalın kıllar bulunmaktadır (Şekil 3). Abdomen grimsi-siyah renkte ve kısa koyu renkte kıllar ile kaplıdır (Şekil 1). Ventrali orta hatta beyaz yanlara doğru grimsi açık kahverengidir (Şekil 2). Bacaklar sarı renkte ve kısa koyu renkli kıllar ile kaplıdır (Şekil 1-2). Epijinin ortasında ters "V" şeklinde sklerotize yapı bulunmaktadır. Spermatekalar küçük, koyu renkli nokta şeklinde olup, birbirlerinden çaplarının iki katı mesafeyle ayrılırlar (Şekil 5). Bacak formülü: IV-I-III-II (Tablo 1).

**Dağılım:** İsrail [2].

**Tablo 1.** *Palaestina dentifera* O. Pickard-Cambridge türünün bacak ölçüleri.

Bacaklar	Femur	Patella	Tibia	Metatarsus	Tarsus	Toplam
I	0.60	0.20	0.50	0.40	0.35	2.05
II	0.50	0.20	0.40	0.35	0.30	1.75
III	0.50	0.20	0.35	0.40	0.35	1.80
IV	0.70	0.25	0.60	0.65	0.40	2.60



Şekil 1-2. *Palaestina dentifera* ♀, genel görünüş. 1. Dorsal görünüm, 2. Ventral görünüm (Skala: 0.5 mm).



Şekil 3-5. *Palaestina dentifera* ♀, 3. Frontal görünüm, 4. Oküler alan. 5. Epijin, ventral görünüm (Skala: 0.2 mm).

## Yazarların Katkısı

Bu makaledeki tüm katkı yazara aittir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Jocqué R., Dippenaar-Schoeman A. 2006. Spider families of the world. Royal Museum for Central Africa, 1-336.
- [2] WSC 2021. World Spider Catalog, version 21.5. Natural History Museum Bern, online at <http://wsc.nmbe.ch> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- [3] Jocqué R. 1991. A generic revision of the spider family Zodariidae (Araneae). Bulletin of the American Museum of Natural History, 201: 1-160.
- [4] Levy G. 1992. The spider genera *Palaestina*, *Trygetus*, *Zodarion* and *Ranops* (Araneae, Zodariidae) in Israel with annotations on species of the Middle East. Israel Journal of Zoology, 38: 67-110.
- [5] Danışman T., Kunt K.B., Özkütük R.S. 2019. The Checklist of the Spiders of Turkey. Version 2019, online at <http://www.spidersofturkey.info> (Erişim Tarihi: 30.04.2021).
- [6] Danışman T., Rubio G.D. 2017. A new species of *Zodarion* Walckenaer, 1826 (Araneae: Zodariidae) from Turkey. Entomological News, 127: 178-183.
- [7] Danışman, T., Varol M.İ., Coşar İ. 2017. Two new records of little-known myrmecomorphic spiders in Turkey (Araneae: Phrurolithidae and Zodariidae). Serket, 15: 150-153.
- [8] Wunderlich J., 2017. Descriptions, notes and synonyms of some mainly Mediterranean and Macaronesian spiders (Araneae) of various families. Beiträge zur Araneologie, 10: 298-326, 354.
- [9] Danışman T., Coşar İ. 2020. A new species of the genus *Zodarion* Walckenaer, 1826 (Araneae: Zodariidae) from Turkey. Entomological News, 129: 43-48.
- [10] Dimitrov D. 2020. Taxonomic contribution to the genus *Zodarion* Walckenaer, 1826 in Turkey with description of a new species (Araneae: Zodariidae). Zootaxa, 4810 (2): 361-367.
- [11] Coşar İ., Danışman T., Yağmur E.A. 2021. Contributions to the genus *Zodarion* Walckenaer, 1826 in Turkey, with the description of a new species (Araneae: Zodariidae). Turkish Journal of Zoology, 45 (1): 46-53.
- [12] Coşar İ. 2021. Two new species of *Zodarion* Walckenaer, 1826 (Araneae: Zodariidae) from Turkey. Zootaxa, 4948 (4): 559-568.
- [13] Danışman T., Coşar İ. 2021. Description of a new zodariine spider, *Zodarion gaziantepense* sp. n., in the *Z. spinibarbe* species group from Turkey (Araneae: Zodariidae). Entomological News, 129 (5): 553-557.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Analysis of Elastic Scattering Angular Distributions of Proton Halo Nuclei by Using Density-Dependent and Density-Independent Proximity Potentials**

Murat AYGÜN\*

*Bitlis Eren University, Physics Department, Bitlis  
(ORCID: 0000-0002-4276-3511)*

---

### **Abstract**

In this work, alternative potentials were sought to clarify the elastic scattering angular distributions of 1p halo nuclei  $^8\text{B}$ ,  $^{17}\text{F}$  and 2p halo nucleus  $^9\text{C}$ . Thirteen different versions of density-independent proximity potentials were first studied. The theoretical results were compared with each other and with experimental data, and good agreement results were obtained. Then, the calculations were repeated for density-dependent proximity potential in order to make a comparative study. It was seen that the results with density-dependent potential were not very enough in explaining the elastic scattering cross-sections of 1p and 2p halo nuclei.

**Keywords:** Halo nuclei, nuclear potential, proximity potential, elastic scattering, optical model.

---

## **Yoğunluğa Bağlı ve Yoğunluktan Bağımsız Proximity Potansiyeller Kullanılarak Proton Halo Çekirdeklerin Elastik Saçılma Açısız Dağılımlarının Analizi**

---

### **Öz**

Bu çalışmada, 1p halo çekirdekleri  $^8\text{B}$ ,  $^{17}\text{F}$  ile 2p halo çekirdeği  $^9\text{C}$ 'un elastik saçılma açısız dağılımlarını açıklamak için alternatif potansiyeller araştırıldı. İlk olarak, yoğunluktan bağımsız proximity potansiyellerin on üç farklı versiyonu çalışıldı. Teorik sonuçlar birbirleriyle ve deneysel verilerle karşılaştırıldı ve iyi uyumlu sonuçlar elde edildi. Daha sonra, karşılaştırmalı bir çalışma yapmak için yoğunluğa bağlı proximity potansiyel için hesaplamalar tekrar edildi. Yoğunluğa bağlı potansiyel sonuçlarının 1p ve 2p halo çekirdeklerinin elastik saçılma tesir kesitlerini açıklamada çok yeterli olmadığı görüldü.

**Anahtar kelimeler:** Halo çekirdekler, nükleer potansiyel, proximity potansiyel, elastik saçılma, optik model.

---

### **1. Introduction**

Elastic scattering is one of the most common reactions used in obtaining reliable information regarding nuclear structure and nuclear reactions. It can also be evaluated to get information about reaction observability. As a result of this, a lot of theoretical and experimental studies have been performed up to now.

The nuclear potential assumed in the description of the elastic scattering cross-sections (ESCCs) has a great importance. In this paper, different nuclear potentials such as Woods-Saxon (WS), Woods-Saxon square (WS<sup>2</sup>), São Paulo (SP) and Double Folding (DF) can be used. However, identifying alternative potentials for the analysis of nuclear interactions remains important for nuclear reactions.

Proximity type potentials play a significant role in nuclear physics researches. They are extensively used to explain nuclear fusion reactions,  $\alpha$ -decay and radioactivity [1-4]. Recently, Aygun has applied proximity potentials in clarifying the cross-sections of some nuclear scattering reactions [5-8]. He has obtained good agreement results with the experimental data.

---

\*Corresponding author: [maygun@beu.edu.tr](mailto:maygun@beu.edu.tr)

Received: 21.01.2021, Accepted: 21.03.2021

Halo nuclei, which are composed of a tightly bound core and one or more nucleons moving around this core, are among the hottest topics in the past few decades. Halo nuclei can be considered as neutron or proton halo nuclei. If valence nucleon(s) is neutron(s), it is named as a neutron halo nucleus, and if valence nucleon(s) consists of proton(s), it is called as a proton halo nucleus. In this context,  ${}^8\text{B}$  and  ${}^{17}\text{F}$  are 1p halo nuclei and  ${}^9\text{C}$  is 2p halo nucleus. Proximity potentials have been not sufficiently utilized in the analysis of ESCCs of proton halo nuclei although some reactions of neutron halo nuclei are investigated. Therefore, we think it would be useful to determine the applicability of density-dependent and density-independent proximity potentials in the analysis of the ESCCs of various proton halo nuclei.

In the present study, we investigated the elastic scattering angular distributions (ESADs) of 1p halo nuclei  ${}^8\text{B}$ ,  ${}^{17}\text{F}$  and 2p halo nucleus  ${}^9\text{C}$  by different targets. With this goal, we used thirteen versions of density-independent proximity potentials including the Proximity 1977 (Prox 77) [9], Modified Proximity 1988 (Mod-Prox 88) [10], Proximity 1995 (Prox 95) [11], Proximity 2003 (Prox 2003) [12], Proximity 2010 (Prox 2010) [13], Broglia and Winther 1991 (BW 91) [14], Aage Winther (AW 95) [15], Akyuz-Winther (AW) [16], Christensen and Winther 1976 (CW 76) [17], Bass 1973 (Bass 73) [18, 19], Bass 1980 (Bass 80) [14], Ngô 1980 (Ngo) [20] and Denisov (DP) [21]. Then, we calculated the ESADs of proton halo nuclei over density-dependent proximity potential such as Guo 2013 [22] in order to perform a comparative study. We simultaneously compared the theoretical results with the experimental data. Finally, we proposed alternative potentials for the analysis of the ESCCs of proton halo nuclei  ${}^8\text{B}$ ,  ${}^{17}\text{F}$  and  ${}^9\text{C}$ .

## 2. Material and Methods

### 2.1. Calculation Process

The total interaction potential for the theoretical calculations of proton halo nuclei can be written as

$$V_{total}(r) = V_{Nucl}(r) + V_{Coul}(r) \quad (1)$$

The nuclear potential ( $V_{Nucl}(r)$ ) consists of the real and the imaginary parts. The real potential is produced by using thirteen various density-independent and one density-dependent versions of proximity potentials. The imaginary potential is used as WS potential in the following form

$$W(r) = \frac{W_0}{\left[1 + \exp\left(\frac{r - R_w}{a_w}\right)\right]}, \quad R_w = r_w(A_p^{1/3} + A_t^{1/3}) \quad (2)$$

where  $W_0$ ,  $r_w$  and  $a_w$  are the depth, radius and diffuseness parameters, respectively. The Coulomb potential ( $V_{Coul}(r)$ ) is shown by [23].

$$V_{Coul}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_p Z_t e^2}{r} \quad r \geq R_c \quad (3)$$

$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Z_p Z_t e^2}{2R_c} \left(3 - \frac{r^2}{R_c^2}\right), \quad r \leq R_c \quad (4)$$

$$R_c = 1.25(A_p^{1/3} + A_t^{1/3}) \quad (5)$$

The code FRESKO [24] is applied in the ESCC calculations.

## 2.2. Density-Independent Proximity Potentials

### 2.2.1. Prox 77, Mod-Prox 88, Prox 95, Prox 2003, Prox 2010

Prox 77 [9] is assumed as

$$V_N^{\text{Prox 77}}(r) = 4\pi\gamma b \left( \frac{C_p C_t}{C_p + C_t} \right) \Phi \left( \zeta = \frac{r - C_p - C_t}{b} \right) \text{ MeV,} \quad (6)$$

where

$$\gamma = \gamma_0 \left[ 1 - k_s \left( \frac{N - Z}{N + Z} \right)^2 \right], \quad C_i = R_i \left[ 1 - \left( \frac{b}{R_i} \right)^2 + \dots \right] \quad (7)$$

$$b \approx 1 \text{ fm}, \quad R_i = 1.28A_i^{1/3} - 0.76 + 0.8A_i^{-1/3} \text{ fm} \quad (i = p, t). \quad (8)$$

The universal function ( $\Phi(\zeta)$ ), can be written as

$$\Phi(\zeta) = \begin{cases} -\frac{1}{2}(\zeta - 2.54)^2 - 0.0852(\zeta - 2.54)^3, & \text{for } \zeta \leq 1.2511 \\ -3.437 \exp\left(-\frac{\zeta}{0.75}\right), & \text{for } \zeta \geq 1.2511 \end{cases} \quad (9)$$

In the literature, different types of proximity potentials can be obtained. These potentials are the same as Prox 77 potential except for  $\gamma_0$  and  $k_s$  values which are presented in Table 1.

**Table 1.**  $\gamma_0$  and  $k_s$  values of Prox 77, Mod-Prox 88, Prox 95, Prox 2003 and Prox 2010.

Potential type	$\gamma_0$ (MeV/fm <sup>3</sup> )	$k_s$	Ref.
Prox 77	0.9517	1.7826	[25]
Mod-Prox-88	1.65	2.3	[10]
Prox 95	1.25284	2.345	[11]
Prox 2003	1.08948	1.9830	[12]
Prox 2010	1.460734	4.0	[13,26,27]

### 2.2.2. BW 91

BW 91 [14] is taken in the following form

$$V_N^{\text{BW91}}(r) = - \frac{V_0}{\left[ 1 + \exp\left(\frac{r - R_0}{a}\right) \right]} \text{ MeV,} \quad V_0 = 16\pi \frac{R_p R_t}{R_p + R_t} \gamma a, \quad a = 0.63 \text{ fm,} \quad (10)$$

where

$$R_0 = R_p + R_t + 0.29, \quad R_{p,t} = 1.233A_{p,t}^{1/3} - 0.98A_{p,t}^{-1/3} \text{ fm} \quad (11)$$

$$\gamma = 0.95 \left[ 1 - 1.8 \left( \frac{N_p - Z_p}{A_p} \right) \left( \frac{N_t - Z_t}{A_t} \right) \right]. \quad (12)$$

### 2.2.3. AW 95

AW 95 [15] is the same as BW 91 potential except for

$$a = \left[ \frac{1}{1.17(1 + 0.53(A_p^{-1/3} + A_t^{-1/3}))} \right] \text{ fm}, \quad R_0 = R_p + R_t, \quad R_{p,t} = 1.2A_{p,t}^{1/3} - 0.09 \quad (13)$$

### 2.2.4. AW

AW [16] can be written as

$$V_N^{AW}(r) = -65.4 \frac{R_p R_t}{R_p + R_t} \exp\left(\frac{r - R_p - R_t}{d}\right) \text{ MeV}, \quad (14)$$

where

$$R_{p,t} = (1.20A_i^{1/3} - 0.35) \text{ fm}, \quad d = \left[ \frac{1}{1.16(1 + 0.48(A_p^{-1/3} + A_t^{-1/3}))} \right] \text{ fm}. \quad (15)$$

### 2.2.5. CW 76

CW 76 [17] is taken as

$$V_N^{CW76}(r) = -50 \frac{R_p R_t}{R_p + R_t} \phi\left(\frac{r - R_p - R_t}{0.63}\right) \text{ MeV}, \quad (16)$$

where

$$R_{p,t} = 1.233A_{p,t}^{1/3} - 0.978A_{p,t}^{-1/3} \text{ fm}. \quad (17)$$

### 2.2.6. Bass 73

Bass 73 [18, 19] can be formulated as

$$V_N^{\text{Bass 73}}(r) = -\frac{da_s A_1^{1/3} A_2^{1/3}}{R_{12}} \exp\left(-\frac{r - R_{12}}{d}\right) \text{ MeV}, \quad (18)$$

where

$$R_{12} = 1.07(A_1^{1/3} + A_2^{1/3}), \quad d = 1.35 \text{ fm}, \quad a_s = 17 \text{ MeV} \quad (19)$$

### 2.2.7. Bass 80

Bass 80 [14] can be written as



$$V_N^{Bass80}(s) = \left( \frac{R_p R_t}{R_p + R_t} \right) \Phi(s = r - R_p - R_t) \text{ MeV}, \quad (20)$$

where

$$R_{p,t} = R_s \left( 1 - \frac{0.98}{R_s^2} \right), \quad R_s = 1.28 A_{p,t}^{1/3} - 0.76 + 0.8 A_{p,t}^{-1/3} \text{ fm} \quad (21)$$

$$\phi(s) = \left[ 0.033 \exp\left(\frac{s}{3.5}\right) + 0.007 \exp\left(\frac{s}{0.65}\right) \right]^{-1} \quad (22)$$

### 2.2.8. Ngo

Ngo [20] can be given in the following form

$$V_N^{Ngo}(r) = \left( \frac{C_p C_t}{C_p + C_t} \right) \Phi(s = r - C_p - C_t) \text{ MeV}, \quad (23)$$

where

$$C_i = R_i \left[ 1 - \left( \frac{b}{R_i} \right)^2 + \dots \right], \quad R_i = \frac{NR_{ni} + ZR_{pi}}{A_i} \quad (i = p, t) \quad (24)$$

$$R_{pi} = 1.28 A_i^{1/3} \text{ fm}, \quad R_{ni} = (1.1375 + 1.875 A_i^{-4}) A_i^{-1/3} \text{ fm} \quad (25)$$

and

$$\Phi(s) = \begin{cases} -33 + 5.4(s - s_0)^2, & \text{for } s < s_0, \\ -33 \exp\left(-\frac{1}{5}(s - s_0)^2\right), & \text{for } s \geq s_0 \\ s_0 = -1.6 \text{ fm} \end{cases} \quad (26)$$

### 2.2.9. DP

DP [21] can be presented as

$$V_N^{DP}(r) = -1.989843 \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \phi(r - R_1 - R_2 - 2.65) \times \left[ 1 + 0.003525139 \left( \frac{A_1}{A_2} + \frac{A_2}{A_1} \right)^{3/2} - 0.4113263(I_1 + I_2) \right] \text{ MeV}, \quad (27)$$

where

$$I_i = \frac{N_i - Z_i}{A_i}, \quad R_i = R_{ip} \left( 1 - \frac{3.413817}{R_{ip}^2} \right) + 1.284589 \left( I_i - \frac{0.4A_i}{A_i + 200} \right), \quad (28)$$

$$R_{ip} = 1.24A_i^{1/3} \left( 1 + \frac{1.646}{A_i} - 0.191 \left( \frac{A_i - 2Z_i}{A_i} \right) \right) \text{ fm} \quad (i = 1, 2). \quad (29)$$

The universal function  $\phi(s = r - R_1 - R_2 - 2.65)$  is assumed as

$$\phi(s) = \begin{cases} 1 - \frac{s}{0.7881663} + 1.229218s^2 - 0.2234277s^3 - 0.1038769s^4 - \\ \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} (0.1844935s^2 + 0.07570101s^3 + \\ (I_1 + I_2)(0.04470645s^2 + 0.0334687s^3) & (-5.65 \leq s \leq 0), \\ \left( 1 - s^2 \left( \frac{0.05410106 \frac{R_1R_2}{R_1 + R_2} \exp\left(-\frac{s}{1.76058}\right) -}{0.539542(I_1 + I_2) \exp\left(-\frac{s}{2.424408}\right)} \right) \right) \exp\left(-\frac{s}{0.7881663}\right) & (s \geq 0), \end{cases} \quad (30)$$

### 2.3. Density-Dependent Guo 2013 Proximity Potential

Guo 2013 [22] can be expressed as

$$V_N^{Guo\ 2013}(r) = 4\pi\gamma b \left( \frac{R_p R_t}{R_p + R_t} \right) \Phi(\zeta), \quad (31)$$

where

$$b \approx 1 \text{ fm}, \quad \gamma = 0.9517 \left[ 1 - 1.7826 \left( \frac{N - Z}{A} \right)^2 \right], \quad (32)$$

and

$$R_{p,t} = 1.28A_{p,t}^{1/3} - 0.76 + 0.8A_{p,t}^{-1/3} \text{ fm}. \quad (33)$$

The universal function  $\Phi(\zeta)$  is accepted as

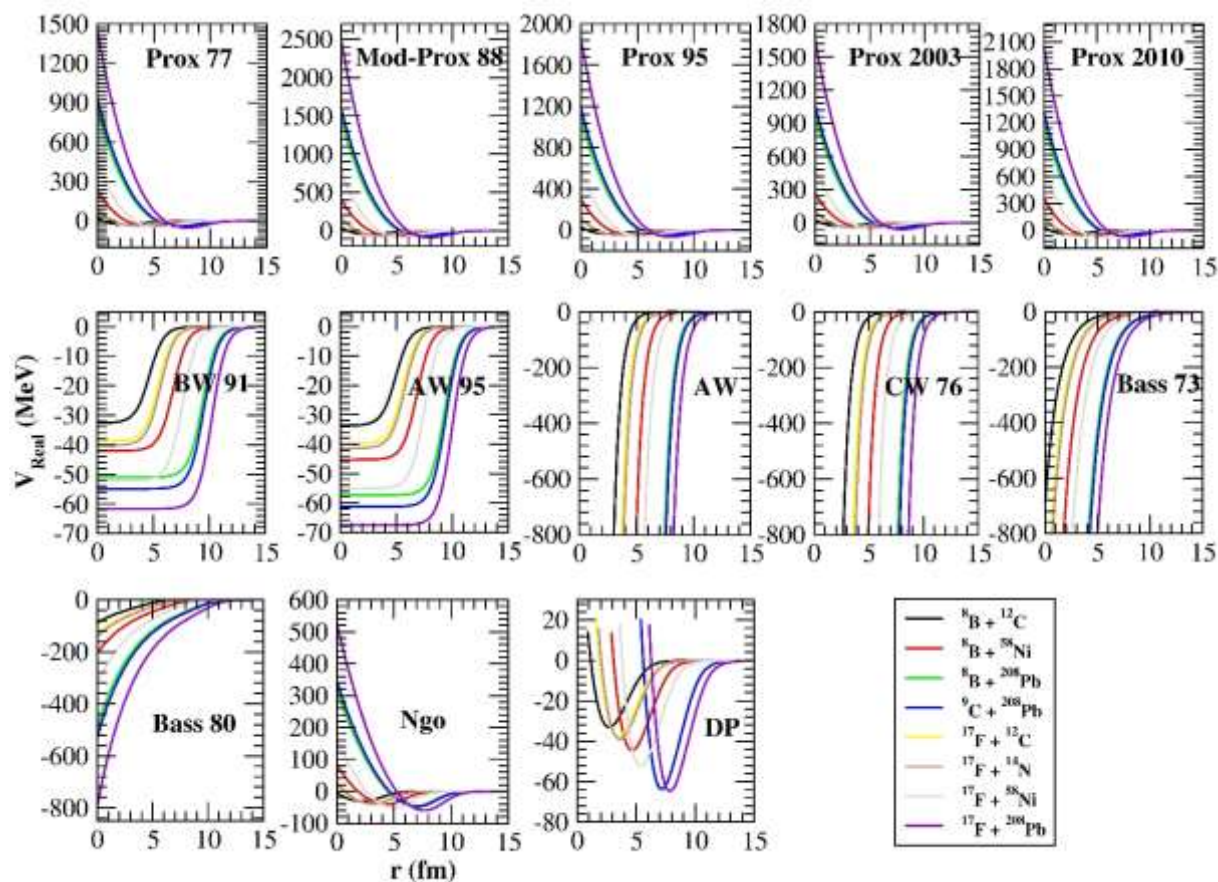
$$\Phi(\zeta) = - \frac{p_1}{\left[ 1 + \exp\left(\frac{\zeta + p_2}{p_3}\right) \right]}, \quad \zeta = \frac{r - R_1 - R_2}{b}, \quad (34)$$

where  $p_1 = -17.72$ ,  $p_2 = 1.30$ , and  $p_3 = 0.854$ .

### 3. Results and Discussion

We analyzed the ESADs of 1p halo nuclei  ${}^8\text{B}$  and  ${}^{17}\text{F}$  and 2p halo nucleus  ${}^9\text{C}$  using density-dependent and density-independent proximity potentials. For this purpose, we carried out the theoretical calculations over thirteen density independent nuclear potentials and one density-dependent nuclear potential.

The theoretical calculations based on density-dependent and density-independent proximity potentials were performed within the optical model. Proximity potentials were first acquired via FORTRAN code which was formed by us, and FRESKO cards were produced. Thus, the real potentials were achieved. Also, the changes with distance of Prox 77, Mod-Prox 88, Prox 95, Prox 2003, Prox 2010, BW 91, AW 95, AW, CW 76, Bass 73, Bass 80, Ngo and DP were displayed in Figure 1.



**Figure 1.** Changes with distance of the real potentials for Prox 77, Mod-Prox 88, Prox 95, Prox 2003, Prox 2010, BW 91, AW 95, AW, CW 76, Bass 73, Bass 80, Ngo and DP.

The WS potential for the imaginary part in all the calculations were used. The potential parameters ( $W_0$ ,  $r_w$  and  $a_w$ ) were released during the theoretical calculations. The  $r_w$  and  $a_w$  values were researched in steps of 0.1 fm and 0.01 fm, and the  $W_0$  value was fixed in the results compatible with the data. The potential parameters of all the reactions analyzed in our study were listed in Tables 2, 3 and 4.

**Table 2.** The  $W_0$  (in MeV),  $r_w$  (in fm) and  $a_w$  (in fm) parameters used in the elastic scattering calculations of  ${}^8\text{B} + {}^{12}\text{C}$ ,  ${}^8\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$  and  ${}^8\text{B} + {}^{208}\text{Pb}$  reactions over Prox 77, Mod-Prox 88, Prox 95, Prox 2003, Prox 2010, BW 91, AW 95, AW, CW 76, Bass 73, Bass 80, Ngo and DP.

Reaction	Parameter	Prox 77	Mod-Prox 88	Prox 95	Prox 2003	Prox 2010	BW 91	AW 95	AW	CW 76	Bass 73	Bass 80	Ngo	DP
${}^8\text{B} + {}^{12}\text{C}$	$W_0$	27.0	30.0	28.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	30.0	8.50	30.0	30.0	23.0
	$r_w$	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.33	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
	$a_w$	0.79	0.76	0.78	0.80	0.78	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.75	0.80	0.80
${}^8\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$	$W_0$	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0	29.0
	$r_w$	1.44	1.43	1.44	1.44	1.44	1.46	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44	1.49
	$a_w$	0.565	0.55	0.555	0.56	0.545	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.59	0.557
${}^8\text{B} + {}^{208}\text{Pb}$	$W_0$	38.0	38.0	38.0	38.0	38.0	35.0	38.0	38.0	38.0	28.0	38.0	42.0	43.0
	$r_w$	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
	$a_w$	0.75	0.74	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.62	0.74	0.75	0.75

**Table 3.** The same as Table 2, but for  ${}^{17}\text{F} + {}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{17}\text{F} + {}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{17}\text{F} + {}^{58}\text{Ni}$  and  ${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$  reactions.

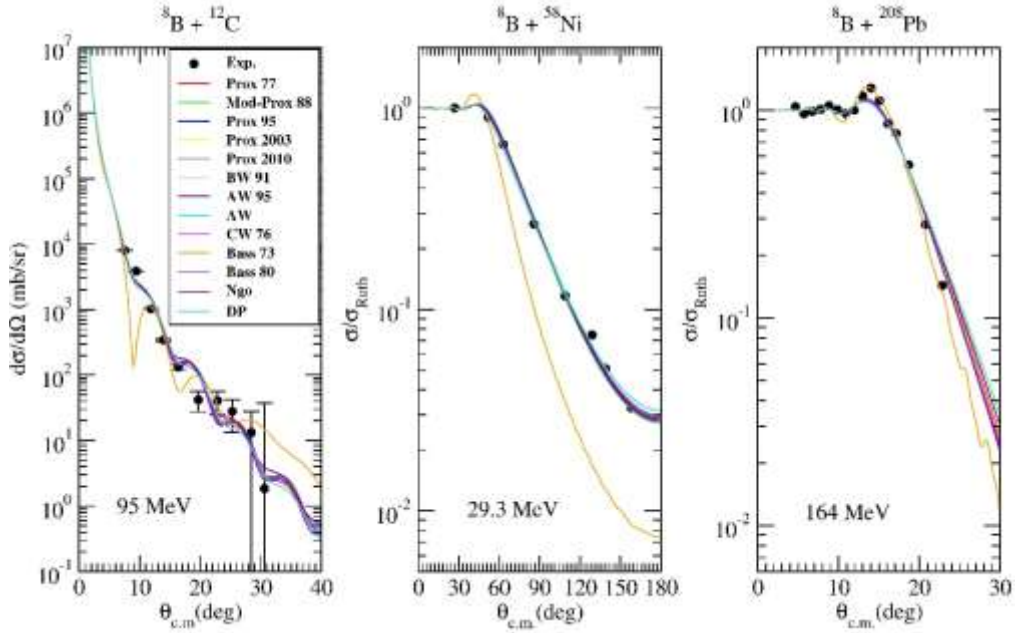
Reaction	Parameter	Prox 77	Mod-Prox 88	Prox 95	Prox 2003	Prox 2010	BW 91	AW 95	AW	CW 76	Bass 73	Bass 80	Ngo	DP
${}^{17}\text{F} + {}^{12}\text{C}$	$W_0$	10.0	11.0	14.0	10.2	11.7	11.8	11.0	12.0	14.0	18.0	11.5	8.00	6.30
	$r_w$	1.34	1.35	1.35	1.37	1.35	1.35	1.35	1.35	1.30	1.35	1.35	1.30	1.25
	$a_w$	0.48	0.56	0.53	0.50	0.56	0.58	0.50	0.52	0.52	0.42	0.52	0.52	0.82
${}^{17}\text{F} + {}^{14}\text{N}$	$W_0$	13.5	15.5	13.5	13.5	13.5	13.5	13.5	15.5	15.5	9.50	14.5	9.50	6.50
	$r_w$	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
	$a_w$	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.56	0.50	0.50	0.56	0.50	0.50	0.45	0.45
${}^{17}\text{F} + {}^{58}\text{Ni}$	$W_0$	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	68.0	18.0	18.0	18.0
	$r_w$	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.37	1.39	1.37	1.37	1.37
	$a_w$	0.74	0.71	0.72	0.73	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.53	0.72	0.81	0.84
${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$	$W_0$	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	28.0	18.0	18.0	18.0
	$r_w$	1.37	1.33	1.37	1.37	1.37	1.34	1.37	1.37	1.34	1.20	1.32	1.37	1.37
	$a_w$	0.52	0.52	0.52	0.52	0.53	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0.50	0.52	0.57

**Table 4.** The same as Table 2, but for  ${}^9\text{C} + {}^{208}\text{Pb}$  reaction.

Reaction	Parameter	Prox 77	Mod-Prox 88	Prox 95	Prox 2003	Prox 2010	BW 91	AW 95	AW	CW 76	Bass 73	Bass 80	Ngo	DP
${}^9\text{C} + {}^{208}\text{Pb}$	$W_0$	36.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
	$r_w$	1.31	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.35
	$a_w$	0.48	0.47	0.54	0.56	0.52	0.47	0.48	0.48	0.47	0.48	0.48	0.62	0.48

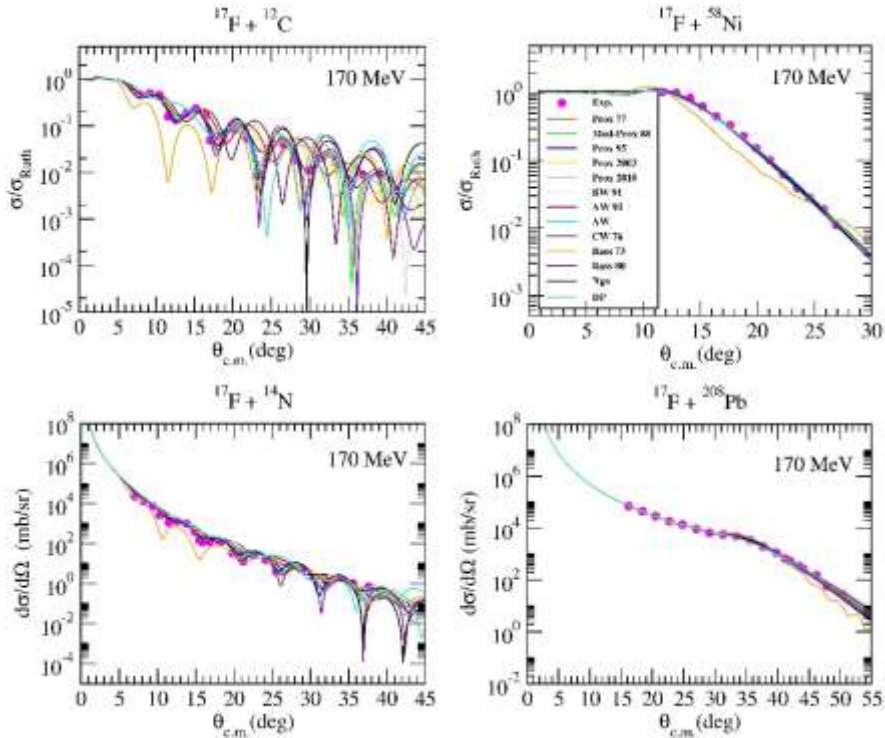
### 3.1. Analysis with Density-Independent Proximity Potentials

We first calculated the ESCCs of  ${}^8\text{B} + {}^{12}\text{C}$  (at 95 MeV),  ${}^8\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$  (at 29.3 MeV) and  ${}^8\text{B} + {}^{208}\text{Pb}$  (at 164 MeV). We compared the theoretical results with the data in Figure 2. We observed that the results of the other potentials except for Bass 73 potential exhibited a very similar behavior with the data. Especially, it was seen that the result of Bass 73 potential was far from the data at 29.3 MeV. On the other hand, we can say that the proximity potentials are successful in the  ${}^8\text{B}$  reactions.



**Figure 2.** The ESCCs of  ${}^8\text{B} + {}^{12}\text{C}$ ,  ${}^8\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$  and  ${}^8\text{B} + {}^{208}\text{Pb}$  reactions by using density-independent Prox 77, Mod-Prox 88, Prox 95, Prox 2003, Prox 2010, BW 91, AW 95, AW, CW 76, Bass 73, Bass 80, Ngo and DP potentials. The data are taken from Refs. [28, 29].

Then, we calculated the ESCCs of  ${}^{17}\text{F} + {}^{12}\text{C}$  (at 170 MeV),  ${}^{17}\text{F} + {}^{14}\text{N}$  (at 170 MeV),  ${}^{17}\text{F} + {}^{58}\text{Ni}$  (at 170 MeV) and  ${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$  (at 170 MeV) reactions. We compared the results with the data in Figure 3. Despite the oscillatory structure of the data of  ${}^{17}\text{F} + {}^{12}\text{C}$  reaction, it can be said that the results are successful with the data. Also, the results of proximity potentials except for Bass 73 were seen to be very successful the experimental data of  ${}^{17}\text{F} + {}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{17}\text{F} + {}^{58}\text{Ni}$  and  ${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$  reactions.

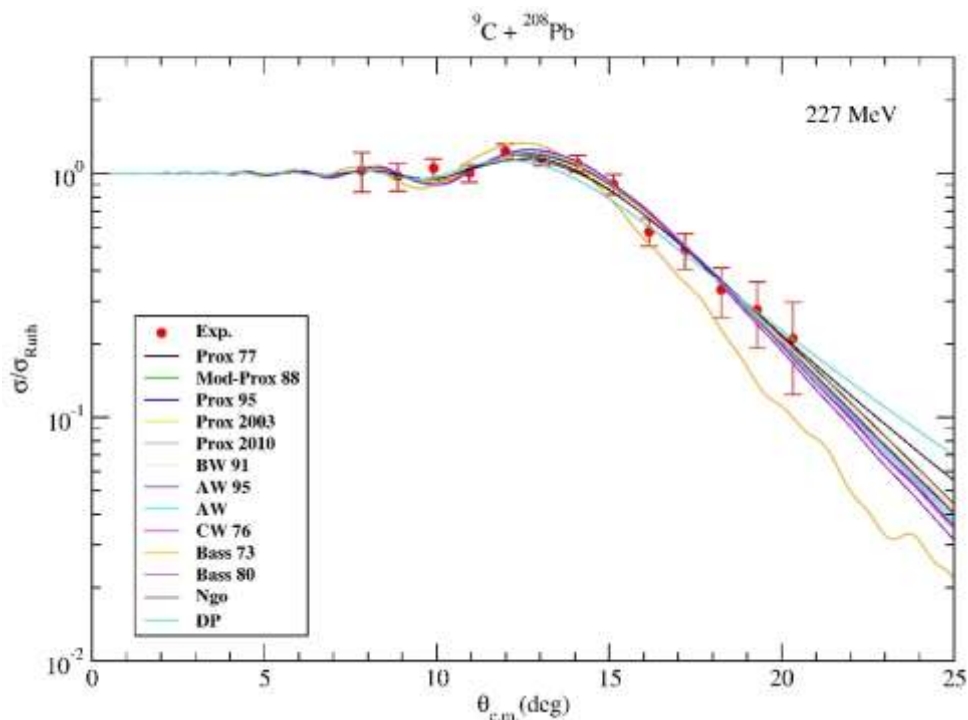


**Figure 3.** The same as Fig. 2, but for  ${}^{17}\text{F} + {}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{17}\text{F} + {}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{17}\text{F} + {}^{58}\text{Ni}$  and  ${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$  reactions. The data are taken from Refs. [28, 29].

As 2p halo nucleus reaction, we examined the ESCC of  ${}^9\text{C} + {}^{208}\text{Pb}$  reaction at 227 MeV. We obtained the ESCCs, and compared the theoretical results and the data in Figure 4. We observed that the behaviors of the potentials except for Bass 73 potential are compatible with each other, and were found to be successful with the data. Thus, we can say that the proximity potentials except for Bass 73 would be considered as alternative potentials in explaining 2p halo nucleus reaction. Additionally, we gave the cross-section values for all the reactions analyzed over density-independent proximity potentials in Table 5. The cross-sections were observed to be supportive of each other.

**Table 5.** The cross-sections (in mb) calculated by using Prox 77, Mod-Prox 88, Prox 95, Prox 2003, Prox 2010, BW 91, AW 95, AW, CW 76, Bass 73, Bass 80, Ngo and DP.

Potential type	${}^8\text{B} + {}^{12}\text{C}$	${}^8\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$	${}^8\text{B} + {}^{208}\text{Pb}$	${}^{17}\text{F} + {}^{12}\text{C}$	${}^{17}\text{F} + {}^{14}\text{N}$	${}^{17}\text{F} + {}^{58}\text{Ni}$	${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$	${}^9\text{C} + {}^{208}\text{Pb}$
Prox 77	1927	937	3664	1476	1642	2820	2632	3232
Mod-Prox 88	1921	904	3648	1633	1699	2769	2466	3035
Prox 95	1927	926	3669	1642	1654	2783	2640	3166
Prox 2003	1992	931	3666	1565	1647	2801	2636	3205
Prox 2010	1957	912	3670	1640	1661	2786	2663	3127
BW 91	1950	958	3656	1668	1737	2786	2510	3043
AW 95	2001	919	3673	1584	1680	2786	2640	3061
AW	1996	916	3672	1611	1705	2788	2646	3058
CW 76	1994	943	3672	1552	1777	2788	2514	3046
Bass 73	1570	1077	3256	1647	1654	2953	2078	3077
Bass 80	1902	920	3649	1598	1684	2788	2392	3060
Ngo	1986	971	3712	1378	1499	2965	2622	3333
DP	1873	1024	3717	1440	1366	3026	2713	3408

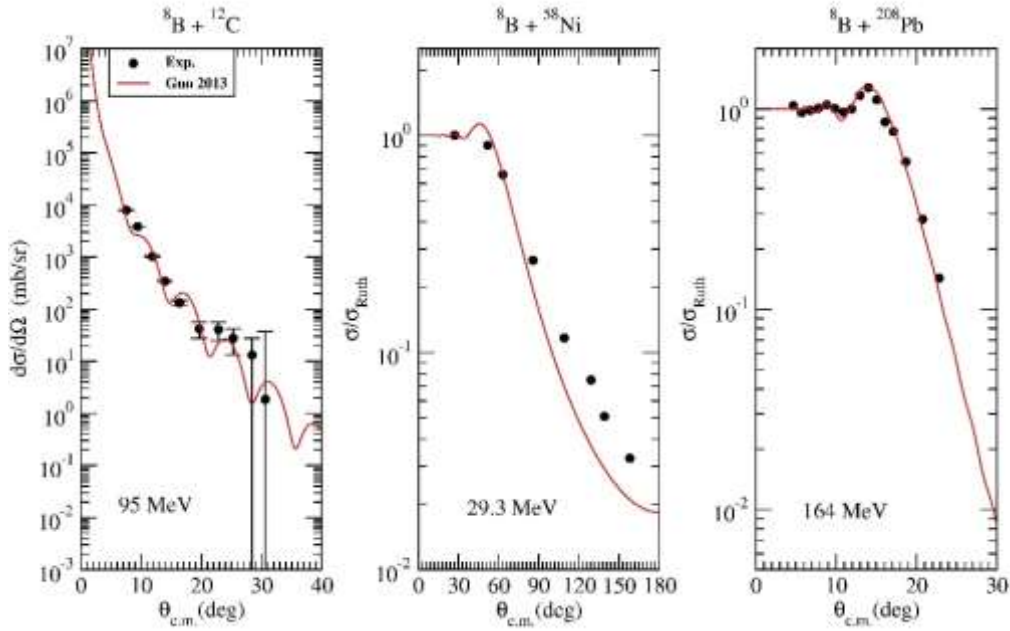


**Figure 4.** The same as Fig. 2, but for  ${}^9\text{C} + {}^{208}\text{Pb}$  reaction. The data are taken from Refs. [28, 29].

### 3.2. Analysis with Density-Dependent Proximity Potential

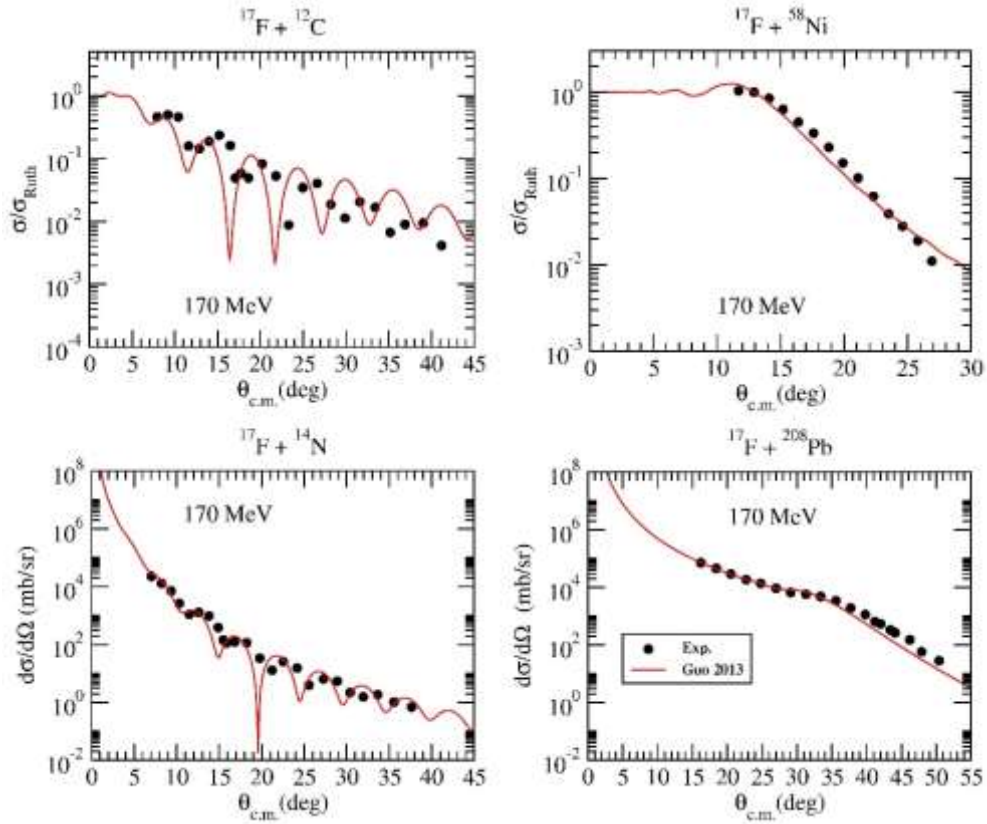
We also examined the ESAD of 1p halo nuclei  ${}^8\text{B}$  and  ${}^{17}\text{F}$  and 2p halo nucleus  ${}^9\text{C}$  reactions by using density-dependent proximity potential which consist of Guo 2013.

We calculated the ESCCs of  ${}^8\text{B} + {}^{12}\text{C}$  (at 95 MeV),  ${}^8\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$  (at 29.3 MeV) and  ${}^8\text{B} + {}^{208}\text{Pb}$  (at 164 MeV). We compared our results with the data in Figure 5. Guo 2013 potential are in very good agreement with the data of  ${}^8\text{B} + {}^{12}\text{C}$  and  ${}^8\text{B} + {}^{208}\text{Pb}$  systems, but not valid for  ${}^8\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$ .



**Figure 5.** The ESCCs of  ${}^8\text{B} + {}^{12}\text{C}$ ,  ${}^8\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$  and  ${}^8\text{B} + {}^{208}\text{Pb}$  reactions by using density-dependent Guo 2013 potential.

Similarly, we acquired the ESCCs of  ${}^{17}\text{F} + {}^{12}\text{C}$  (at 170 MeV),  ${}^{17}\text{F} + {}^{14}\text{N}$  (at 170 MeV),  ${}^{17}\text{F} + {}^{58}\text{Ni}$  (at 170 MeV) and  ${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$  (at 170 MeV) reactions. We presented the results with the data in Figure 6. We observed that Guo 2013 potential shows an average behavior with the experimental data.



**Figure 6.** The same as Fig. 5, but for  ${}^{17}\text{F} + {}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{17}\text{F} + {}^{14}\text{N}$ ,  ${}^{17}\text{F} + {}^{58}\text{Ni}$  and  ${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$  reactions.

Finally, we calculated the ESCC of  ${}^9\text{C} + {}^{208}\text{Pb}$  reaction at 227 MeV for density-dependent version of the proximity potentials, and compared the theoretical result with the data in Figure 7. We observed that the results of Guo 2013 were not very successful with the data.

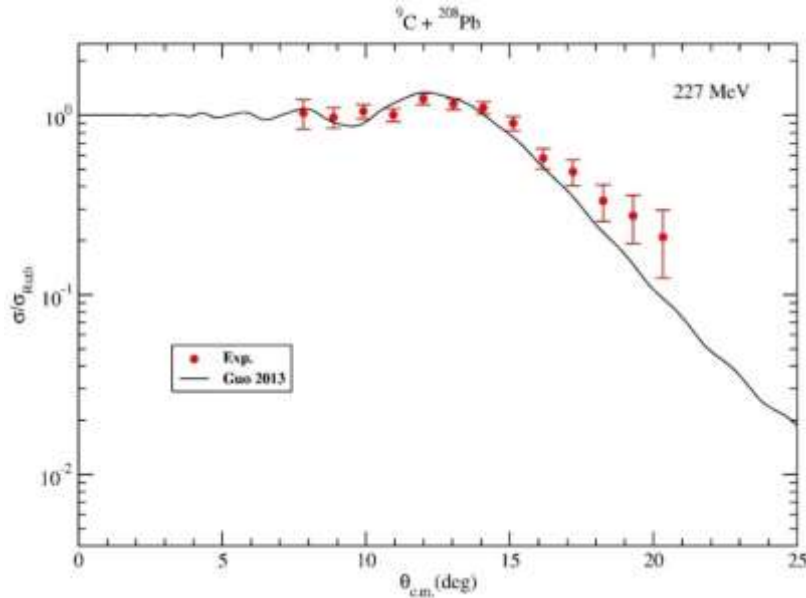


Figure 7. The same as Fig. 5, but for  ${}^9\text{C} + {}^{208}\text{Pb}$  reaction.

### 3.3. Comparison of Density-Dependent and Density-Independent Proximity Potentials

We compared the results of density-dependent and density-independent proximity potentials for  ${}^8\text{B} + {}^{12}\text{C}$  (at 29.3 MeV),  ${}^9\text{C} + {}^{208}\text{Pb}$  (at 227 MeV) and  ${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$  (at 170 MeV) reactions in Figure 8 as an example. We first found that the results of density-independent proximity potentials were very successful with the ESCCs generally. On the other hand, we observed that the results of density-dependent Guo 2013 potential were not very sufficient to describe the elastic scattering data of the proton halo nucleus reactions. We can say that density-independent Prox 77 potential are more successful in explaining the experimental data of the elastic scattering of proton halo nuclei.

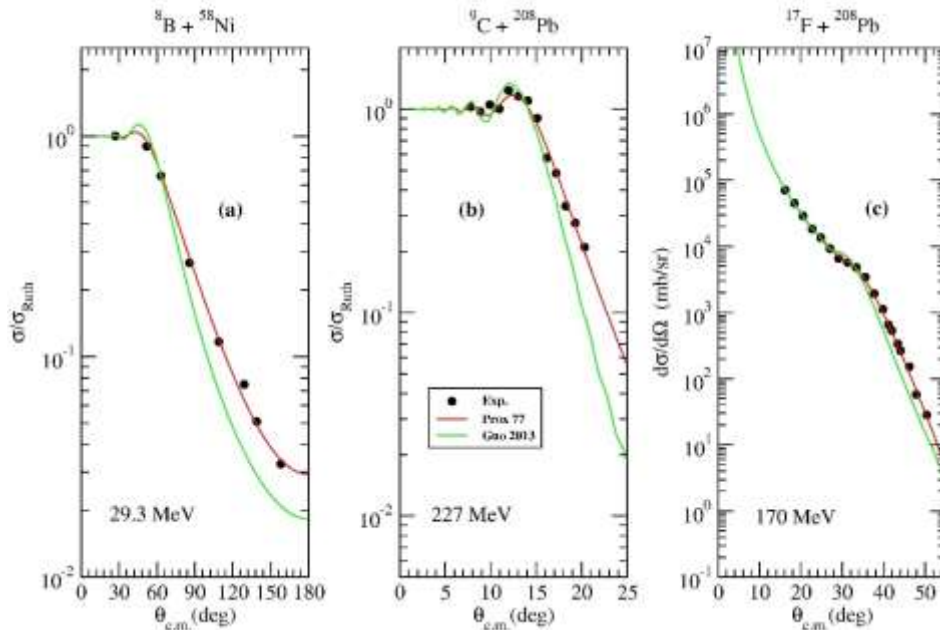


Figure 8. A comparison of the ESCCs of density-independent Prox 77 and density-dependent Guo 2013 potential for (a)  ${}^8\text{B} + {}^{58}\text{Ni}$ , (b)  ${}^9\text{C} + {}^{208}\text{Pb}$  and (c)  ${}^{17}\text{F} + {}^{208}\text{Pb}$ .



#### 4. Summary and Conclusions

In this work, we tried to see the effectiveness of density-dependent and density independent proximity potentials in explaining the ESCCs of 1p and 2p halo nuclei. We obtained the ESCCs for thirteen different density-independent proximity potentials and one density-dependent proximity potential. Except for Bass 73, we noticed that results of density-independent proximity potentials are very successful in explaining the ESCCs. In this context, we can say that these potentials would be evaluated as alternative nuclear potentials for the analysis of the ESCCs of 1p and 2p halo nuclei.

In addition, we repeated the theoretical calculations for one density-dependent potential. We observed that the density-dependent Guo 2013 potential was not very enough for the analysis of the ESCCs of 1p and 2p halo nuclei. We think that Guo 2013 potential needs to be further examined as alternative potentials for the analysis of different nuclear reactions.

#### Author's Contributions

The author gave final approval of the current version and any revised version to be submitted to the journal.

#### 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] Yao Y.J., Zhang G.L., Qu W.W., Qian J.Q. 2015. Comparative studies for different proximity potentials applied to  $\alpha$  decay. *European Physical Journal A*, 51:122.
- [2] Ghodsi O.N., Daei-Ataollah A. 2016. Systematic study of  $\alpha$  decay using various versions of the proximity formalism. *Physical Review C*, 93: 024612.
- [3] Santhosh K.P., Sukumaran I. 2017. Heavy particle decay studies using different versions of nuclear potentials. *European Physical Journal Plus*, 132: 431.
- [4] Aygun M., Aygun Z. 2019. A comprehensive analysis of  ${}^9\text{Li} + {}^{70}\text{Zn}$  fusion cross section by using proximity potentials, temperature dependent density distributions and nuclear potentials. *Revista Mexicana de Física*, 65: 573-582.
- [5] Aygun M. 2020. A comprehensive theoretical analysis of  ${}^{22}\text{Ne}$  nucleus by using different density distributions, different nuclear potentials and different cluster approach. *International Journal of Modern Physics E*, 29: 1950112.
- [6] Aygun M. 2018. Alternative potentials analyzing the scattering cross sections of 7,9,10,11,12,14Be isotopes from a  ${}^{12}\text{C}$  target: Proximity Potentials. *Journal of the Korean Physical Society*, 73: 1255-1262.
- [7] Aygun M. 2018. A Comparison of proximity potentials in the analysis of heavy-ion elastic cross sections. *Ukrainian Journal of Physics*, 63: 881.
- [8] Aygun M. 2018. The application of some nuclear potentials for quasielastic scattering data of the  ${}^{11}\text{Li} + {}^{28}\text{Si}$  reaction and its consequences. *Turkish Journal of Physics*, 42: 302-311.
- [9] Blocki J., Randrup J., Swiatecki W.J., Tsang C.F. 1977. Proximity forces. *Annals of Physics*, 105: 427.
- [10] Kumar R. 2011. Effect of isospin on the fusion reaction cross section using various nuclear proximity potentials within the Wong model. *Physical Review C*, 84: 044613.
- [11] Moller P., Nix J.R., Myers W.D., Swiatecki W.J. 1995. Nuclear Ground-State Masses and Deformations. *Atomic Data and Nuclear Data Tables*, 59: 185.

- [12] Pomorski K., Dudek J. 2003. Nuclear liquid-drop model and surface-curvature effects. *Physical Review C*, 67: 044316.
- [13] Dutt I., Puri R.K. 2010. Comparison of different proximity potentials for asymmetric colliding nuclei. *Physical Review C*, 81: 064609.
- [14] Reisdorf W. 1994. Heavy-ion reactions close to the Coulomb barrier. *Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics*, 20: 1297.
- [15] Winther A. 1995. Dissipation, polarization and fluctuation in grazing heavy-ion collisions and the boundary to the chaotic regime. *Nuclear Physics A*, 594: 203-245.
- [16] Akyüz Ö., Winter A. 1981. *Proceedings of the International School of Physics Enrico Fermi, Course LXXVII, Varenna, Italy* Ed. by R. A. Broglia, C. H. Dasso, and R. Richi (North-Holland, Amsterdam), p. 492.
- [17] Christensen P.R., Winther A. 1976. The evidence of the ion-ion potentials from heavy ion elastic scattering. *Physics Letters B*, 65: 19-22.
- [18] Bass R. 1973. Threshold and angular momentum limit in the complete fusion of heavy ions. *Physics Letters B*, 47 (1973): 139.
- [19] Bass R. 1974. Fusion of heavy nuclei in a classical model. *Nuclear Physics A*, 231: 45.
- [20] Ngô H., Ngô C. 1980. Calculation of the real part of the interaction potential between two heavy ions in the sudden approximation. *Nuclear Physics A*, 348: 140-156.
- [21] Denisov V.Yu. 2002. Interaction potential between heavy ions. *Physics Letters B*, 526: 315-321.
- [22] Guo C.L., Zhang G.L., Le X.Y. 2013. Study of the universal function of nuclear proximity potential from density-dependent nucleon–nucleon interaction. *Nuclear Physics A*, 897: 54.
- [23] Satchler G.R. 1983. *Direct Nuclear Reactions*. Oxford University Press, Oxford.
- [24] Thompson I.J. 1988. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics. *Computer Physics Reports*, 7: 167.
- [25] Myers W.D., Swiatecki W.J. 1966. Nuclear masses and deformations. *Nuclear Physics*, 81: 1-60.
- [26] Dutt I., Puri R.K. 2010. Role of surface energy coefficients and nuclear surface diffuseness in the fusion of heavy-ions. *Physical Review C*, 81: 047601.
- [27] Gharaei R., Zanganeh V., Wang N. 2018. Systematic study of proximity potentials for heavy-ion fusion cross sections. *Nuclear Physics A*, 979: 237-250.
- [28] <https://www-nds.iaea.org/exfor/> (Access date: 30.05.2021).
- [29] <http://nr.v.jinr.ru/nrv/> (Access date: 30.05.2021).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Ceviz, Fındık ve Yerfıstığı Kabuklarını Kullanarak Sipermetrinin Çevreden Uzaklaştırılması**

Deniz TÜRKÖZ ALTUĞ\*

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Isparta, Türkiye  
(ORCID: 0000-0002-1861-6263)*

---

### **Öz**

Dünya nüfusunun artması çevre kirliliğini de beraberinde getirmektedir. Çevrenin doğallığını bozabilecek herhangi bir müdahale havaya, toprağa ve suya etki ederek tüm ekosistemdeki canlılara ulaşabilmektedir. Bu yüzden çevre kirliliğini en aza indirebilmek çok güncel bir konudur. Bir taraftan artan nüfusun gıda ihtiyacını karşılayabilmek için kimyasallar yardımıyla üretilen ürünün verimi artarken diğer taraftan hedef dışındaki bölgelere de bu kimyasallar ulaşabilmektedir. Hedef dışı bölgelere ulaşan kimyasallar canlılar üzerine olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu çalışmada; Türkiye’de ve dünyada tarımda ürünlerin böcek istilasını engellemede yaygın olarak kullanılan sipermetrinin, ceviz, fındık ve yerfıstığı kabuklarını kullanarak, toprak veya suya geçişine engel olmak için laboratuvar ortamında yapılan deneylerle çevrenin korunabileceği konusunda çalışılmıştır. Ceviz, fındık ve yerfıstığı kabuklarının gözenekli yapısı bu kimyasalların toprağa ve suya geçmeden önce adsorbe olabileceğini FTIR ve SEM-EDS spektroskopik yöntemlerini kullanarak gösterilmiştir. Böylece masrafsız bir yöntemle sipermetrinin çevreye dağılmadan önce doğal malzemeler olan ceviz, fındık ve yerfıstığı kabuklarının gözenekli yapısına hapsederek hedef dışı bölgelere ulaşmasına engel olunabilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Sipermetrin, Ceviz Kabuğu, Fındık Kabuğu, Yerfıstığı Kabuğu, FTIR, SEM-EDS.

---

## **Removing Cypermethrin from the Environment Using Walnut, Hazelnut and Peanut Shells**

### **Abstract**

The increase in the world population has bring along environmental pollution. An intervention that can disturb the naturalness of the environment can be reach the living things in the entire ecosystem by affecting the air, soil and water. Therefore, minimizing environmental pollution is a very topical issue. On the one hand, the yield of the product produced with the help of chemicals increases in order to meet the food needs of the increasing population, on the other hand, these chemicals can reach the regions outside the target. Chemicals reaching non-target areas can have negative effects on living things. In this study; widely used of cypermethrin, in order to prevent insect infestation of the products in agriculture in Turkey and the world, with the experiment conducted in the laboratory condition using walnut, nuts and peanut shells to able to prevent from the environment passing of to the soil and water has been studied. The porous structure of walnut, hazelnut and peanut shells has been shown to be able to adsorb these chemicals using FTIR and SEM-EDS spectroscopic technical methods before they enter the soil and water. Thus, with an inexpensive method, it can be prevented from reaching non-target areas by trapped the porous structure of the natural materials walnut, hazelnut and peanut shells before dispersing of the cypermethrin to the environment.

**Keywords:** Cypermethrin, Walnut Shell, Hazelnut Shell, Peanut Shell, FTIR, SEM-EDS.

---

### **1. Giriş**

Gerek tıp alanında gerekse bilim ve teknolojiye gelişmeler insan ortalama hayatının uzamasına böylece dünya nüfusunun artmasına sebep olmuştur. Çiftçiler artan nüfusun temel ihtiyacı olan gıda

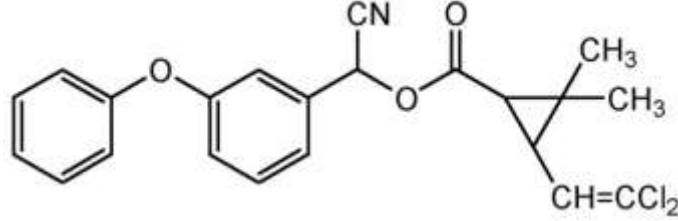
---

\*Sorumlu yazar: [denizturkoz@sdu.edu.tr](mailto:denizturkoz@sdu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 28.01.2021, Kabul Tarihi: 12.04.2021

gereksinimini karşılayabilmek ve kısıtlı tarım alanlarında yetiştirdikleri ürünün verimini arttırabilmek için kimyasallardan destek almaktadır [1]. Böylece ürünler büyürken daha az deforme olur ve üretilen ürünün miktarı ve kalitesi artabilmektedir. Ancak yapılan araştırmalar bu kimyasalların sadece ürünü korumakla kalmayıp uygulanan çevreninde bu ilaçlanmadan etkilediğini gösterdi [2-4]. Gerek toprakta gerekse tarım alanına yakın bölgelerdeki su kaynaklarında bu zirai ilaçların kalıntılarına rastlanmaktadır [5-9]. Yani çevreye yayılan bu ilaçlar doğal olaylarla istenmeyen bölgelere taşınabilmektedir.

Sipermetrin (CM) tarımla uğraşan kişilerin ürettikleri ürünleri böcek istilasından koruyabilmek için dünya genelinde sık kullandıkları zirai bir pestisitir [10, 11]. CM'nin kimyasal formülü;  $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$  şeklindedir [12]. Molekül yapısı Şekil 1'de gösterilmektedir. CM sentetik bir pyrethroiddir [11] ve canlılar üzerinde kanserojen etkileri vardır [13]. Bu özelliğinden dolayı çevreden uzaklaştırılması oldukça önem arz etmektedir.



Şekil 1. Sipermetrinin molekül yapısı

Bu çalışmada kullanılan atık ceviz, fındık ve yerfıstığı kabukları literatürde çeşitli şekillerde değerlendirilmiştir. Örneğin; aktive edilen ceviz kabukları, boyar maddelerin adsorpsiyonu için kullanılmıştır [14]. Fındık ve ceviz kabukları enerji üretme amaçlı kullanılmıştır [15]. Metilen mavisinin sulu çözeltiden uzaklaştırılmasında ceviz kabukları kullanılmıştır [16, 17]. Ceviz kabukları kompozitlenmiş laktik asitlerde dolgu malzemesi olarak kullanılması konusunda çalışmada vardır [18]. Selüloz elde etmek için ceviz kabuğu atıkları kullanılmıştır [19]. Fındık kabuklarının aktif karbonu kullanılarak sulu çözeltilerden bakır iyonunun uzaklaştırılması çalışılmıştır [20-22]. Sulu çözeltilerden aniyonik boyanın, Pb iyonunun ve organik boyaların uzaklaştırmak için yerfıstığı kabuğu kullanılmıştır [23-26].

Bu çalışmada ise CM nin çevreden uzaklaştırılmasında ceviz, fındık ve yerfıstığı kabuklarının gözenekli yapıya sahip olması özelliğinden faydalanarak hiçbir işlem görmeden yani; ham hali kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, adsorban olarak ceviz, fındık ve yerfıstığı kabukları kullanılmıştır. Ayrıca adsorbat olarak da zirai ilaç satıcısından alınan Hektaş LTD tarafından pazarlanan CM ( $C_{22}H_{19}Cl_2NO_3$ ) kullanılmıştır.

### 2.1. FTIR Spektroskopisi

Saf ceviz, fındık ve yerfıstığı kabukları ve CM ile muamele edilmiş ceviz, fındık ve yerfıstığı kabuklarına ait FTIR spektrumları KBr pellet tekniği kullanılarak Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilikçi Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  aralığında alınmıştır.

### 2.2. SEM-EDS

Saf ceviz, fındık ve yerfıstığı kabukları ve CM ile muamele edilmiş ceviz, fındık ve yerfıstığı kabuklarına ait SEM görüntüleri ve EDS analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Yenilikçi Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde alınmıştır.

### 2.3. Adsorpsiyon Deneyi

Ceviz, fındık ve yerfıstığı kabukları safsızlıklardan arındırmak için şebeke suyu kullanılarak dış yüzeyleri temizlendi. Daha sonra öğütücüde toz haline getirildi. Bütün bu işlemlerin ardından saf su ile

birlikte ultrasonik banyoda 20 dakika yıkandı ve kaba filtre kağıdıyla süzülde ve kurutuldu. Kuruyan numunelerden 0,5 g tartılarak beher içerisine alındı. Başka bir beher içerisinde 1mL CM ve 3 mL saf su karıştırıcıda 2 saat boyunca karıştırıldıktan sonra diğer beherdeki toz numunelerin uzerine eşit miktarda döküldü ve manyetik karıştırıcıda 72 saat boyunca karıştırıldı. Ardından filtre kağıdından süzülerek tekrar saf su ile yıkandı, süzüldü ve kurutuldu. Kurutma işleminden sonra saf ve adsorplanmış örneklerin FTIR spektrumları ve SEM görüntüleri alındı ve EDS analizleri yapıldı.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. FTIR Spektroskopisi

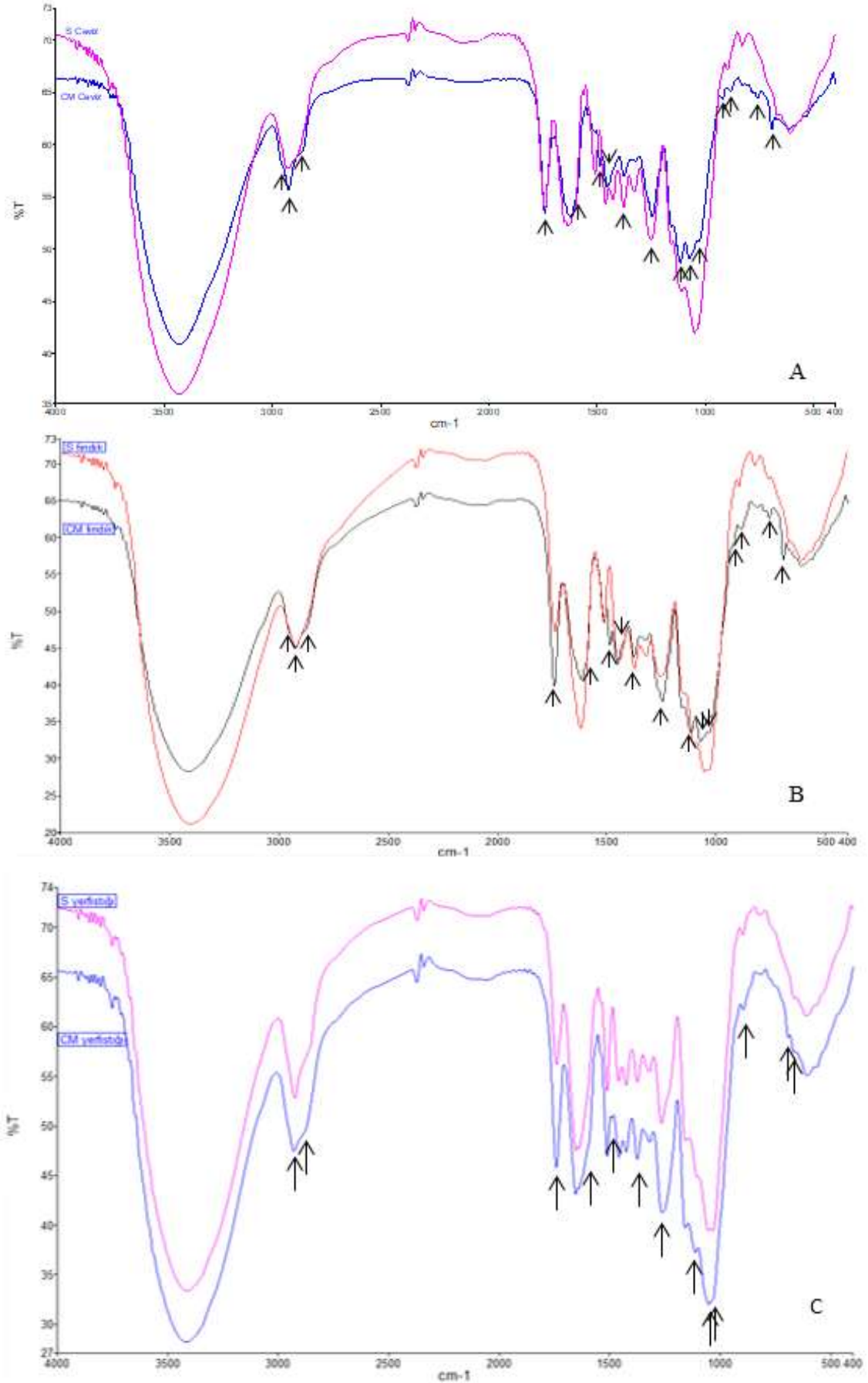
Örneklerin saf hallerini ve adsorplama işleminden sonraki değişiklikleri gözlemlemek için FTIR spektroskopisi kullanıldı. Şekil 2’de saf ve CM ile muamele edilmiş örneklerin FTIR spektrumları görülmekte. Bu spektrumlardan oluşturulmuş veriler Tablo 1’de sunulmuştur. Ayrıca CM ye ait karakteristik pikler ile CM ile muamele edilmiş örneklere ait FTIR atamaları görülmektedir. Tablo 1 incelendiğinde, CM ye ait karakteristik piklerin neredeyse tamamı, CM ile muamele edilmiş ceviz, fındık ve yerfıştığı kabuklarında görülmektedir.

Tablo 1 incelendiğinde; CM de gözlenen  $1742\text{ cm}^{-1}$ ’deki titreşim bandı karbonil gerilmesindeki C=O titreşiminden kaynaklandığı ve aynı grup titreşimin saf ceviz, fındık ve yerfıştığı kabuğında da olduğu,  $1589\text{ cm}^{-1}$ ’de gözlenen titreşim bandı kloroalkendeki C=C titreşiminden ve  $1487$  ve  $1455\text{ cm}^{-1}$  titreşim bandlarının ise R-CH<sub>2</sub>-CN yapısındaki deki CH<sub>2</sub> deformasyon titreşim kaynaklandığı düşünölmektedir [11]. CM adsorbe edilmiş örneklerde  $1589\text{ cm}^{-1}$  civarında omuz bandı,  $1488\text{ cm}^{-1}$  civarında yeni oluşmuş bir band ve  $1453\text{ cm}^{-1}$  civarında zayıf omuz bandı olarak görölmektedir. CM de  $1078\text{ cm}^{-1}$  de ki titreşim bandı, (C=O)-O- titreşiminden kaynaklandığı düşünölmektedir [11]. CM ile muamele edilmiş ceviz ve fındık kabuklarında  $1074\text{ cm}^{-1}$  de yeni oluşmuş orta şiddeteki bir band olarak gözlenmekte iken yerfıştığı kabuğında gözlenmemektedir. CM’de gözlenen  $1243\text{ cm}^{-1}$ ’deki band difenilelerin aril-O titreşiminden, C-O-C düzlem dışı titreşimi ve halka titreşiminden kaynaklandığı, ayrıca  $1124\text{ cm}^{-1}$ ’de görölen band HCC düzlem içi bükölme bandı ilgili olduğu düşünölmektedir [28]. CM deki  $921\text{ cm}^{-1}$ ’deki band terminal dihalovinil grubunun asimetric sallanmasından bağlı olduğu ve CM ile muamele edilmiş örneklerde zayıf band olarak  $923\text{ cm}^{-1}$  civarında ortaya çıkmıştır [27]. CM de; Sayklopropen halkasının deformasyon titreşimine ait olan  $873\text{ cm}^{-1}$  de ki band CM adsorbe edilmiş örneklerde  $884\text{ cm}^{-1}$  civarında yeni oluşan zayıf band olarak görölmektedir [27]. CM de  $769\text{ cm}^{-1}$ ’deki güçlü C-H deformasyon titreşim bandı, CM adsorbe edilmiş örneklerde  $780\text{ cm}^{-1}$  civarında zayıf yeni bir band olarak görölmektedir [12]. CM de  $691\text{ cm}^{-1}$ ’deki band C-Cl gerilim bandına ait olup CM adsorplanmış örneklerde yeni bir band olarak  $693\text{ cm}^{-1}$  civarında ortaya çıkmıştır [29, 30].

**Tablo 1.** CM ye ait ve CM ile muamele edilmiş ceviz, fındık ve yerfıştığı kabuklarına ait FTIR atamaları

Atamalar	CM	CM ile muamele edilmiş Ceviz Kabuğu	CM ile muamele edilmiş Fındık Kabuğu	CM ile muamele edilmiş Yerfıştığı Kabuğu
v(CH)	3029 o	2959 om	2958 om	-
v(CH)	2928 g	2930 g	2926 g	2925g
v(CH)	2875 z	2866 om	2876 om	2875 om
v(C=O)	1742 g [11]	1743 g	1742 g	1740 g
v(C=C)	1589 g [11]	1589 om	1592 om	1584 om
v(C=C)	1487 g [11]	1488 o	1487 z	1491 z
$\delta$ (CH <sub>2</sub> )	1455 o [11]	1451 g	1453 o	1458 o
v(C-O-C)	1243 g [27]	1247 g	1247 g	1263g
$\beta$ (HCC)	1124 g [28]	1116 o	1116 o	1113 z
v((C=O)-O)	1078 o [11]	1074 o	1074 o	-
$\tau$ (HCCC)	921 z [27]	923 z	922 z	924 z
$\delta$ (HCC)	873 z [27]	884 z	883 z	896 z
$\delta$ (CH)	769 g [12]	780 z	782 z	779 z
v(C-Cl)	691 g [29,30]	693 z	692 z	693 z

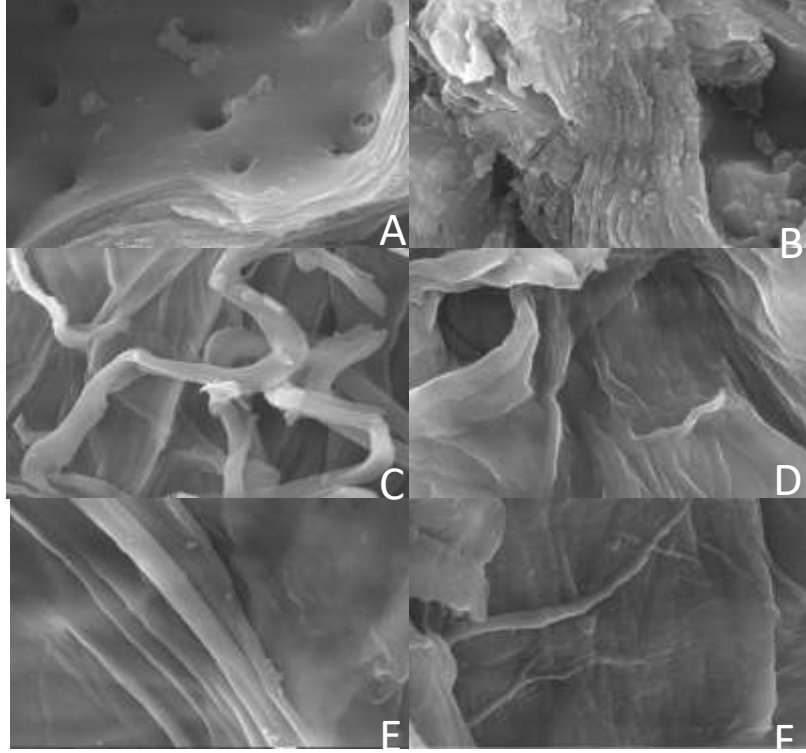
v: simetric gerilme,  $\delta$ : deformasyon,  $\tau$ : burulma,  $\beta$ : düzlem içi bükölme, g: güçlü, o: orta, z: zayıf, om: omuz, gn: geniş



Şekil 2. A) Saf ceviz kabuğu ve CM adsorbe edilmiş ceviz kabuğu B) Saf fındık kabuğu ve CM adsorbe edilmiş fındık kabuğu C) Saf yerfıstığı kabuğu ve CM adsorbe edilmiş yerfıstığı kabuğuna ait FTIR spektrumları

### 3.2. SEM-EDS

Ceviz, fındık ve yerfıstığı kabukları CM ile muamele edildikten sonra örneklere ait topografik değişimi görüntülemek için SEM kullanıldı. Saf örnekler ile CM adsorbe edilmiş örneklerin görüntüleri Şekil 3’de sunulmuştur.



**Şekil 3.** A) Saf ceviz kabuğu B) CM adsorbe edilmiş ceviz kabuğu (20000 defa büyütülmüş görüntü) C) Saf fındık kabuğu D) CM adsorbe edilmiş fındık kabuğu (20000 defa büyütülmüş görüntü) E) Saf yerfıstığı kabuğu F) CM adsorbe edilmiş yerfıstığı kabuğu (20000 defa büyütülmüş görüntü)

Şekil 3’de görünen görüntüler için koyu renkler çukurları, aydınlık renkler ise yükseklikleri göstermektedir. Saf ceviz, fındık ve yerfıstığı görüntüleri Şekil 3-A-C ve E’de gösterilmektedir. Her birindeki görüntülerde gözenekler belirgin bir şekilde görülmektedir. Şekil 3-B-D ve F’de CM adsorplanmış ceviz, fındık ve yerfıstığı kabuklarına ait görüntüler sunulmuştur. Örneklerin saf halleri incelendiğinde; ceviz kabuklarında düzenli silindirik gözenekler gözlenirken, fındık kabuklarında lifli bir görüntü bulunmaktadır. Yerfıstığı kabuğunda ise oluklu yapıya sahip gözenekleri bulunmaktadır. Adsorplama işleminden sonra tüm numunelerin saf hallerinde bulunan gözenekleri dolarak kabuklar üzerinde düzleşmeler görülmektedir. Saf örnekler ve CM adsorbe edilmiş örneklerde bulunan elementleri incelemek için EDS analizleri yapılmıştır. Bu örneklerdeki elementlerin %Ağırlık olarak sonuçları Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Saf ceviz, fındık ve yerfıstığı kabukları ile CM ile muamele edilmiş ceviz, fındık ve yerfıstığı kabuklarının SEM-EDS sonuçları (Ağırlık%)

	Ceviz kabuğu	CM ile muamele edilmiş ceviz kabuğu	Fındık kabuğu	CM ile muamele edilmiş Fındık kabuğu	Yerfıstığı kabuğu	CM ile muamele edilmiş yerfıstığı kabuğu
C	49,66	59,67	68,21	54,75	56,12	56,43
O	44,20	35,84	27,16	37,07	40,88	41,04
Mg	0,48	0,21	0,21	0,45	0,25	0,26
Al	4,20	1,99	0,89	4,71	1,94	1,24
Cl	-	0,68	-	1,94	-	0,7
K	-	-	1,78	0,17	-	-
Ca	1,46	1,61	1,74	0,92	0,81	0,34

Tablo 2'deki SEM-EDS sonuçları incelendiğinde; örneklerin hepsinde C, O, Mg, Al ve Ca elementlerine rastlanmıştır. Sadece fındıkta bu elementlere ek olarak K elementi bulunmaktadır. Ayrıca CM ile muamele edilmiş örneklerin herbirinde Cl elementi gözlenmektedir. Cl elementinin varlığı; CM nin yapısında bulunan Cl elementinden dolayıdır. Cl elementinin en çok % Ağırlık olarak fındık kabuğunda bulunması, SEM görüntüleri ile karşılaştırıldığında gözenek genişliklerinin en büyük fındık kabuğunda olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada; tarımcılıkta kullanılan sipermetrinin hedef dışı bölgelere ulaşmasını azaltabilmek için ceviz, fındık ve yerbıstığı kabukları kullanıldı. Çünkü bu kabukların tümü doğal, masrafsız ve çevreye zararı olmayan biokütlelerdir. Buna ek olarak kullanılan kabukların gözenekli yapılarının olması, istenmeyen kimyasalları hapsederek çevreden uzaklaştırılabileceğine ve canlıların kısmen bu kimyasallardan korunabileceği laboratuvar ortamında çalışıldı. Yapılan deneyin FTIR spektrum sonuçlarına göre deney de kullanılan tüm doğal malzemeler adsorban olarak kullanılabilir olduğu, SEM sonuçlarına göre sipermetrinin bu doğal kabuklar tarafından gözeneklerine hapsedilebileceği ve EDS analiz sonuçlarının da yapılan diğer analizlerle uyum içinde olduğu gösterilmiştir. Böylece çiftçiler yetiştirecekleri ürünleri ilaçlamadan önce toprak üzerine böyle doğal kabukları sererlerse, toprağa ve suya sipermetrinin taşınmasına engel olunabileceği deneysel olarak gösterildi.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın deneysel aşamasının gerçekleşmesinde desteklerini esirgemeyen Prof. Dr. Belgin TUNALI ve Dr. Öğr. Üyesi Neslihan KAYA KINAYTÜRK'e çok teşekkür ederim.

#### Yazarların Katkısı

Konuyla ilgili tüm çalışma Deniz TÜRKÖZ ALTUĞ tarafından gerçekleştirilmiştir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Altıkat A., Turan T., Ekmekyapar Torun F. 2009. Türkiye'de Pestisit Kullanımı ve Çevreye Olan Etkileri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40 (2): 87-92.
- [2] Hernández A.F., Parrónb T., Tsatsakis A.M., Requena M., Alarcón R., López-Guarnido O. 2013. Toxic effects of pesticide mixtures at a molecular level: Their relevance to human health. Toxicology, 307: 136-145.
- [3] Alavanja M.C., Hoppin J.A., Kamel F. 2004. Health Effects of Chronic Pesticide Exposure: Cancer and Neurotoxicity. Annual Review of Public Health, 25: 155-197.
- [4] Huang J., Qiao F., Zhang L., Rozelle S. 2000. Farm Pesticide, Rice Production and Human Health. CCAP's Project Report, 1-54.
- [5] Konstantinou I.K., Hela D.G., Albanis T.A. 2006. The status of pesticide pollution in surface waters (rivers and lakes) of Greece. Part I. Review on occurrence and levels. Environmental Pollution, 141: 555-570.
- [6] Papadakis E., Papadakis N.Z., Kotopoulou A., Kintzikoglou K., Makris K.C., Papadopoulou-Mourkidou E. 2015. A pesticide monitoring survey in rivers and lakes of northern Greece and its human and ecotoxicological risk assessment. Ecotoxicology and Environmental Safety, 116: 1-9.



- [7] Satiroff J.A., Satiroff T.L., Mittelstet A.R., Snow D.D. 2021. Pesticide occurrence and persistence entering recreational lakes in watersheds of varying land use. *Environmental Pollution*, 273 (116399): 1-11.
- [8] Silva V., Mol H.G., Zomer P., Tienstra M., Ritsema C.J., Geissen V. 2019. Pesticide residues in European agricultural soils—A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*, 653: 1532-1545.
- [9] Stolte J., Tesfai M., Oygarden L., Kvaerno S., Keizer J., Verheijen F., Panagos P., Ballabio C., Hessel R. 2016. Soil threats in Europe: Status, methods, drivers and effects on ecosystem services. *JRC Science Hub*, 1-206.
- [10] Garoiaz H., Berrabah M., Elidrissi A., Hammouti B., Ríos A. 2012. Analysis of cypermethrin residues and its main degradation products in soil and formulation samples by gas chromatography-electron impact- mass spectrometry in the selective ion monitoring mode. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 92 (12): 1378-1388.
- [11] Armenta S., Quintas G., Garrigues S., Guardia M. de la. 2005. A validated and fast pro-cedure for FTIR determination. *Talanta*, 67: 634-639.
- [12] Turkoz Altug D., Kaya Kinayturk N., Tunali B. 2020. The use of pumice to prevent penetration of cypermethrin into the soil. *Fresenius Environmental Bulletin*, 29 (12 A): 11266-11272.
- [13] Shukla Y., Yadav A., Arora A. 2002. Carcinogenic and cocarcinogenic potential of cypermethrin on mouse skin. *Cancer Letters*, 182: 33-41.
- [14] Yıldız A. 2014. Aktive edilmiş ceviz kabuğuna boyar madde adsorpsiyonu. Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.
- [15] Kanca A. 2019. Pamuk Atığı, Fındık Kabuğu ve Ceviz Kabuğu'nun Piroiliz ve Oksidasyon Davranışlarının Kıyaslanması. *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (2): 43-54.
- [16] Tang R., Dai C., Li C., Liu G.W.S., Wang C. 2017. Removal of Methylene Blue from Aqueous Solution Using Agricultural Residue Walnut Shell: Equilibrium, Kinetic, and Thermodynamic Studies. *Hindawi Journal of Chemistry*, 2017 (8404965): 1-10.
- [17] Li Z., Hanafy H., Zhang L., Sellaoui L., Netto M.S., Oliveira M.L., Seliem M.K., Dotto G.L., Bonilla-Petriciolet A., Li Q. 2020. Adsorption of congo red and methylene blue dyes on an ashitaba waste and a walnut shell-based activated carbon from aqueous solutions: Experiments, characterization and physical interpretations. *Chemical Engineering Journal*, 388 (15-124263): 1-10.
- [18] Orue A., Eceiza A., Arbelaiz A. 2020. The use of alkali treated walnut shells as filler in plasticized poly (lactic acid) matrix composites. *Industrial Crops and Products*, 145 (111993): 1-9.
- [19] Hemmati F., Jafari S.M., Kashaninejad M., Motlagh M. 2018. Synthesis and characterization of cellulose nanocrystals derived from walnut shell agricultural residues. *International Journal of Biological Macromolecules*, 120 (6): 1216-1224.
- [20] Demirbas E., Dizge N., Sulak M., Kobya M. 2009. Adsorption kinetics and equilibrium of copper from aqueous solutions using hazelnut shell activated carbon. *Chemical Engineering Journal*, 148 (2-3): 480-487.
- [21] Zhao B., Xu X., Zeng F., Li H., Chen X. 2018. The hierarchical porous structure bio-char assessments produced by co-pyrolysis of municipal sewage sludge and hazelnut shell and Cu(II) adsorption kinetics. *Environmental Science and Pollution Research*, 25: 19423-19435.
- [22] Demirbaş Ö., Karadağ A., Alkan M., Doğan M. 2008. Removal of copper ions from aqueous solutions by hazelnut shell. *Journal of Hazardous Materials*, 153 (1-2): 677-684.
- [23] Boumchita S., Lahrichi A., Benjelloun Y., Lairini S., Nenov V., Zerrouq F. 2017. Application of Peanut shell as a low-cost adsorbent for the removal of anionic dye from aqueous solutions. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8 (7): 2353-2364.
- [24] Xu T., Liu X. 2008. Peanut Shell Activated Carbon: Characterization, Surface Modification and Adsorption of Pb<sup>2+</sup> from Aqueous Solution. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16 (3 June): 401-406.
- [25] Georgin J., Dotto G.L., Mazutti M.A., Foletto E.L. 2016. Preparation of activated carbon from peanut shell by conventional pyrolysis and microwave irradiation-pyrolysis to remove organic dyes from aqueous solutions. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4 (1): 266-275.

- [26] Taşar Ş., Kaya F., Özer A. 2014. Biosorption of lead (II) ions from aqueous solution by peanut shells: equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2 (2): 1018-1026.
- [27] Segal-Rosenheimer M., Dubowski Y. 2007. Heterogeneous ozonolysis of cypermethrin using real-time monitoring FTIR techniques. *The Journal of Physical Chemistry C*, 111: 11682-11691.
- [28] Altürk S., Tamer O., Avcı D., Atalay Y. 2015. Synthesis, spectroscopic characterization, second and third-order nonlinear optical properties, and DFT calculations of a novel Mn(II) complex. *Journal of Organometallic Chemistry*, 797: 110-119.
- [29] Mistry B. 2009. *A Handbook of Spectroscopic Data Chemistry*. Oxford Book Company, 1-242.
- [30] Kaya N., Kartal Z., Bahçeli S. 2012. FT-IR Spectroscopic Investigation of Some M(Benzyl Chloride)<sub>2</sub>Ni(CN)<sub>4</sub> Complex (M = Co, Ni and Cd). *Duğlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27 (Nisan): 23-34.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Year-Dependent Change of DNP Parameters in p-Difluorobenzene Suspension with Asphaltene**

Handan ENGİN KIRIMLI\*

*Bursa Uludağ University, Sciences and Arts Faculty, Physics Departments, Bursa, Turkey  
(ORCID: 0000-0003-0300-3381)*

---

### **Abstract**

Petroleum asphaltenes are the heaviest, most aromatic and most complex component of crude oil and asphaltenes are paramagnetic. Overhauser Dynamic nuclear polarization (ODNP) were performed to study samples of asphaltene/p-Difluorobenzene at 1.53 mT. p-difluorobenzene solvent with asphaltene in three different concentrations waiting five years with oxygen removed have been studied. Dynamic nuclear polarization parameters were determined by performing ODNP experiments again. The results of our studies and the calculated parameters, especially the coupling parameter, indicates that there were dipolar interactions between nuclei and free electron spins. These dipolar interactions indicate that, at the end of five years the asphaltene micelles in suspension agglomerated and that make the molecule movements slower. The obtained dynamic nuclear polarization parameters were compared with their values in the literature and it was observed that the parameters decreased slightly with time.

**Keywords:** DNP, Overhauser Effect, Asphaltene, Sample Age.

---

## **Asfaltlenli p-Diflorobenzen Süspansiyonunda DNP Parametrelerinin Yıla Bağlı Değişimi**

---

### **Öz**

Petrol asfaltlenleri ham petrolün en ağır, en aromatik ve en kompleks bileşenidir ve asfaltlenler paramanyetiktir. Overhauser Dinamik nükleer polarizasyon (ODNP), 1.53 mT'da asfaltlen/p-Diflorobenzen örneklerini incelemek için gerçekleştirildi. Oksijenden uzaklaştırılarak beş yıl bekletilen asfaltlenli p-diflorobenzen çözgen üç farklı konsantrasyonda çalışıldı. ODNP deneyleri tekrar yapılarak, Dinamik nükleer polarizasyon parametreleri belirlendi. Çalışmalarımızın sonuçları ve hesaplanan parametreler, özellikle çiftlenme parametresi, çekirdek ve serbest elektron spinleri arasında dipolar etkileşimler olduğunu göstermektedir. Bu dipolar etkileşimler, beş yılın sonunda süspansiyondaki asfaltlen misellerinin topaklandığını ve molekül hareketlerini yavaşlattığını göstermektedir. Elde edilen dinamik nükleer polarizasyon parametreleri literatürdeki değerleri ile karşılaştırılmış ve parametrelerin zamanla bir miktar azaldığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** DNP, Overhauser Etkisi, Asfaltlen, Örnek Yaşı.

---

### **1. Introduction**

Asphaltenes are important components of crude oils and bitumens, and they have an amorphous structure. There is no exact chemical formula and molecular weight for asphaltene [1-3]. Nowadays, It enables analytical studies, including magnetic resonance studies of crude oil, which is a center of interest for science and industry [4].

Electron spin resonance experiments performed by many researchers show that asphaltenes are paramagnetic [4-6]. Free radical occurs due to incomplete carbon bonds in the dense aromatic structure of asphaltene particles. That is, free electrons occur due to incomplete carbon bonds. DNP in asphalt suspensions, first performed by Poindexter [7] in a weak constant magnetic field.

---

\*Corresponding author: [hengin@uludag.edu.tr](mailto:hengin@uludag.edu.tr)

Received: 29.01.2021, Accepted: 30.04.2021

Dynamic nuclear polarization (DNP) has recently received great attention for its ability to increase signal densities by several times of magnitude in nuclear magnetic resonance (NMR) experiments. DNP, a technique well known in paramagnetic solutions and suspensions, depends on the movement of molecules containing nuclei and free electron spins. This technique, is becoming more and more popular as it magnifies nuclear spin polarization. That is a useful technique in determining asphaltene molecular dynamics and structure of asphaltene. In the case of Overhauser DNP, It is a pair of magnetic resonance technique in which nuclear magnetic resonance is observed at the moment when the electron resonance of a paramagnetic substance with which a substance interacts simultaneously is observed. In solution-state, nuclear polarization increases by the methods of Overhauser DNP based on the effect of transfer the polarization from electronic spins to a system of nuclear spins. In our study, the nuclear spins are proton spins, which are the nuclei of the hydrogen atom in the solvent molecule. The Electron spins belong to the intense aromatic structure of asphaltene micelles, unpaired electron delocalized at incomplete carbon bonds. Asphaltenes, which are a mixture of complex molecules, are often a colloidal system with paramagnetic parts in itself [8].

ODNP technique was used to examine asphaltene/p-Difluorobenzene samples at 1.53 mT. In this method, intermolecular spin spin interactions occur between the nuclear spins in the diffused solvent molecules and the unpaired electron spins in the asphaltene [9]. The goal of this study is to examine the DNP parameters by doing a similar study (with the DNP technique) for the asphaltene / p-difluorobenzene sample prepared previously, and to examine the year-dependent change on DNP parameters in asphaltene suspensions by comparing with the results five years ago.

Experimental application of ODNP and its theory can be provided in literature [5, 10, 11]. Including the observed nuclear polarizations,  $P_z$ , the thermal equilibrium values,  $P_0$ ; the Overhauser DNP enhancement factor is given by [12-14].

$$E = \frac{P_z}{P_0} = 1 - \rho f s \left| \frac{\gamma_e}{\gamma_n} \right| \quad (1)$$

where,  $\gamma_e$  and  $\gamma_n$ , are the gyromagnetic ratios of the electron and nuclear spins, respectively. The leakage factor  $f$ , the saturation factor  $s$  when the ESR is at full saturation, it becomes equal to 1. The nuclear-electron coupling parameter  $\rho$ , in the white spectrum approach, is +0.5 for pure dipolar interaction and -1 for pure scalar coupling. The  $\rho$  values obtained vary between the limit values of +0.5 and -1.

When being complete EPR saturation ( $s=1$ ), the inverse of  $E$  factor is extrapolated for the infinite ESR power is derived as

$$\left( \frac{P_z - P_0}{P_0} \right)_{s \rightarrow 1}^{-1} = - \left( \rho f \left| \frac{\gamma_e}{\gamma_n} \right| \right)^{-1} = E_\infty^{-1} . \quad (2)$$

For infinite electron spin concentration,  $f$  goes to one, from there the ultimate enhancement factor ( $U_\infty$ ) is reached.

$$(E_\infty^{-1})_{f \rightarrow 1, c \rightarrow \infty} \rightarrow \left( -\rho \left| \frac{\gamma_e}{\gamma_n} \right| \right)^{-1} = U_\infty^{-1} \quad (3)$$

$\rho$  parameter is calculated (for  $^1\text{H}$ ;  $|\gamma_e/\gamma_n| = 658$ ) with

$$\rho = -U_\infty/658 . \quad (4)$$

The importance on dependent scalar coupling is  $K$  parameter. Since  $\rho$  is an experimentally obtainable parameter, the parameter  $K$  can be easily calculated.

$$K = \frac{1 - 2\rho}{1 + \rho} \quad (5)$$

## 2. Material and Methods

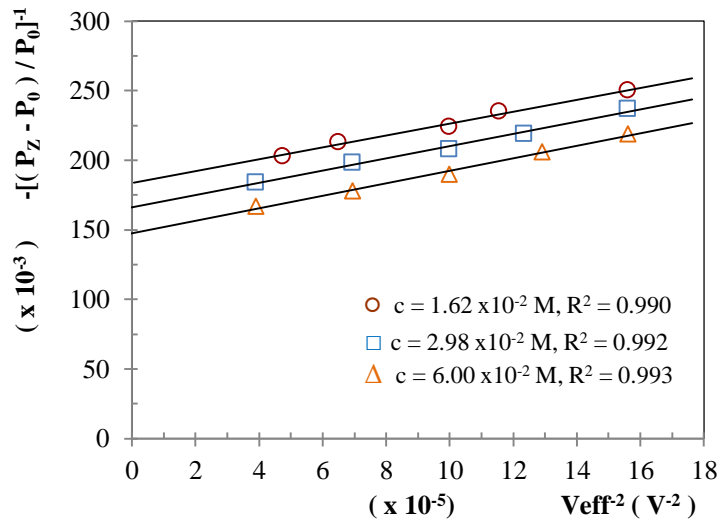
MC-800 liquid petroleum asphalt was taken from the Tupras, Refinery in Kirikkale, Turkey. This asphaltane obtained from asphalt and it has a paramagnetic feature. p-difluorobenzene was purchased from Aldrich Chemical Co. (USA). Basic constants and NMR sensitivity of p-difluorobenzene, molecular weight; 114.09 g/mol, boiling point; 88-89 °C, melting point; -13 °C, density; 1.170 g/cm<sup>3</sup>, and calculated NMR sensitivity; 1.24x10<sup>22</sup> spin/cm<sup>3</sup>, respectively.

The suspensions had been prepared before in 2015 in three different asphaltene concentrations. These concentrations are 1.8 kg/m<sup>3</sup>, 3.3 kg/m<sup>3</sup> and 6.2 kg/m<sup>3</sup>, respectively. The presence of oxygen affects the enhancement factor. Degassing treatment should be performed in order to minimize the interactions with air molecules, to take the EPR line to easy saturation and to ensure the long life of the sample. Degassing process was performed in Leybold-Heraeus vacuum system at 10 Pa pressure value. The prepared samples were kept for 5 years in a closed environment with a temperature range of 4-8 °C.

DNP measurements were fulfilled at 1.53 mT fixed magnetic field NMR spectrometer. The spectrometer is hand-made and has a resonance frequency of 61.2 kHz for protons and 43.8 MHz for electrons. The spectrometer was explained in the previous articles [15].

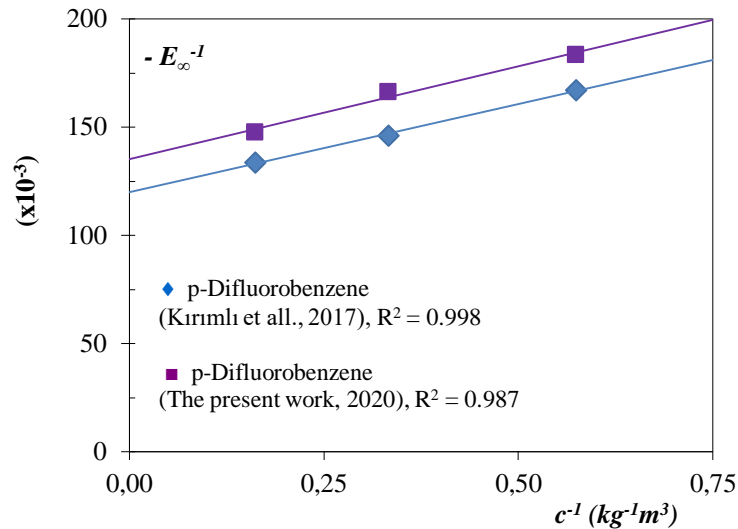
## 3. Results and Discussion

For each sample,  $E_{\infty}$  values were determined by extrapolating from the optimal fit lines drawn by obtaining the inverse of the enhancement factors as a function of the inverse of the square of the high frequency voltage, which is proportional to the inverse of the ESR power. The  $E_{\infty}^{-1}$  values correspond to the intersection points of the extrapolated optimal fit lines passing through the experimentally obtained points with the line  $V_{\text{eff}}^{-2}=0$  (Figure1).



**Figure 1.** Obtaining  $E_{\infty}$  for asphaltene/p-difluorobenzene sample. The  $R^2$  values indicate the regression of the experiment points.

The ultimate enhancement factor  $U_{\infty}$  was determined by extrapolating to the infinite concentration from the optimal fit lines drawn to the  $E_{\infty}$  values found for that medium as a function of the inverse of the concentration. The  $U_{\infty}^{-1}$  value corresponds to the point of intersection of the extrapolated optimal fit line passing through the obtained points with the line  $c^{-1} = 0$  (Figure 2).



**Figure 2.** Obtaining  $U_{\infty}$  for asphaltene/p-difluorobenzene sample at three different concentrations.

After  $\rho$  value calculated from equation (4),  $K$  value can be found by equation (5). The DNP parameters obtained for the asphaltene/p-difluorobenzene sample,  $E_{\infty}$ ,  $E_{end}$ ,  $U_{\infty}$ ,  $\rho$ ,  $f$ ,  $s$ ,  $K$  are presented in Table 1. As seen in Table 1, all the  $E_{\infty}$  values are negative, these values vary between -6.8 and -5.4. This is due to the inversely enhancement of the signal. This situation indicates that the interaction between the nuclear spins and electron spins is dipolar. After the DNP experiments of the samples prepared in 2015 were carried out, the DNP experiments of the same samples were repeated in 2020.

**Table 1.** The DNP parameters ( $E_{\infty}$ ,  $E_{end}$ ,  $U_{\infty}$ ,  $\rho$ ,  $s$ ,  $f$ ,  $K$ ).  
( $E_{end}$ , the enhancement factor for maximum available the EPR power)

	$c$ ( $kg\ m^{-3}$ )	$E_{\infty}$	$E_{end}$	$U_{\infty}$	$\rho$	$f$ ( $E_{\infty}/U_{\infty}$ )	$s$ ( $E_{end}/E_{\infty}$ )	$K$
The present work (2020)	1.8	-5.4	5.0			0.730	0.926	
	3.3	-6.0	5.4	7.4	0.011	0.811	0.901	0.967
	6.2	-6.8	6.0			0.919	0.882	
Kırımlı et al. [8]	1.8	-6.0	-			0.718	0.833	
	3.3	-6.8	-	8.3	0.013	0.820	0.891	0.962
	6.2	-7.5	-			0.898	0.889	

#### 4. Conclusions

The  $\rho$  value can vary from -1 in the case of pure scalar coupling to +0.5 in the case of pure dipolar coupling. The results of our studies and the calculated parameters, especially the coupling parameter, indicates that there were dipolar interactions between the nuclear spin and the electron spin. This conclusion is also supported by the parameter  $K$ .

The obtained dynamic nuclear polarization parameters were compared with their values in the literature and it was observed that the parameters decreased slightly with time. When the values obtained from this study and the  $\rho$  values obtained by Kırımlı [8] are compared and the percentage change is examined, it is seen that the decrease is 10.8 %.

These dipolar interactions indicate that, at the end of five years the the asphaltene micelles in suspension agglomerated and that make the molecule movements slower. In addition, it is seen that the asphaltene micelles are aggregated to a greater extent and the interaction for this reason is reduced.

#### Author's Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

### Statement of Conflicts of Interest

The author has no conflict of interest regarding this article.

### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

### References

- [1] Headen T.F., Boek E.S., Skipper N.T. 2009. Evidence for Asphaltene Nanoaggregation in Toluene and Heptane from Molecular Dynamics Simulations. *Energy Fuels*, 23: 1220-1229.
- [2] Liu J., Zhao Y., Ren S. 2015. Molecular Dynamics Simulation of Self-Aggregation of Asphaltenes at an Oil/Water Interface: Formation and Destruction of the Asphaltene Protective Film. *Energy Fuels*, 29: 1233-1242.
- [3] Aydogdu D, Cimenoglu M.A, Yalciner A. 2006. Dynamic Nuclear Polarization in Suspensions Consisting of Xylene Isomers and Asphaltene Extracted from MC-800 Liquid Asphalt. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 27: 955-961.
- [4] Gizatullin B., Gafurov M., Rodionov A., Mamin G., Mattea C., Stapf S., Orlinskii S. 2018. Proton-Radical Interaction in Crude Oil-A Combined NMR and EPR Study. *Energy Fuels*, 32: 11261-11268.
- [5] Gutowsky H.S., Ray B.R., Rutledge R.L., Untenberger R.R. 1958. Carbonaceous free radicals in crude petroleum. *Journal of Chemical Physics*, 28: 744-745.
- [6] Yen T.F., Chilingarian G.V. 1994. *Asphaltenes and asphalts 1*, Elsevier, New York, 1-379.
- [7] Poindexter E.H. 1959. Overhauser effect in asphalt solutions. *Journal of Chemical Physics*, 31 (6): 1477-1480.
- [8] Kırımlı H.E., Ovalıoğlu H., Akay C. 2017. Intermolecular Effects of Fluorocarbons on MC800 Asphaltene and their Characterization. *Acta Physica Polonica A*, 131 (3): 336-338.
- [9] Kırımlı H.E., Peksoz A., Ovalıoğlu H., Yalciner A. 2011. The Effect of Sample Age on Dynamic Nuclear Polarization Parameters in Asphalt Suspensions. *Energy Sources, Part A*, 33: 604-611.
- [10] Abragam A. 1961. *The Principles of Nuclear Magnetism*. Chap. 8, Oxford University Press, Oxford, 323-353.
- [11] Armstrong B.D., Soto P., Shea J.E., Han S. 2009. Overhauser dynamic nuclear polarization and molecular dynamics simulations using pyrroline and piperidine ring nitroxide radicals. *Journal of Magnetic Resonance*, 200: 137-141.
- [12] Kramer K.D., Müller-Warmuth W. 1964. Über zusammenhänge der Overhauserkernpolarisation mit der molekülbewegung, der frequenz und der relaxation in flüssigkeiten [On the relationship between Overhauser-nuclear polarization, the molecular motion, the frequency and the relaxation in liquids]. *Z. Naturforsch*, 19a: 375-387.
- [13] Ravera E., Luchinat C., Parigi G. 2016. Basic facts and perspectives of Overhauser DNP NMR. *Journal of Magnetic Resonance*, 264: 78-87.
- [14] Levien M., Hiller M., Tkach I., Bennati M., Orlando T. 2020. Nitroxide Derivatives for Dynamic Nuclear Polarization in Liquids: The Role of Rotational Diffusion. *Journal of Physical Chemistry Letters*, 11: 1629-1635.
- [15] Akay C., Yalciner A. 1995. A new weak field double resonance NMR spectrometer. *Z. Naturforsch*, 50a: 177-185.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Magneto-Elektro-Elastik Çubuk Modelinin F Açılım Metodu ile Tam Çözümleri**

Nisa ÇELİK\*

*Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü  
(ORCID: 0000-0003-1209-991X)*

---

### **Öz**

Bu çalışmada, dördüncü mertebeden lineer olmayan, magneto-elektro-elastik (MEE) çubuktaki yalnız gezen dalgalara karşılık gelen MEE kısmi diferensiyel denklemi ele alındı. Denklemin gezici dalga çözümlerini araştırmak için, F-açılım metodu kullanıldı. Metodun içerdiği farklı durumlar için Jacobi eliptik fonksiyonlar yardımı ile tam çözümler oluşturuldu.  $m \rightarrow 0$  için trigonometrik,  $m \rightarrow 1$  için hiperbolik fonksiyonlar ve bunların kombinasyonlarını içeren çözümler elde edildi. Son olarak çözümlerin farklı parametrelerdeki bazı özel değerleri için grafikleri Maple programı ile çizdirilerek incelenmeye sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Lineer olmayan kısmi diferensiyel denklem, Magneto-Elektro-Elastik çubuk, F açılım Yöntemi, Jacobi eliptik fonksiyon.

---

## **Exact Solutions of Magneto-Electro-Elastic Rod Model with F Expansion Method**

---

### **Abstract**

In this study, the MEE partial differential equation corresponding to solitary waves in a fourth order nonlinear magneto-electro-elastic (MEE) rod is examined. F-expansion method was used to investigate the traveling wave solutions of the equation. Complete solutions were created with using the Jacobi elliptic functions for the different situations included in the method. Using trigonometric functions and hyperbolic functions solutions were obtained for  $m \rightarrow 0$  and  $m \rightarrow 1$  respectively. Finally, using some special values of the solutions in different parameters, the graphs were plotting with Maple program and presented for examining.

**Keywords:** Nonlinear partial differential equation, Magneto-Electro-Elastic rod, F expansion method, Jacobi elliptic function.

---

### **1. Giriş**

Lineer olmayan kısmi diferensiyel denklemler birçok fiziksel olayın incelenmesi sonucunda ortaya çıkan modellerdir. Bu denklemlerin analitik ve bazı durumlarda sayısal çözümleri somut matematiksel formülasyonları nedeni ile çeşitli bilim dallarında önemli bir yere sahiptir. Bu tür modeller optik, biyofizik, kuantum fiziği, kuantum mekaniği, kimyasal fizik, akışkanlar mekaniği, finans hatta tıp vb. gibi birçok bilim dalında gözlemlenebilir. Bu modellerin her alanda farklı bir biçimde ortaya çıkması lineer olmayan kısmi diferensiyel denklemlerin çözüm metodları üzerinde de olumlu etki oluşturmuş, araştırmacılar bu denklemlerin tam çözümlerini elde etmek için birçok metod geliştirmişlerdir. Bunlardan bazıları Lie simetri yaklaşımı [1-4], ilk integral metodu [5, 6], tanh-fonksiyon metodu [7], (G'/G) açılım metodu [8], Jacobi eliptik metodu [9], exp fonksiyon açılım metodu [10, 11], Kudryashov metodu [12,13], genişletilmiş deneme denklem metodu [14], iyileştirilmiş Bernoulli alt-denklemler metodu [15, 16], yeni geliştirilmiş doğrudan cebrik metod [17] vb. metodlardır. Manyeto-elektro-elastik (MEE) kullanımının artmasıyla çeşitli mühendislik alanlarındaki yapılar (sensörler, aktüatörler, vb.) ve MEE ortamındaki dalga yayılımı da birçok araştırmacının ilgisini çekmiştir.

---

\*Sorumlu yazar: [nisa@uludag.edu.tr](mailto:nisa@uludag.edu.tr)

Geliş Tarihi: 02.02.2021, Kabul Tarihi: 18.04.2021



Xue ve ark. [18], 2011 yılında yaptıkları çalışmada MEE malzemeleri için temel denklemleri gözden geçirmiş ve aşağıda verilen MEE çubuk daireselindeki uzunlamasına dalga denklemini modellemişlerdir.

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c_0^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( \frac{c_0^2}{2} u^2 + N \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = 0 \quad (1)$$

Burada  $c_0$  uzunlamasına dalga hızı,  $N$  dağılım parametresidir. Bu parametreler çubuğun malzeme özelliklerine ve geometrisine bağlıdır. Aynı çalışmada Xue ve ark. [18] denklemin Jacobi eliptik fonksiyon çözümlerini elde etmişlerdir. Denklemin farklı yazarlar tarafından çeşitli yöntemlerle çözümleri yapılmıştır. Bunlardan bazıları, Lie simetri analizi ve korunum kanunları [19],  $r$  yi doğrusal uzunlamasına dalga hızı olarak alıp modelde  $c_0 = r$  olarak modifiye edilmiş üstel fonksiyon metodu [20],  $a = -c_0^2$ ,  $b = \frac{-c_0^2}{2}$ ,  $c = -N$  olarak gezen dalga hipotezi ve  $G'/G$  açılım metodu [21], sin-cos fonksiyon metodu ve rasyonel sin-cos fonksiyon metodu [22], genişletilmiş deneme denklem dönüşüm metodu ve genişletilmiş doğrudan cebirsel denklem metodu [23], genişletilmiş deneme denklem metodu [24] biçimindedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ele alınacak olan F açılım metodu ilk olarak Yubin Zhou ve ark. [25] tarafından 2003 yılında yayınlanan çalışmalarında, değişken katsayılı KdV denkleminin periyodik dalga çözümlerini bulmak için kullanılmıştır. Daha sonra bu metod farklı yazarlar tarafından lineer olmayan Schrödinger denklemine [26], genelleştirilmiş Hirota-Satsuma denklemine [27], Ostrovsky denklemine [28], Kudryashov-Sinelshchikov denklemine [29], Elektro-Elastik denklemine [30] vb. uygulanmıştır.

Bu kısımda F açılım yönteminin teorik incelemesi yapılacaktır.

$$P(u, u_x, u_t, u_{xx}, u_{xt}, u_{tt}, \dots) = 0 \quad (1)$$

kısmi diferensiyel denklemini göz önüne alalım. (1) denkleminde  $\zeta = k(x - ct)$  ve  $u = U(\zeta)$  değişken değişimi yapılırsa, (1) denklemi

$$Q(U, U', U'', U''', \dots) = 0 \quad (2)$$

adi diferensiyel denklemine dönüşür. (2) denkleminin çözümlerinin

$$U(\zeta) = \sum_{i=0}^n A_i F_i(\zeta) \quad (3)$$

ansatz fonksiyonu biçiminde olduğunu varsayalım. Burada  $n$  en yüksek mertebeden lineer terim ile lineer olmayan en yüksek dereceli terim arasında dengeleme prensibi kullanılarak elde edilecek olan pozitif tamsayıdır.  $F(\zeta)$  ise  $P, Q, R$  sabitler olmak üzere aşağıdaki diferensiyel denklemleri sağlar:

$$F' = \sqrt{PF^4 + QF^2 + R} \quad (4)$$

(4) denkleminden aşağıdaki eşitlikler de elde edilebilir.

$$\begin{aligned} F'' &= 2PF^3 + QF \\ F''' &= (6PF^2 + Q)F' \\ F^{IV} &= 24P^2F^5 + 20PQF^3 + (12PR + Q^2)F \end{aligned} \quad (5)$$

(4) ve (5) kullanılarak (3) fonksiyonu (2) denkleminde yerine yazılır. Elde edilen eşitlik  $F^i(F')^j$  terimlerine göre düzenlenir.  $F^i(F')^j$  terimlerinin katsayıları sıfıra eşitlenirse cebirsel bir denklem sistemi elde edilir. Bu cebirsel denklem sistemi  $A_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ),  $k$  ve  $c$  ye göre Maple programı yardımı ile çözülür. Elde edilen  $A_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ) katsayıları (3) de yerine yazılarak  $U(\zeta)$  fonksiyonu

oluşturulur. Bu fonksiyondaki  $P, Q, R, F$  fonksiyonları aşağıdaki tabloya göre seçilerek (2) denkleminin e Eliptik fonksiyon çözümleri elde edilir.

**Tablo 1.** (3) çözümünü oluşturmak için seçilecek  $P, Q, R, F$  değerleri

Durum	$P$	$Q$	$R$	$F(\zeta)$
1	$m^2$	$-(1 + m^2)$	1	$sn \zeta$
2	$-m^2$	$2m^2 - 1$	$1 - m^2$	$cn \zeta$
3	1	$-(1 + m^2)$	$m^2$	$ns \zeta$
4	1	$2 - m^2$	$1 - m^2$	$cs \zeta$
5	$\frac{1}{4}$	$\frac{1 - 2m^2}{2}$	$\frac{1}{4}$	$ns \zeta + cs \zeta$
6	$\frac{1}{4}$	$\frac{1 - 2m^2}{2}$	$\frac{1}{4}$	$ns \zeta - cs \zeta$
7	$\frac{1}{4}$	$\frac{1 - 2m^2}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{sn \zeta}{1 + cn \zeta}$
8	$\frac{1}{4}$	$\frac{1 - 2m^2}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{sn \zeta}{1 - cn \zeta}$
9	$-(m^2 + 2m + 1)B^2$	$2m^2 + 2$	$\frac{-m^2 + 2m - 1}{B^2}$	$\frac{m sn^2 \zeta - 1}{B(m sn^2 \zeta + 1)}$
10	1	$-(1 + m^2)$	$m^2$	$dc \zeta$
11	$1 - m^2$	$2 - m^2$	1	$sc \zeta$
12	$\frac{1 - m^2}{4}$	$\frac{1 + m^2}{2}$	$\frac{1 - m^2}{4}$	$nc \zeta + sc \zeta$
13	$\frac{1 - m^2}{4}$	$\frac{1 + m^2}{2}$	$\frac{1 - m^2}{4}$	$nc \zeta - sc \zeta$
14	$\frac{1 - m^2}{4}$	$\frac{1 + m^2}{2}$	$\frac{1 - m^2}{4}$	$\frac{cn \zeta}{1 + sn \zeta}$
15	$\frac{1 - m^2}{4}$	$\frac{1 + m^2}{2}$	$\frac{1 - m^2}{4}$	$\frac{cn \zeta}{1 - sn \zeta}$
16	1	$2m^2 - 1$	$-m^2(1 - m^2)$	$ds \zeta$

Jacobi eliptik fonksiyonlar  $sn\zeta, cn\zeta, dn\zeta$  olup sırasıyla Jacobian eliptik sinüs fonksiyonu, Jacobian eliptik kosinüs fonksiyonu ve Jacobian eliptik delta fonksiyonu olarak isimlendirilirler. Diğer Jacobian fonksiyonları bu üç tür fonksiyon yardımıyla aşağıdaki biçimde elde edilir:

$$ns\zeta = \frac{1}{sn\zeta}, \quad nc\zeta = \frac{1}{cn\zeta}, \quad nd\zeta = \frac{1}{dn\zeta}$$

$$sc\zeta = \frac{cn\zeta}{sn\zeta}, \quad cs\zeta = \frac{sn\zeta}{cn\zeta}, \quad ds\zeta = \frac{dn\zeta}{sn\zeta}, \quad sd\zeta = \frac{sn\zeta}{dn\zeta}$$

Ayrıca, bu fonksiyonlar aşağıdaki formülleri sağlar.

$$sn^2\zeta + cn^2\zeta = 1, \quad dn^2\zeta + m^2 sn^2\zeta = 1, \quad ns^2\zeta = 1 + cn^2\zeta$$

$$ns^2\zeta = m^2 + m^2ds^2\zeta, \quad sc^2\zeta + 1 = nc^2\zeta, \quad m^2sd^2\zeta + 1 = nd^2\zeta$$

Jacobian-eliptik fonksiyonlar,  $m \rightarrow 1$  için limit alındığında aşağıdaki gibi hiperbolik fonksiyonlara dönüşür.

$$\begin{aligned} sn\zeta &\rightarrow \tanh \zeta, \quad \{cn\zeta, dn\zeta\} \rightarrow \operatorname{sech} \zeta, \quad \{sc\zeta, sd\zeta\} \rightarrow \sinh \zeta \\ \{ds\zeta, cs\zeta\} &\rightarrow \operatorname{csch} \zeta, \quad \{nc\zeta, nd\zeta\} \rightarrow \cosh \zeta, \quad ns\zeta \rightarrow \coth \zeta, \quad \{cd\zeta, sd\zeta\} \rightarrow 1 \end{aligned} \quad (6)$$

Jacobian-eliptik fonksiyonlar,  $m \rightarrow 0$  için limit alındığında aşağıdaki gibi trigonometrik fonksiyonlara dönüşür.

$$\begin{aligned} \{sn\zeta, sd\zeta\} &\rightarrow \sin \zeta, \quad \{cn\zeta, cd\zeta\} \rightarrow \cos \zeta, \quad sc\zeta \rightarrow \tan \zeta \\ \{ds\zeta, ns\zeta\} &\rightarrow \csc \zeta, \quad \{nc\zeta, dc\zeta\} \rightarrow \sec \zeta, \quad cs\zeta \rightarrow \cot \zeta, \quad \{dn\zeta, nd\zeta\} \rightarrow 1 \end{aligned} \quad (7)$$

Tablo 1’de verilen her durum için ayrı ayrı (3) ile oluşturulan Jacobi eliptik fonksiyonlar  $m \rightarrow 1$  için limit alınarak (6) yardımı ile hiperbolik,  $m \rightarrow 0$  için limit alınarak (7) yardımı ile trigonometrik fonksiyonlara dönüşür. Böylece (2) adi diferensiyel denkleminin ve bu denklemde  $\zeta = k(x - ct)$  yazılarak da (1) kısmi diferensiyel denkleminin çözümlerine ulaşılır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu kısımda (1) denkleminin Kısım 2 de teorisi verilen F açılım metodu uygulanacaktır. (1) denklemini

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c_0^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right) - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( \frac{c_0^2}{2} u^2 + N \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right) = 0$$

göz önüne alalım. Denkleminde  $\zeta = k(x - ct)$  ve  $u = U(\zeta)$  değişken değişimi yapılırsa denklem

$$k^2 U^{IV} - \frac{(c^2 - c_0^2)}{Nc^2} U'' + \frac{c_0^2}{Nc^2} U'^2 + \frac{c_0^2}{Nc^2} UU'' = 0 \quad (8)$$

adi diferensiyel denkleminin dönüşür. Buradan iki kez integral alınarak

$$k^2 U'' - \frac{(c^2 - c_0^2)}{Nc^2} U + \frac{c_0^2}{Nc^2} U'^2 + \frac{c_0^2}{2Nc^2} U^2 = 0 \quad (9)$$

denklemin elde edilir. (9) denkleminin çözümlerinin (3) ile verilen ansatz fonksiyon biçiminde olduğunu varsayalım. (9) denkleminde en yüksek mertebeden lineer terim ile en yüksek dereceli lineer olmayan terim arasında dengeleme prensibi kullanılırsa  $n + 2 = 2n$  eşitliğinden  $n = 2$  elde edilir. Böylece (3) den

$$U(\zeta) = \sum_{i=0}^2 A_i F_i(\zeta) = A_0 + A_1 F + A_2 F^2 \quad (10)$$

yazılabilir. Burada  $F$ , (4) denklemini sağlar. (10) ifadesi (9) da yerine yazılır ve (4)-(5) eşitlikleri kullanılırsa  $F^i$  ( $i=0,1,2,3,4$ ) terimlerini bulunduran bir ifade elde edilir. Bu ifade  $F$  nin kuvvetlerine göre düzenlenip her bir katsayı sıfıra eşitlenirse aşağıda verilen cebirsel denklem sistemi elde edilir.

$$\begin{aligned} 4k^2 A_2 Nc^2 R - 2c^2 A_0 + c_0^2 A_0^2 + 2c_0^2 A_0 &= 0 \\ 2c_0^2 A_1 - 2A_1 c^2 + 2k^2 A_1 Nc^2 Q + 2c_0^2 A_0 A_1 &= 0 \\ 12k^2 A_2 Nc^2 P + c_0^2 A_0^2 &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} c_0^2 A_1^2 + 2c_0^2 A_2 + 2c_0^2 A_0 A_2 - 2a_2 c^2 + 8k^2 A_2 Nc^2 Q &= 0 \\ 4k^2 A_1 Nc^2 P + 2c_0^2 A_1 A_2 &= 0 \end{aligned}$$

(11) cebirsel denklem sistemi  $A_0, A_1, A_2, k, c$  ye göre çözümlerse

$$A_0 = -\frac{c_0^2 - c^2 + 4 \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2PR - 16N^2Q^2}}NQ}{c_0^2} \quad (12)$$

$$A_1 = 0 \quad (13)$$

$$A_2 = -\frac{12 \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2PR - 16N^2Q^2}}NP}{c_0^2} \quad (14)$$

$$c=c$$

$$k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2PR - 16N^2Q^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{c_0^2} \quad (15)$$

elde edilir. Böylece (10) ifadesinden (12)-(14) kullanılarak

$$U(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + 4 \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2PR - 16N^2Q^2}}NQ}{c_0^2} - \frac{12 \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2PR - 16N^2Q^2}}NP}{c_0^2} F^2$$

yazılabilir. Tablo 1'den

**1. Durum:**  $P = m^2, Q = -(1 + m^2), R = 1, F = sn \zeta$  olarak alınırsa

$$U_{1,m}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2m^2 - 16N^2(-1-m^2)^2}}(4N(-1-m^2) - 12Nm^2sn^2 \zeta)}{c_0^2} \quad (16)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (16) nın  $m \rightarrow 1$  için limiti alınırsa (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_1(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 - \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N(2 - 3tanh^2 \zeta)}{c_0^2} \quad (17)$$

çözümü ve (17) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_1(z, t) = -\frac{c_0^2 - c^2 - \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N(2 - 3tanh^2(k(z-ct)))}{c_0^2} \quad (18)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{2c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

**2. Durum:**  $P = -m^2, Q = 2m^2 - 1, R = 1 - m^2, F = cn \zeta$  olarak alınırsa

$$U_{2,m}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{-48N^2m^2(1-m^2) - 16N^2(2m^2-1)^2}}(4N(2m^2-1) + 12Nm^2cn^2 \zeta)}{c_0^2} \quad (19)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (18) in  $m \rightarrow 1$  için limiti alınırsa (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_2(\zeta) = \frac{c^2 - c_0^2 - \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(1 - 3\operatorname{sech}^2 \zeta)}{c_0^2} \quad (20)$$

çözümü ve (20) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_2(z, t) = \frac{c_0^2 - c^2 - \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(1 - 3\operatorname{sech}^2(k(z - ct)))}{c_0^2} \quad (21)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{2c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

**3. Durum:**  $P = 1, Q = -1 - m^2, R = m^2, F = ns \zeta$  olarak alınırsa

$$U_{3,m}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2m^2 - 16N^2(-1 - m^2)^2} (4N(-1 - m^2) - 12Nns^2 \zeta)}}{c_0^2} \quad (22)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (22) nin  $m \rightarrow 1$  için limiti alınırsa (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_3(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 - \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(2 - 3\operatorname{coth}^2 \zeta)}{c_0^2} \quad (23)$$

çözümü ve  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_3(z, t) = - \frac{c_0^2 - c^2 - \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(2 - 3\operatorname{coth}^2(k(z - ct)))}{c_0^2} \quad (24)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{2c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

**4. Durum:**  $P = 1, Q = 2 - m^2, R = 1 - m^2, F = cs \zeta$  olarak alınırsa

$$U_{4,m}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2(1 - m^2) - 16N^2(2 - m^2)^2} (4N(2 - m^2) + 12Ncs^2 \zeta)}}{c_0^2} \quad (25)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (25) in  $m \rightarrow 1$  için limiti alınırsa (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_4(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(1 + 3\operatorname{csch}^2 \zeta)}{c_0^2} \quad (26)$$

çözümü ve (26) da  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_4(z, t) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(1 + 3\operatorname{csch}^2(k(z - ct)))}{c_0^2} \quad (27)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{2c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

**5. Durum:**  $P = \frac{1}{4}$ ,  $Q = \frac{1-2m^2}{2}$ ,  $R = \frac{1}{4}$ ,  $F = ns\zeta + cs\zeta$  olarak alınırsa

$$U_{5,m}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{3N^2 - 16N^2\left(\frac{1}{2} - m^2\right)^2} \left(4N\left(\frac{1}{2} - m^2\right) + 3N(ns\zeta + cs\zeta)\right)}}{c_0^2} \quad (28)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (28) in  $m \rightarrow 1$  için limiti alınır (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_5(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2} N(-2 + 3(\coth \zeta + csch \zeta)^2)}}{c_0^2} \quad (29)$$

çözümü ve (29) da  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_5(z, t) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2} N(-2 + 3(\coth(k(z-ct)) + csch(k(z-ct)))^2)}}{c_0^2} \quad (30)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

**6. Durum:**  $P = \frac{1}{4}$ ,  $Q = \frac{1-2m^2}{2}$ ,  $R = \frac{1}{4}$ ,  $F = ns\zeta - cs\zeta$  olarak alınırsa

$$U_{6,m}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{3N^2 - 16N^2\left(\frac{1}{2} - m^2\right)^2} \left(4N\left(\frac{1}{2} - m^2\right) + 3N(ns\zeta - cs\zeta)^2\right)}}{c_0^2} \quad (31)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (31) in  $m \rightarrow 1$  için limit alınır (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_6(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2} N(-2 + 3(\coth \zeta - csch \zeta)^2)}}{c_0^2} \quad (32)$$

çözümü ve (32) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_6(z, t) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2} N(-2 + 3(\coth(k(z-ct)) - csch(k(z-ct)))^2)}}{c_0^2} \quad (33)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

**7. Durum:**  $P = \frac{1}{4}$ ,  $Q = \frac{1-2m^2}{2}$ ,  $R = \frac{1}{4}$ ,  $F = \frac{sn\zeta}{1+cn\zeta}$  olarak alınırsa

$$U_{7,m}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{3N^2 - 16N^2\left(\frac{1}{2} - m^2\right)^2} 4N\left(\frac{1}{2} - m^2\right)}}{c_0^2} - \frac{3 \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{3N^2 - 16N^2\left(\frac{1}{2} - m^2\right)^2} N\left(\frac{1}{2} - m^2\right)}}{c_0^2} \left(\frac{sn\zeta}{1+cn\zeta}\right)^2 \quad (34)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. Buradan  $m \rightarrow 1$  için limit alınır (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_7(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 - 2\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} - \frac{3\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N \tanh^2(\zeta)}{c_0^2(1 + \operatorname{sech}(\zeta))^2} \quad (35)$$

çözümü ve (35) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_7(z, t) = -\frac{c_0^2 - c^2 - 2\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} - \frac{3\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N \tanh^2(k(z - ct))}{c_0^2(1 + \operatorname{sech}(k(z - ct)))^2} \quad (36)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

**8. Durum:**  $P = \frac{1}{4}$ ,  $Q = \frac{1 - 2m^2}{2}$ ,  $R = \frac{1}{4}$ ,  $F = \frac{sn\zeta}{1 - cn\zeta}$  olarak alınır

$$U_{8,m}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{3N^2 - 16N^2(\frac{1}{2} - m^2)^2}}4N(\frac{1}{2} - m^2)}{c_0^2} - \frac{3\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{3N^2 - 16N^2(\frac{1}{2} - m^2)^2}}N(\frac{1}{2} - m^2)}{c_0^2} \left(\frac{sn\zeta}{1 - cn\zeta}\right)^2 \quad (37)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (37) nin  $m \rightarrow 1$  için limiti alınır (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_8(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 - 2\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} - \frac{3\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N \tanh^2(\zeta)}{c_0^2(1 - \operatorname{sech}(\zeta))^2} \quad (38)$$

çözümü ve (38) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_8(z, t) = -\frac{c_0^2 - c^2 - 2\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} - \frac{3\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N \tanh^2(k(z - ct))}{c_0^2(1 - \operatorname{sech}(k(z - ct)))^2} \quad (39)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

**9. Durum:**  $P = -(m^2 + 2m + 1)B^2$ ,  $Q = 2m^2 + 2$ ,  $R = \frac{2m - m^2 - 1}{B^2}$ ,  $F = \frac{msn^2\zeta - 1}{B(msn^2\zeta + 1)}$  olarak alınır

$$U_{9,m}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + 4\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2(m+1)^2(m-1)^2 - 16N^2(2m^2+2)^2}}N(2m^2+2)}{c_0^2} + \frac{12\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2(m+1)^2(m-1)^2 - 16N^2(2m^2+2)^2}}N(m+1)^2}{c_0^2} \left(\frac{msn^2\zeta - 1}{msn^2\zeta + 1}\right)^2 \quad (40)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (40) in  $m \rightarrow 1$  için limit alınır (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_9(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \frac{\sqrt{256} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{16}}{c_0^2} + \frac{3}{16} \frac{\sqrt{256} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{c_0^2} \left( \frac{\tanh^2 \zeta - 1}{\tanh^2 \zeta + 1} \right)^2 \quad (41)$$

çözümü ve (41) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_9(z, t) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \frac{\sqrt{256} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{16}}{c_0^2} + \frac{3}{16} \frac{\sqrt{256} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{c_0^2} \left( \frac{\tanh^2(k(z-ct)) - 1}{\tanh^2(k(z-ct)) + 1} \right)^2 \quad (42)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{4c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

**10. Durum:**  $P = 1, Q = -1 - m^2, R = m^2, F = dc \zeta$  olarak alınır

$$U_{10,m}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + 4 \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{48N^2 m^2 - 16N^2(-1-m^2)^2} N(-1-m^2)}}{c_0^2} - \frac{12 \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{48N^2 m^2 - 16N^2(-1-m^2)^2} N}}{c_0^2} dc^2 \zeta \quad (43)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (43) ün  $m \rightarrow 1$  için limit alınır sabit çözüm bulunur. O halde bu durumu  $m \rightarrow 0$  için limit olarak inceleyelim. (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_{10}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 - \frac{\sqrt{16} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{4}}{c_0^2} - \frac{3}{4} \frac{\sqrt{16} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{c_0^2} \sec^2 \zeta \quad (44)$$

çözümü ve (44) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_{10}(z, t) = -\frac{c_0^2 - c^2 - \frac{\sqrt{16} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{4}}{c_0^2} - \frac{3}{4} \frac{\sqrt{16} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{c_0^2} \sec^2(k(z - ct)) \quad (45)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{2c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 0$  için limitidir.

**11. Durum:**  $P = 1 - m^2, Q = 2 - m^2, R = 1, F = sc \zeta$  olarak alınır

$$U_{11,m}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + 4 \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{48N^2(1-m^2) - 16N^2(2-m^2)^2} N(2-m^2)}}{c_0^2} - \frac{12 \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{48N^2(1-m^2) - 16N^2(2-m^2)^2} N(1-m^2)}}{c_0^2} (sc)^2 \quad (46)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (46) nın  $m \rightarrow 1$  için limit alınır sabit çözüm bulunur. Bu durumu  $m \rightarrow 0$  için limit olarak inceleyelim. (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_{11}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \frac{\sqrt{16} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{2}}{c_0^2} - \frac{3}{4} \frac{\sqrt{16} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{c_0^2} \tan^2(\zeta) \quad (47)$$



çözümü ve (47) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_{11}(z, t) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \frac{\sqrt{16} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{2}}{c_0^2} - \frac{3 \sqrt{16} \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N}{4 c_0^2} \tan^2(k(z - ct)) \quad (48)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{2c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 0$  için limitidir.

**12. Durum:**  $P = \frac{1-m^2}{4}$ ,  $Q = \frac{1+m^2}{2}$ ,  $R = \frac{1-m^2}{4}$ ,  $F = nc \zeta + sc \zeta$  olarak alınırsa

$$U_{12,m}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{48N^2 \left(\frac{1}{4} - \frac{m^2}{4}\right)^2 - 16N^2 \left(\frac{1}{2} + \frac{m^2}{2}\right)^2} \left(4N \left(\frac{1}{2} + \frac{m^2}{2}\right) + 12N \left(\frac{1}{4} - \frac{m^2}{4}\right) (nc \zeta + sc \zeta)^2\right)}{c_0^2} \quad (49)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (49) da  $m \rightarrow 1$  için limit alınır sabit çözüm bulunur. Bu durumu  $m \rightarrow 0$  için limit olarak inceleyelim. (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_{12}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N(2 + 3(\sec \zeta + \tan \zeta)^2)}{c_0^2} \quad (50)$$

çözümü ve (50) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_{12}(z, t) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N(2 + 3(\sec(k(z-ct)) + \tan(k(z-ct))))^2}{c_0^2} \quad (51)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 0$  için limitidir.

**13. Durum:**  $P = \frac{1-m^2}{4}$ ,  $Q = \frac{1+m^2}{2}$ ,  $R = \frac{1-m^2}{4}$ ,  $F = nc \zeta - sc \zeta$  olarak alınırsa

$$U_{13,m}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{48N^2 \left(\frac{1}{4} - \frac{m^2}{4}\right)^2 - 16N^2 \left(\frac{1}{2} + \frac{m^2}{2}\right)^2} \left(4N \left(\frac{1}{2} + \frac{m^2}{2}\right) + 12N \left(\frac{1}{4} - \frac{m^2}{4}\right) (nc \zeta - sc \zeta)^2\right)}{c_0^2} \quad (52)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (52) de  $m \rightarrow 1$  için limit alınır sabit çözüm bulunur. Bu durumu  $m \rightarrow 0$  için limit olarak inceleyelim. (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_{13}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N(2 + 3(\sec \zeta - \tan \zeta)^2)}{c_0^2} \quad (53)$$

çözümü ve (53) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$U_{12}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2 c_0^2 + c^4}{N^2}} N(2 + 3(\sec(k(z-ct)) - \tan(k(z-ct))))^2}{c_0^2} \quad (54)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 0$  için limitidir.

**14. Durum:**  $P = \frac{1-m^2}{4}$ ,  $Q = \frac{1+m^2}{2}$ ,  $R = \frac{1-m^2}{4}$ ,  $F = \frac{cn\zeta}{1+sn\zeta}$  olarak alınır

$$U_{14,m}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2\left(\frac{1}{4} - \frac{m^2}{4}\right)^2 - 16N^2\left(\frac{1}{2} + \frac{m^2}{2}\right)^2} \left(4N\left(\frac{1}{2} + \frac{m^2}{2}\right) + 12N\left(\frac{1}{4} - \frac{m^2}{4}\right)\right)}{c_0^2} \left(\frac{csn\zeta}{1+sn\zeta}\right)^2 \quad (55)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (55) in  $m \rightarrow 1$  için limiti alınır sabit çözüm bulunur. O halde bu durumu  $m \rightarrow 0$  için limit olarak inceleyelim. (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_{14}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + 2\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} - \frac{3\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} \left(\frac{\cos\zeta}{1+\sin\zeta}\right)^2 \quad (56)$$

çözümü ve (56) da  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_{14}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + 2\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} - \frac{3\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} \left(\frac{\cos(k(z-ct))}{1+\sin(k(z-ct))}\right)^2 \quad (57)$$

$k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 0$  için limitidir.

**15. Durum:**  $P = \frac{1-m^2}{4}$ ,  $Q = \frac{1+m^2}{2}$ ,  $R = \frac{1-m^2}{4}$ ,  $F = \frac{cn\zeta}{1-sn\zeta}$  olarak alınır

$$U_{15,m}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{48N^2\left(\frac{1}{4} - \frac{m^2}{4}\right)^2 - 16N^2\left(\frac{1}{2} + \frac{m^2}{2}\right)^2} \left(4N\left(\frac{1}{2} + \frac{m^2}{2}\right) + 12N\left(\frac{1}{4} - \frac{m^2}{4}\right)\right)}{c_0^2} \left(\frac{csn\zeta}{1-sn\zeta}\right)^2 \quad (58)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (58) in  $m \rightarrow 1$  için limiti alınır sabit çözüm bulunur. O halde bu durumu  $m \rightarrow 0$  için limit olarak inceleyelim. (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_{15}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + 2\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} - \frac{3\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} \left(\frac{\cos\zeta}{1-\sin\zeta}\right)^2 \quad (59)$$

çözümü ve (59) da  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_{14}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + 2\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} - \frac{3\sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}}N}{c_0^2} \left(\frac{\cos(k(z-ct))}{1-\sin(k(z-ct))}\right)^2 \quad (60)$$

$k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 0$  için limitidir.

**16. Durum:**  $P = 1$ ,  $Q = 2m^2 - 1$ ,  $R = -m^2(1 - m^2)$ ,  $F = ds \zeta$  olarak alınır

$$U_{16,m}(\zeta) = - \frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{-48N^2m^2(1-m^2) - 16N^2(2m^2-1)^2} 4N(2m^2-1+3ds^2\zeta)}}{c_0^2} \quad (61)$$

Jacobi eliptik fonksiyonu elde edilir. (61) in  $m \rightarrow 1$  için limiti alınırsa (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_{16}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{-\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(1 + 3c \operatorname{sch}^2 \zeta)}{c_0^2} \quad (62)$$

çözümü ve (62) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_{16}(z, t) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{-\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(1 + 3c \operatorname{sch}^2(k(z - ct)))}{c_0^2} \quad (63)$$

çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{2c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 1$  için limitidir.

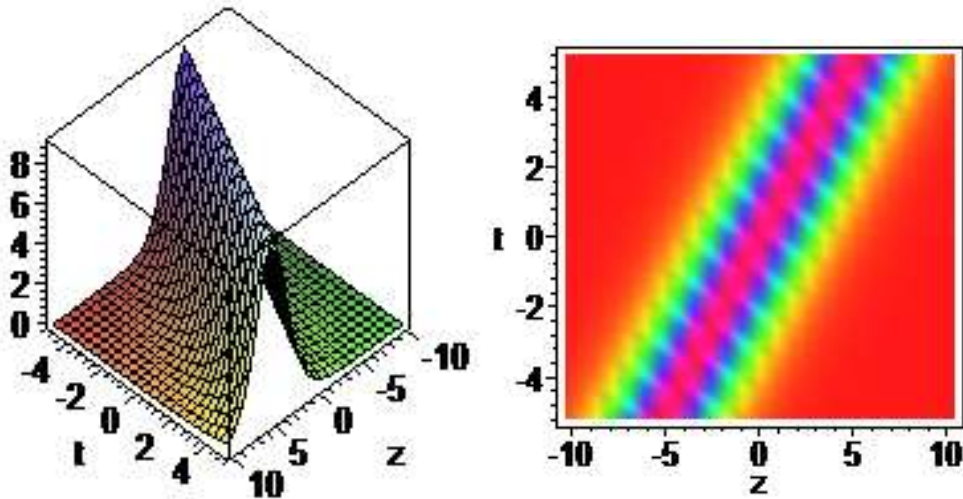
(61) eşitliği ile verilen Jacobi eliptik fonksiyonun  $m \rightarrow 0$  için limiti alınırsa (6) bağıntıları yardımıyla (8) adi diferensiyel denkleminin

$$U_{16.o}(\zeta) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{-\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(-1 + 3c \operatorname{sc}^2 \zeta)}{c_0^2} \quad (64)$$

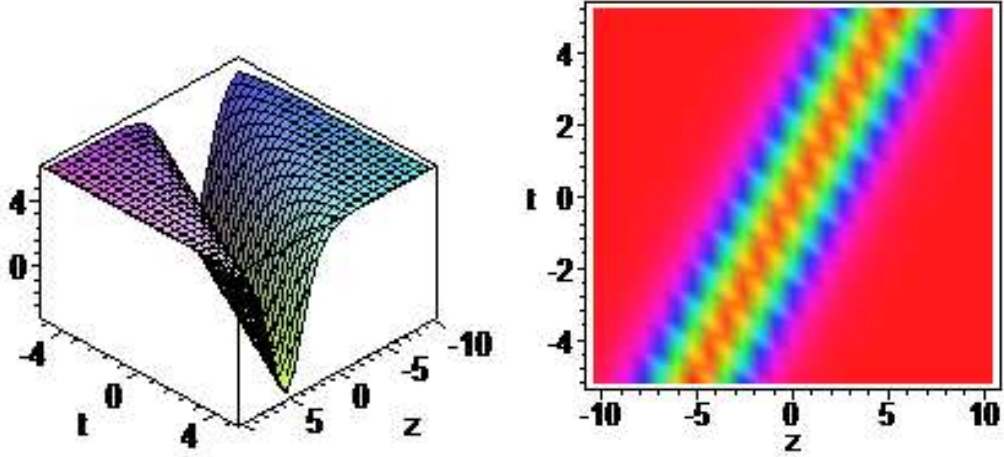
çözümü ve (64) de  $\zeta = k(z - ct)$  yazılırsa (1) kısmi diferensiyel denkleminin

$$u_{16.o}(z, t) = -\frac{c_0^2 - c^2 + \sqrt{-\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}} N(-1 + 3c \operatorname{sc}^2 k(z - ct))}{c_0^2} \quad (65)$$

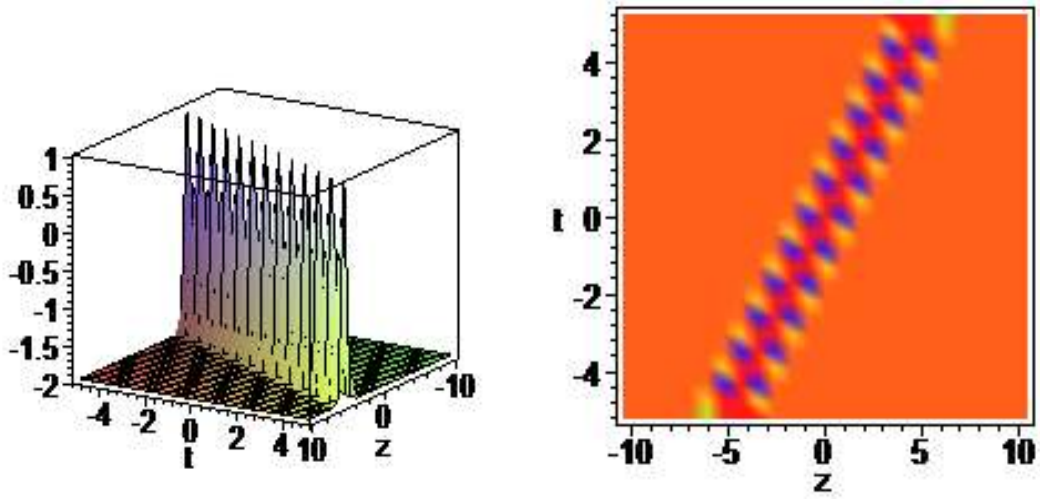
çözümü elde edilir. Burada  $k = \frac{\left(\frac{c_0^4 - 2c^2c_0^2 + c^4}{N^2}\right)^{\frac{1}{4}}}{2c}$ , (15) ifadesinin  $m \rightarrow 0$  için limitidir.



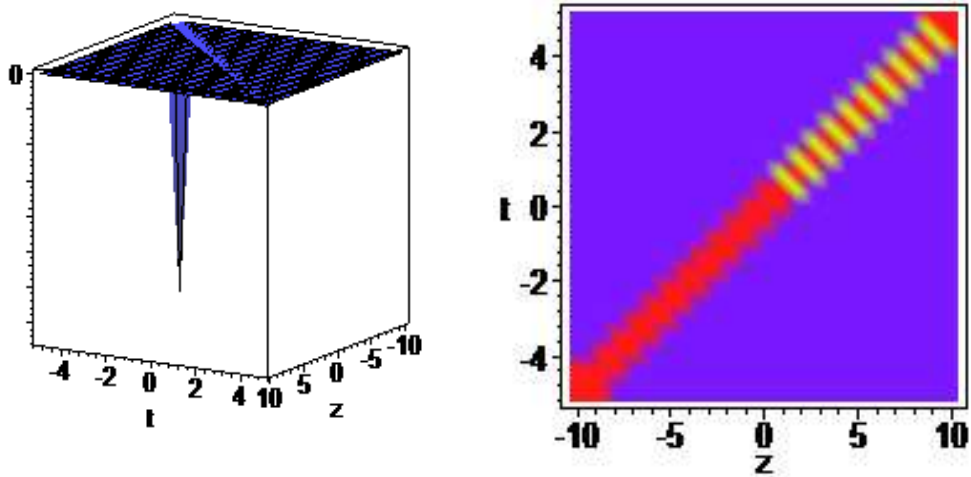
Şekil 1. (18)'de  $N = 1, c = 1, c_0 = 1/2$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon



Şekil 2. (18)'de  $N = -1, c = 1, c_0 = 1/2$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon

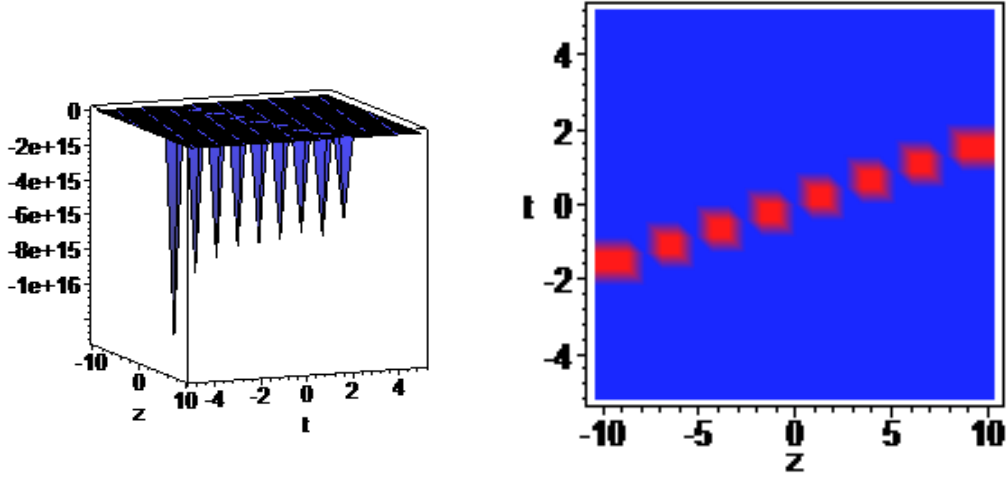


Şekil 3. (21)'de  $N = 1, c = 1, c_0 = 6$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon

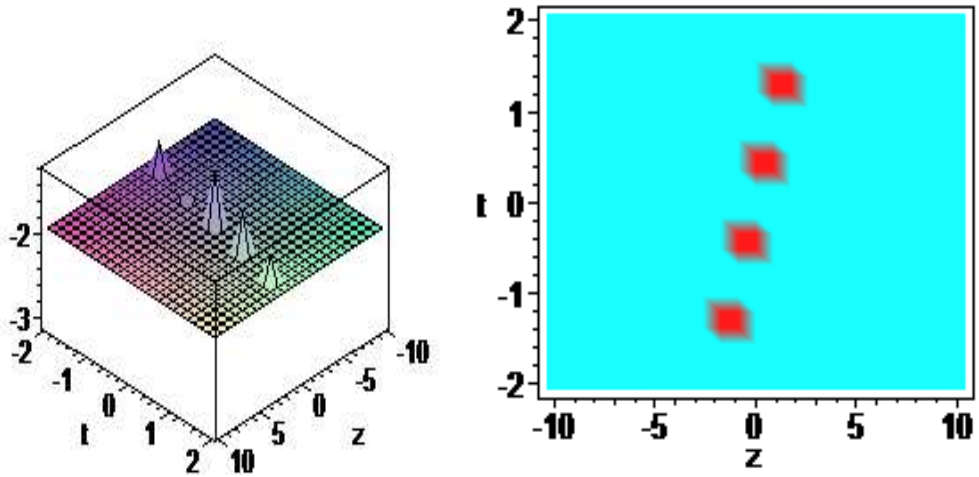


Şekil 4. (21)'de  $N = \frac{1}{2}, c = 2, c_0 = 8$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon

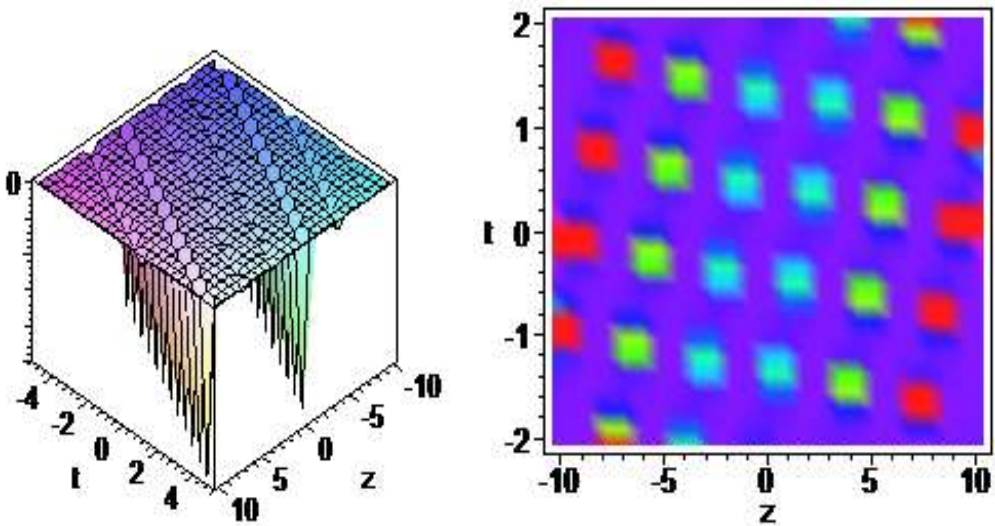
Dalga boyunu değiştirdiğimizde Şekil 4'deki değişimler aşağıda Şekil 5'de verilmiştir.



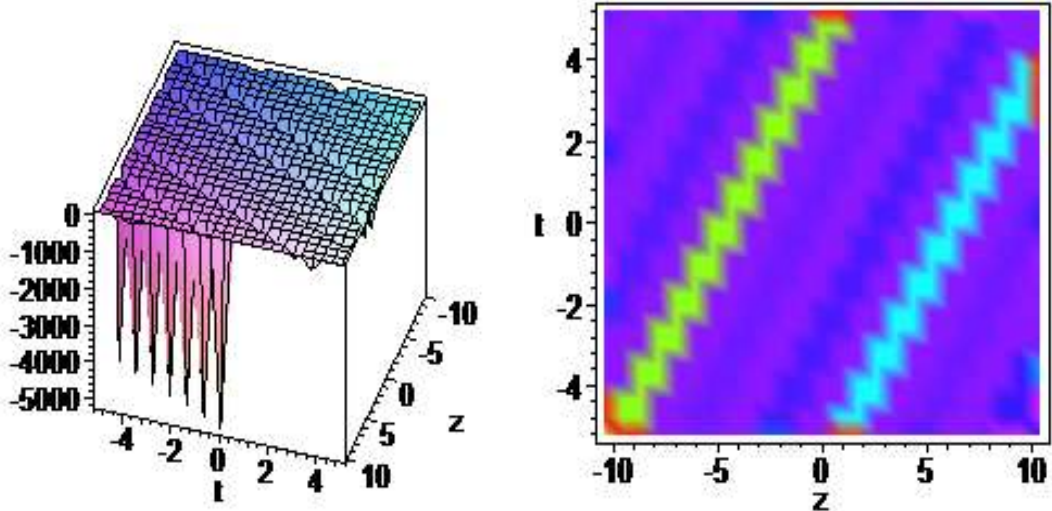
Şekil 5. (21)'de  $N = \frac{1}{2}, c = 6, c_0 = 8$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon



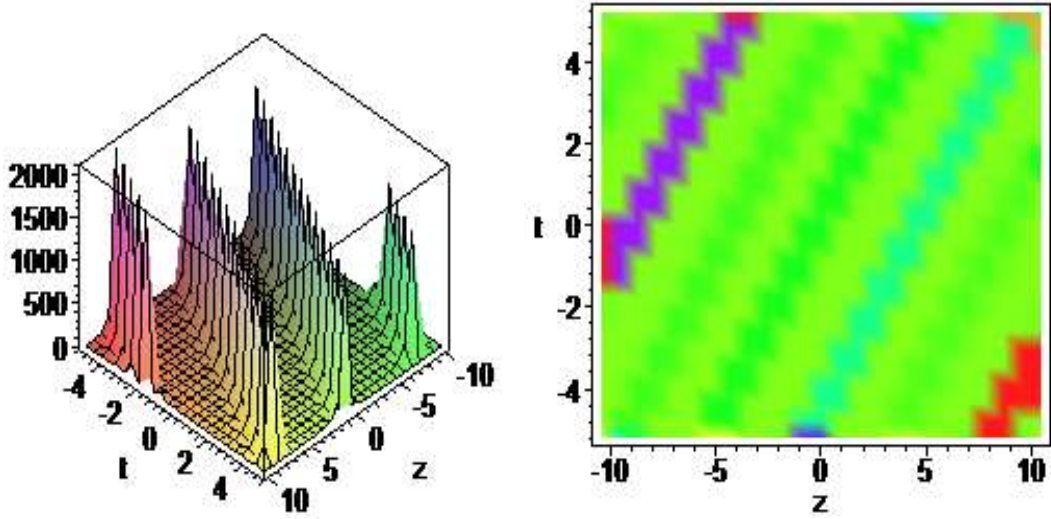
Şekil 6. (39)'da  $N = \frac{1}{2}, c = 6, c_0 = 8$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon



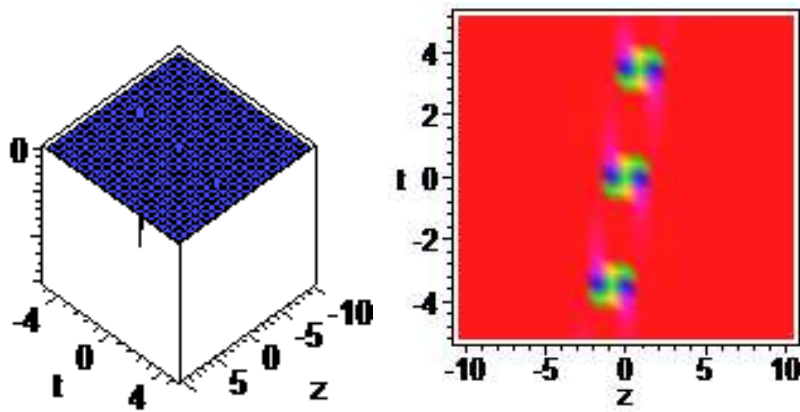
Şekil 7. (45)'de  $N = 1, c = 1, c_0 = 2$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon



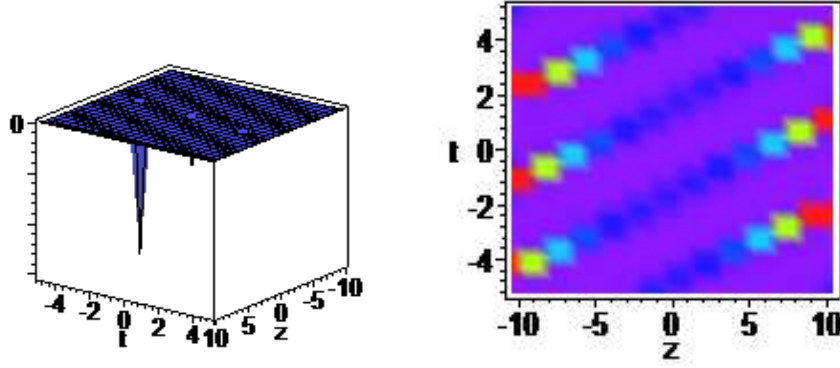
Şekil 8. (54)'de  $N = 1, c = 1, c_0 = 2$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon



Şekil 9. (54)'de  $N = 1, c = 1, c_0 = 8$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon



Şekil 10. (63)'de  $N = 1, c = 1/4, c_0 = 1$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon



Şekil 11. (65)'de  $N = 1$ ,  $c = \frac{1}{4}$ ,  $c_0 = 1$  seçilerek elde edilen nümerik simülasyon

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, magneto-elektro-elastik çubukta yalnız gezen dalgaların analizi yapıldı. MEE denkleminin hareketli dalga çözümlerini araştırmak için F-açılım metodu kullanıldı. Xue ve ark. nın 2011 yılında yaptığı çalışmada [15] kullanılan Jacobi eliptik cosinüs açılım metoduna nazaran çok daha fazla sayıda farklı çözüm elde edildi. F açılım metodunun içerdiği farklı durumlar için Jacobi eliptik fonksiyonlar yardımı ile tam çözümler oluşturuldu.  $m \rightarrow 0$  için trigonometrik,  $m \rightarrow 1$  için hiperbolik fonksiyonlar ve bunların kombinasyonlarını içeren çözümler elde edildi. Fiziksel problemlerin yorumlanmasında büyük öneme sahip olan bu çözümler Maple programı ile orijinal denklemde yerine yazılarak doğrulanmıştır. Bazı durumlarda  $m \rightarrow 1$  limitine karşılık gelen çözümler sabit çözüm çıktığından bu çözümlere çalışmada yer verilmemiş bunun yerine bazı durumlarda  $m \rightarrow 0$  limitine karşılık gelen çözümler alınmıştır. F açılım metodu ile incelenen durumlar mümkün tüm durumların tamamı değildir. İncelenen durumlar dışında birçok durum mevcuttur. Çalışmanın devamı olarak diğer durumlar ele alınarak yeni bir çalışma yapılabilir. Çalışmada son olarak, çözüm fonksiyonlarının farklı parametrelerdeki bazı özel değerleri kullanılarak grafikleri Maple programı ile çizdirilmiş ve aynı çözüm fonksiyonunun farklı özel değerlerdeki grafikleri, karşılaştırabilmek maksadıyla, alt alta çizdirilmiştir. Bu çalışmada sayfa sayısı kısıtı nedeni ile genel bir değerlendirme yapılmıştır. Daha ayrıntılı inceleme ve değerlendirme bütün çözümlerin nümerik simülasyonu yapılarak elde edilebilir. Bu konularda çalışmaya başlayanlara temel bir rehber olacağı kanaatindeyim.

#### Yazarların Katkısı

Bu makaledeki tüm katkı yazara aittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Yaşar E. 2016. Lie group analysis, exact solutions and conservation laws of (3+1) dimensional a B-type KP equation. NTMSCI 4, 4: 163-174.
- [2] Yaşar E., Giresunlu İ.B. 2015. Lie symmetry reductions, exact solutions and conservation laws of the third order variant Boussinesq system. Acta Physica Polonica A, 128: 3.
- [3] Yaşar E., Yıldırım Y. 2018. On the Lie symmetry analysis and travelling wave of time fractional fifth-order modified Sawada-Kotera equation. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi. 8 (2): 411-416.

- [4] Liu H., Li J., Zhang Q. 2009. Lie symmetry analysis and exact explicit solutions for general Burger's equation. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 228: 1-9.
- [5] Giresunlu İ.B., Yaşar E. 2015. First integrals and exact solutions for path equation describing minimum drag work. *Int. J. Adv. Appl. Math. And Mechi.*, 2 (4): 41-52.
- [6] Akram G., Mahak N. 2018. Analytical solution of the Korteweg-de Vries equation and microtubule equation using the first integral method. *Opt. Quantum Electorn*, 50 (3): 145
- [7] Wazwaz A.M. 2004. The tanh method for traveling wave solutions of nonlinear equations. *Applied Mathematics and Computation*, 154 (3): 713-723.
- [8] Bekir A. 2008. Application of the (G'/G)-expansion method for nonlinear evolution equations. *Physics Letter A*, 372: 3400-3406.
- [9] Liu S., Fu Z., Liu S., Zhao Q. 2001. Jacobi elliptic function expansion method and periodic wave solutions of nonlinear wave equation. *Physics Letter A*, 289: 69-74.
- [10] Mohyud-Din S.T., Ali A. 2017.  $Exp(-\varphi(\varepsilon))$ -expansion Method and Shifted Chebyshev Wavelets for Generalized Sawada-Kotera of Fractional Order. *Fundamental Informaticae*, 151 (1-4): 173-190.
- [11] He J.H., Wu X.H. 2006. Exp-function method for nonlinear wave equations. *Chaos, Solitons & Fractals*, 30 (3): 700-708.
- [12] Zayed E.M.E., Alurffi K.A.E. 2015. The modified Kudryashov method for solving some seventh order nonlinear PDEs in mathematical physics. *World Journal of Modelling and Simulation*, 11 (4): 308-319.
- [13] Yıldırım Y., Çelik N., Yaşar E. 2017. Nonlinear Schrödinger equations with spatio-temporal dispersion in Kerr, parabolic, power and dual power law media: A novel extended Kudryashov's algorithm and soliton solutions. *Results in Physics*, 7: 3116-3123.
- [14] Ekici M., Sonmezoğlu A. 2019. Optical solitons with Biswas-Arshed equation by extended trial function method. *Optik- International Journal for Light and Electron Optics*, 177: 13-20.
- [15] Dusunceli F., Celik E., Askin M., Bulut H. 2021. New exact solutions for the doubly dispersive equation using the improved Bernoulli sub-equation function method. *Indian J Phys.*, 95 (2): 309-314.
- [16] Bulut H., Yel G., Başkonuş H. 2016. An application of Improved Bernoulli Sub-Equation Function Method to the Nonlinear Time Fractional Burgers Equation. *Turk. J. Math. Comput. Sci.*, 5: 1-7.
- [17] Mirhosseini-Alizamini S.M., Rezazadeh H., Srinivasa K., Bekir A. 2020. New closed form solutions of the new coupled Konno-Oono equation using the new extended direct algebraic method. *Pramana-J. Phys.*, 94: 52.
- [18] Xue C.X., Pan E., Zhang S.Y. 2011. Solitary waves in a magneto-elektro-elastic circular rod. *Smart Mater. Struct.*, 20: 105010.
- [19] Zhang T.T. 2019. On Lie symmetry analysis, conservation laws and solitary waves to a longitudinal wave motion equation. *Applied Mathematics Letters*, 98: 199-205.
- [20] Baskonuş H.M., Bulut H., Atangana A. 2016. On the complex and hyperbolic structures of the longitudinal wave equation in a magneto-elektro-elastic rod. *Smart Metar. Struct.*, 25: 035022.
- [21] Zhou Q. 2016. Analytical study of solutions in magneto-elektro-elastic circular rod. *Nonlinear Dyn*, 83: 1403-1408.
- [22] Darvishi M.T., Najafi M., Wazwaz A.M., 2020. Construction of exact solutions in a magneto-electro-elastic circular rod. *Waves in Random and Complex Media*, 30 (2): 340-353.
- [23] Iqbal M., Seadawy A.R., Lu D. 2019. Applications of nonlinear longitudinal wave equation in a magneto-electro-elastic circular rod and new solitary wave solutions. *Modern Physics Letters B*, 33 (18): 1950210.
- [24] Seadawy A.R., Manafian J. 2018. New soliton solution to the longitudinal wave equation in a magneto-electro-elastic circular rod. *Results in Physics*, 8: 1158-1167.
- [25] Zhou Y., Wang M., Wang Y. 2003. Periodic wave solutions to a coupled KdV equations with variable coefficient. *Physics Letters A*, 308: 31-36.
- [26] Zhang J.F., Dai C.Q., Yang Q., Zhu J.M. 2005. Variable-coefficient F-expansion method and its application to nonlinear Schrödinger equation. *Optics Communications*, 252: 408-442.
- [27] Zhang J.L., Wang M.L., Wang Y.M., Fang Z.D. 2006. The Improved F expansion method and its applications. *Physics Letter A*, 350: 103-109.



- [28] Ebaid A., Aly E.H. 2012. Exact solutions for the transformed reduced Ostrovsky equation via the F-expansion method in terms of Weierstrass-elliptic and Jacobian-elliptic functions. *Wave Motion*, 49: 296-308.
- [29] Zhao Y.M. 2013. F-Expansion Method and Its Application for Finding New Exact Solutions to the Kudryashov-Sinelshchikov Equation. *Journal of Applied Mathematics*, Volume 2013, Article ID 895760, 7 pages, doi: 10.1155/2013/895760
- [30] Çelik N., Seadawy A.R., Sağlam Y., Yaşar E. 2021. A model of solitary waves in a nonlinear elastic circular rod: Abundant different type exact solutions and conservation laws. *Chaos, Solitons and Fractals*, 143: 1-19.

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Determination of Possible Maximum Critical Transition Temperatures with Empirical Model Depending on Structural Disorders-Defects for  $\text{Bi}_{2.1}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.0}\text{O}_y$  System**

Ümit ERDEM<sup>1\*</sup>, Gürcan YILDIRIM<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kırıkkale University, Scientific and Technological Research Application Center, Kırıkkale, Turkey

<sup>2</sup>Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Bolu, Turkey  
(ORCID: 0000-0002-0480-8176) (ORCID: 0000-0002-5177-3703)

**Abstract**

In this study, we find a strong link depending on the preparation annealing ambient conditions between structural disorders-defects and characteristic transition temperature parameters (offset,  $T_c^{\text{offset}}$  and onset,  $T_c^{\text{onset}}$ ) of bulk  $\text{Bi}_{2.1}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.0}\text{O}_y$  system for the first time. The superconducting samples are prepared at various annealing temperatures intervals 830°C -850°C with the temperature step of 10°C for annealing time ranging between 24 h and 48 h via traditional solid-state reaction route. The temperature-dependent resistivity measurements are conducted at temperature range of 30-140 K. The most ideal annealing ambient is obtained to be the combination of annealing temperature of 840 °C and annealing time of 24 h because of the enhancement in the formation possibility of strong cooper-pairs and optimization of itinerant charge carrier concentrations in the valence band. Similarly, the positive contributions are observed in the overlapping mechanism of wave functions between Cu-3d and O-2p electrons and especially logarithmic distribution of electronic state densities. The optimum annealing ambient makes the Bi-2212 system refine the structural problems and especially connectivity between the grains in the crystal structure. Conversely, the excess annealing ambient leads to increase considerably the grain misorientation, defects and grain boundary couplings due to the induced permanent problems in the crystal system. The highest correlated model shows that the Bi-2212 superconducting compounds with the minimum structural disorders in the short-range-ordered antiferromagnetic Cu-O<sub>2</sub> layers exhibit the maximum  $T_c^{\text{onset}}$  and  $T_c^{\text{offset}}$  values of about 85.347 K ( $R^2_{\text{adj}}=0.9882$ ) and 87.421 K ( $R^2_{\text{adj}}=0.97465$ ).

**Keywords:** Bi-2212 superconducting ceramic compound, Optimum annealing ambient, structural disorders-defects.

**$\text{Bi}_{2.1}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.0}\text{O}_y$  İçin Yapısal Bozukluklara Bağlı Olan Empirik Model İle Olası Maksimum Kritik Geçiş Sıcaklıklarının Belirlenmesi**

**Öz**

Bu çalışmada, katı Bi-2212 süperiletken sisteminin yapısal bozukluklar-kusurlar ve kritik geçiş sıcaklıkları (başlangıç,  $T_c^{\text{başlangıç}}$  ve bitiş,  $T_c^{\text{bitiş}}$ ) arasındaki ilişki hazırlık tavlama ortam koşullarına bağlı olarak ilk kez güçlü bir ilişki kurduk. Süperiletken malzemeler, geleneksel katı hal reaksiyon yolu ile 24 saat ila 48 saat arasında değişen tavlama süresi için 10°C sıcaklık adımı ile 830°C - 850°C arasındaki farklı tavlama sıcaklık aralıklarında hazırlandı. Sıcaklığa bağlı direnç ölçümleri 30-140 K sıcaklık aralığında yapıldı. Tüm deneysel ve teorik bulgular, tavlama ortamının temel karakteristik özellikleri önemli bir şekilde etkilediğini göstermektedir. En iyi tavlama ortamı, aktif elektron-fonon bağlantı özelliklerinin oluşum olasılığındaki artış ve gezici yük taşıyıcı konsantrasyonlarının optimizasyonu nedeniyle 840°C'lik tavlama sıcaklığının ve 24 saatlik sürenin kombinasyonu olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde, Cu-3d ve O-2p elektronları arasındaki dalga fonksiyonlarının örtüşme mekanizmasında ve özellikle elektronik durum yoğunluklarının logaritmik dağılımında pozitif katkılar gözlemlendi. Ayrıca, uygun koşullardaki tavlama ortamı, Bi-2212 sisteminin kristal yapı kalitesini ve kristal yapıdaki taneler arasındaki etkileşimin iyileştirilmesini sağlamaktadır. Tersine, aşırı tavlama ortamı, kristal sistemdeki kalıcı kristal yapı problemlerinin önemli ölçüde artmasına neden olur. Ayrıca, en yüksek ilişkili model, kısa menzilli antiferromanyetik Cu-O<sub>2</sub> katmanlarındaki minimum yapısal bozukluklara sahip Bi-2212 süper iletken malzemelerinin, maksimum  $T_c^{\text{başlangıç}}$  ve  $T_c^{\text{bitiş}}$  değerleri sırasıyla yaklaşık 85.347 K ( $R^2_{\text{adj}}=0.9882$ ) ve 87.421 K ( $R^2_{\text{adj}}=0.97465$ ) olarak belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bi-2212 süper iletken seramik bileşiği, Optimum tavlama ortamı, yapısal bozukluklar-kusurlar.

\*Corresponding author: [umiterdem@kku.edu.tr](mailto:umiterdem@kku.edu.tr)

Received: 03.02.2021, Accepted: 05.04.2021

## 1. Introduction

Until now, several science groups have searched on the improvement of fundamental characteristic properties (physical, electrical, superconducting, mechanical, electromechanical, flux pinning, structural, crystallinity, electronical and optoelectronics, etc.) of superconducting materials to find many places in the application fields [1-3]. Especially, the superconducting compounds are preferred to use in the metallurgical science, transformers, power transmission, particle accelerators, innovative energy infrastructure, medical diagnosis, energy-related sectors, refrigeration and heavy-industrial technology areas [4-7]. Historically, the first superconducting material was the mercury element that was discovered by Kamerlingh Onnes at the temperature of 4.2 K in 1911 [8]. Then, the researchers have made strong efforts to increase the critical transition temperature value up to such a temperature value higher than 77 K that is the boiling point of liquid nitrogen temperature and is further cheaper as compared to the other cooling material.

On this basis, Yttrium barium copper oxide (from the family of ceramic compounds) is the first superconductor showing the critical transition temperature larger than 77 K value and the date of 1987 was received as the essential turning-point of superconductivity phenomenon because of its transition temperature bigger than the boiling point of nitrogen temperature (in the liquid phase) of about 77 K [9]. In the literature, Bi-based superconducting material with three parent members (discovered by Maeda group in the year of 1988 [10]) is another crucial family of ceramic compounds. The critical transition temperature values are varied from 20 K until the value of 110 K [11] according to the active Cu-O<sub>2</sub> layer numbers of unit cell in the crystal structure. The values mentioned above can be developed by the change of preparation conditions [12-14]. In the current work, we scrutinize the role of annealing ambient (annealing temperatures between 830 °C and 850 °C and annealing time from 24 h until 48 h) on the fundamental characteristic electrical and superconducting quantities by means of temperature-dependent electrical resistivity measurements exerted in the temperature intervals 30 K-140 K. The experimental measurement results show that every characteristic feature is significantly affected by the annealing ambient conditions.

The best annealing ambient is measured as 840 °C annealing temperature for 24 h annealing duration. At the same time, we develop a strong empiric link between the preparation annealing ambient conditions and structural problems (disorders-defects) to detect the probable maximum onset and offset transition temperatures in our preparation conditions. The empirical model shows that the solid Bi-2212 superconducting sample with the perfect crystal structure displays the maximum offset and onset critical temperatures of about 85.34726 K and 87.42069 K, respectively.

## 2. Material and Method

### 2.1. Experimental Details for Bulk Bi<sub>2.1</sub>Sr<sub>2.0</sub>Ca<sub>1.1</sub>Cu<sub>2.0</sub>O<sub>y</sub> Superconducting Samples

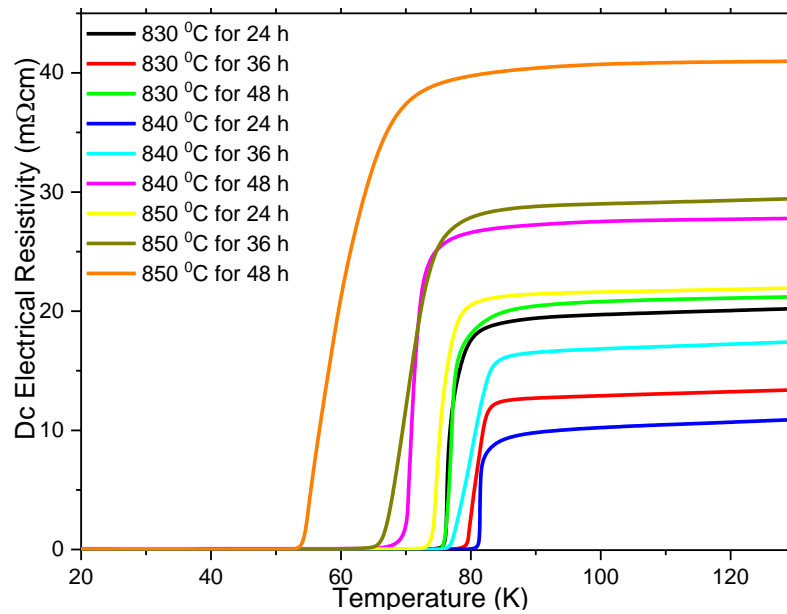
The bulk Bi-2212 superconducting ceramic compounds are prepared with the help of the standard solid-state method without any gas atmosphere under normal atmospheric pressure conditions. Initially, the main powders including carbonates and oxides, namely, the chemicals of CaCO<sub>3</sub>, CuO, SrCO<sub>3</sub> and Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> within the high purity level of % 99.9 are weighed thoroughly with the assistant of electronic balance in medium of air to gather the powder of chemicals in the stoichiometric proportion of Bi, Sr, Ca, Cu and O: 2.1, 2.0, 1.1, 2.0 and y, respectively. After that, the powder obtained in the stoichiometric ratio is mixed well by a pounder for 9 h duration to possess the homogenous mixture of powders. Then, the mixture of powders is exposed to grinding process in the agate by a grinder for the period of thirty minutes. The grinding process is performed without any solvent or atmospheric gasses environment. Now, the particles of powders reach the desired sizes for the formation of solid Bi-2212 ceramics. The last form of powders put in the porcelain crucibles is pre-heated at 800°C for 36 h for the calcination process in a furnace under the atmospheric air with both heating-cooling rates of 5°C/m so that we can easily remove the foreign particles related to the impurity phase, carbon derivatives from the resultant form of powders. The blackish powders calcined are taken out of furnace are again subjected to the intermediate grinding for 30 min in the agate mortar under the atmospheric pressure for the improvement in the homogeneity of powder. Finally, the last powder with the nominal composition of Bi<sub>2.1</sub>Sr<sub>2.0</sub>Ca<sub>1.1</sub>Cu<sub>2.0</sub>O<sub>y</sub> are exhaustively pelletized as the solid bars within the rectangular volume sizes of

$1.5 \times 0.5 \times 0.2 \text{ cm}^3$  under 300 MPa applied load during 5 min in the normal atmospheric pressure condition. Hence, the fundamental principle (bringing the atoms closer together for bonding easily) is provided. The solid bars pelletized are separately sintered at various annealing temperatures (830°C, 840°C and 850°C) for the annealing times of 24h, 36 h and 48 h.

The alteration of electrical resistivity against the temperature for the solid Bi-2212 ceramic compounds prepared at varied annealing ambient is measured in the temperature intervals 30K-140 K with standard four-point contact route. The electrical test results on the surface are gathered by using 5mA dc current in a cryostat. The dc electrical curves of materials enable us to deduce some crucial electrical and superconducting parameter not only to find out the effect of annealing ambient on the general characteristics of solid Bi-2212 ceramic material and but to define a relation between structural problems (disorders-defects) and superconducting features so that we find the possible maximum onset/offset transition temperatures for the Bi-2212 system.

### 3. Results and Discussion

The crucial extracted parameters such as onset ( $T_c^{onset}$ ), offset critical transition temperature ( $T_c^{offset}$ ), degree of the broadening ( $\Delta T_c = T_c^{onset} - T_c^{offset}$ ), room temperature resistivity ( $\rho_{300K}$ ), residual resistivity ( $\rho_0$ ), residual resistivity ratios (RRR),  $\rho_{norm}$ , and  $\Delta\rho$  will sensitively be explained in following parts to point out the role of annealing ambient (annealing temperature and time) on the Bi-2212 superconducting system.



**Figure 1** Differentiation of dc electrical resistivity against temperatures intervals 30-140 K for every  $\text{Bi}_{2.0}\text{Sr}_{2.0}\text{Ca}_{1.1}\text{Cu}_{2.0}\text{O}_y$  superconducting material

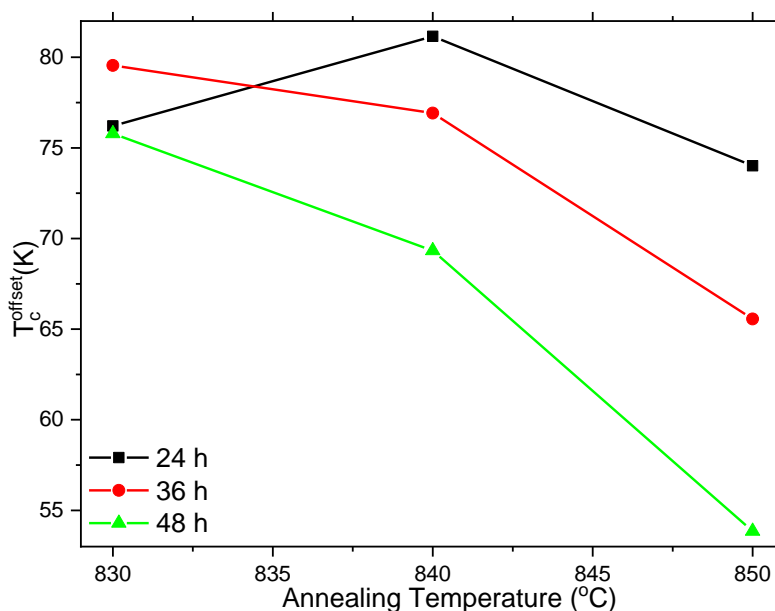
Besides, we determine the possible maximum  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  values with the aid of empirical approaches based on the general structural problems of impurity scattering and lattice strain in the active Cu-O<sub>2</sub> layers of bulk Bi-2212 superconducting crystal structure. On this basis, we firstly measure the electrical resistivity values over temperature varying between 30 K and 140 K and then thoroughly depict all the dc temperature-dependent electrical curves in Figure 1 clearly.

#### 3.1. Effect of Annealing Ambient on Fundamental Superconducting Properties Belonging to Bi-2212 Superconducting Crystal System

Prior to the serious discussions for electrical and superconducting quantities of Bi-2212 crystal system, the experimental findings pictured in Figure 1 show that the annealing ambient totally affects the

fundamental superconducting and electrical characteristic features of Bi-2212 superconductor. In this respect, we initially explain why and how the onset  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  and related parameter of broadening width  $\Delta T_c$  variation between  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  of superconducting ceramic materials change with the annealing ambient. It is well known that the  $T_c^{onset}$  parameter is in directly relation to the beginning of superconductivity phenomenon (the formation of active electron-phonon couplings) throughout the intra-grain regions (the isolated grains) [15].

In other words, the  $T_c^{onset}$  value is the vital temperature for both the formation of bipolaron mechanism in the polarizable lattices and hybridization mechanism (related the overlapping of wave functions between copper and oxygen electrons) in the superconducting system. Similarly, a number of mobile hole carrier concentrations are significantly affected by the onset critical transition temperature value [16]. It is received that the DOS (densities of electronic states) localization mechanism at Fermi energy level in the crystal structure and phase coherence ( $\varphi$ ) in the order parameter belonging to the super-electrons ( $\Psi = \Psi_0 e^{-i\varphi}$ ) are connected to the  $T_c^{onset}$  value for a superconducting ceramic material [17]. Accordingly, the formation of electron-phonon couplings is found to diminish with the augmentation of temperature and in fact could hardly any drive the superconductivity at the environment temperature values higher than the value of  $T_c^{onset}$ . On the other hand, the  $T_c^{onset}$  parameter is attributed to the inter-granular component features of Bi-2212 superconducting system and phase fractions in Bi-2223 superconducting system [18].

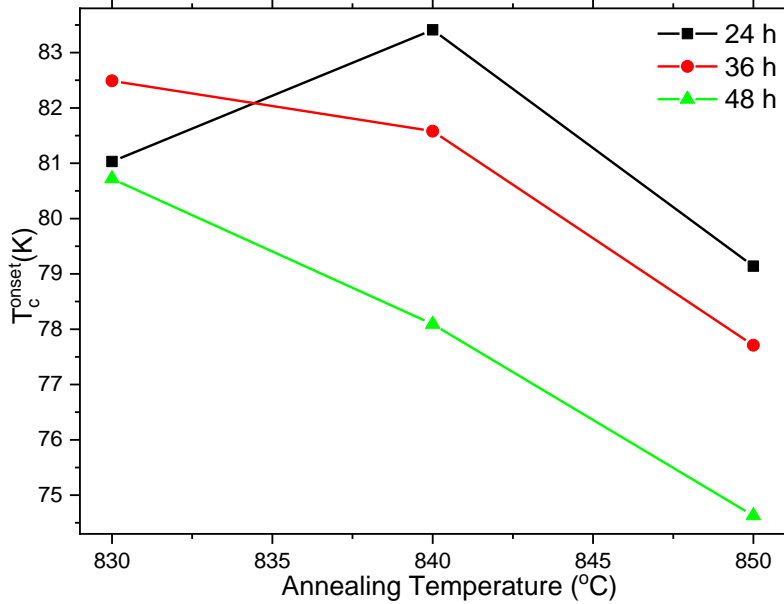


**Figure 2** Variation of  $T_c^{offset}$  parameters over annealing temperatures for all Bi-2212 superconducting ceramic material

At the vicinity of  $T_c^{onset}$  value, the bulk Bi-2212 superconducting material (with both the inter-granular and transgranular regions) transits into the superconducting state because of the presence of electron-phonon coupling cooper-pairs in the active Cu-O<sub>2</sub> layers [19]. One can see the  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  parameters (deduced from Figure 1) for all the superconducting compounds prepared at the varied annealing ambient in Figure 2 and Figure 3. It is obvious from the figures that both the critical transition temperatures (especially offset values) are recorded to be robustly dependence on the annealing temperature. On this basis, the bulk Bi-2212 superconducting material prepared at the constant annealing temperature of 830 °C for 24 h presents the  $T_c^{onset}$  value of 81.03 K and  $T_c^{offset}$  of 76.21 K.

Besides, the samples produced at 830 °C for the duration of 36 h and 48 h show the  $T_c^{onset}$  of 82.49 K and 80.72 K and  $T_c^{offset}$  of 79.55 K and 75.79 K, respectively. As for 840 °C annealing temperature value, the ceramic compounds fabricated at the annealing times of 24 h, 36 h and 48 h exhibit the  $T_c^{onset}$  parameters of 83.41 K, 81.58 K and 78.09 K and  $T_c^{offset}$  parameters of 81.16 K, 76.92 K and 69.33 K, respectively. In case of 850 °C, the superconducting ceramic materials prepared at the annealing periods of 24 h, 36 h and 48 h obtain the relatively smaller  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  of 79.14 K (74.01

K), 77.71 K (65.56 K) and 74.63 K (53.85 K), respectively. According to the experimental findings given, it seems that the highest  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  values are found to be about 83.41 K and 81.16 K, respectively for the Bi-2212 superconducting material produced at 840 °C for 24 h whereas the minimum  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  values of 74.63 K and 53.85 K are found for the bulk Bi-2212 compound prepared at 850 °C for 48 h annealing duration.



**Figure 3** Differentiation of  $T_c^{onset}$  parameters against annealing temperatures for every superconducting material prepared in this work

These results enable us to discuss why the superconducting characteristic temperatures of bulk Bi-2212 ceramic material change depending on the annealing temperature and time. Namely, the optimum annealing ambient (840 °C and 24 h) leads not only to form much more active and dynamic electron-phonon couplings throughout the intra-grain regions (meaning the increased order parameter regarding the super-electrons) and optimize the mobile hole carrier concentration in the active Cu-O<sub>2</sub> layers. Similarly, the ideal annealing temperature and time results in the enhancement of the DOS at Fermi energy level and overlapping of wave functions between copper and oxygen electrons in the superconducting system.

Morphologically, the general structural problems tend to dramatically decrease with the optimum production conditions [20]. However, the whole perfect mechanism collapses in case of the excess annealing ambient conditions. The deduced  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  parameters together allow us to define the crystal structure quality founded on the parameter of  $\Delta T_c$ . The minimum (best crystallinity)  $\Delta T_c$  parameter of 2.25 K ascribes to the solid Bi-2212 ceramic material fabricated at 840 °C for 24 h while the maximum one (20.78 K) is in association with the sample produced at the excess annealing ambient (840 °C for 48 h). The other compounds fabricated exhibit the moderate  $\Delta T_c$  values. It is apparent from the findings that the annealing ambient combination of 840 °C and 24 h makes the Bi-2212 superconducting material to be produced in the best crystal structure.

### 3.2. DC Electrical Findings for Bi-2212 Ceramic Samples Prepared at Various Annealing Process

In this part, we infer the dc electrical results as regards the parameters of  $\rho_{300K}$ ,  $\rho_0$ ,  $RRR$ ,  $\rho_{100K}$ ,  $\rho_{norm}$ , and  $\Delta\rho$  from the temperature-dependent resistivity curves provided in Figure 1. On can see all the experimental electrical findings in Table 1. Let us numerically discuss shortly the results founded on the maximum and minimum values. Namely, the Bi-2212 superconducting samples prepared at the constant annealing temperature of 840 °C for the annealing time of 24 h exhibits the global minimum  $\rho_{300K}$  (14.37 m $\Omega$ cm),  $\rho_0$  (7.87 m $\Omega$ cm),  $\rho_{100K}$  (11.16 m $\Omega$ cm),  $RRR$  (1.29),  $\rho_{norm}$  (3.48), and  $\Delta\rho$  (3.21 m $\Omega$ cm) parameters. On the other hand, the bulk Bi-2212 superconducting sample prepared at the annealing ambient combination of 850 °C annealing temperature and 48 h annealing time shows the maximum dc electrical

resistivity results (41.56 mΩcm, 39.39 mΩcm, 40.45 mΩcm, 1.03, 3.44 and 1.11 mΩcm for the  $\rho_{300K}$ ,  $\rho_0$ ,  $\rho_{100K}$ ,  $RRR$ ,  $\rho_{norm}$ , and  $\Delta\rho$  parameter, respectively). The other materials prepared possess the moderate resistivity values. We use all the experimental findings deduced from the temperature-dependent electrical resistivity curves to determine the ideal Bi-2212 superconducting ceramic material presenting the possible highest critical transition temperatures.

**Table 1** Deduced electrical quantities such as  $\rho_{300K}$ ,  $\rho_0$ ,  $RRR$ ,  $\rho_{100K}$ ,  $\rho_{norm}$ , and  $\Delta\rho$  parameters from the temperature-dependent resistivity curves

Dependence	$T_c^{offset}$ and $T_c^{onset}$ parameters extracted from correlation coefficient curves between structural disorders-defects and transition temperatures	
	$T_c^{offset}$ (K)	$T_c^{onset}$ (K)
$\rho_{100K}$	85.34726 $\pm 2.23008$ ( $R^2_{adj}=0.9882$ )	87.42069 $\pm 1.05553$ ( $R^2_{adj}=0.97465$ )
$\rho_{norm}$	83.56794 $\pm 1.0282$ ( $R^2_{adj}=0.98158$ )	85.63312 $\pm 0.84035$ ( $R^2_{adj}=0.97098$ )
$\rho_{res}$	82.64569 $\pm 1.87686$ ( $R^2_{adj}=0.9849$ )	84.29217 $\pm 0.49983$ ( $R^2_{adj}=0.95828$ )
$\rho_{300K}$	86.94921 $\pm 3.55148$ ( $R^2_{adj}=0.98495$ )	89.27739 $\pm 1.81947$ ( $R^2_{adj}=0.96213$ )

### 3.3. Determination of Possible Maximum Onset and Offset Critical Transition Temperature Values for Bulk Bi-2212 Superconducting Ceramic Compounds

In this part of this paper, we define a strong link between the annealing ambient conditions and structural disorders-defects (based on the fundamental electrical resistivity parameters) in the crystal system for the first time so that we find the highest maximum offset/onset critical transition temperatures pertaining to the bulk Bi-2212 superconducting ceramic compounds using the empirical approach. In this context, we examine the variation of  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  parameters against the  $\rho_{res}$ ,  $\rho_{100K}$ ,  $\rho_{300K}$ , and  $\rho_{norm}$  parameters, respectively. One can see the differentiation curves related to the  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  values in Figure 4a-d and Figure 5a-d. Besides, we depict the correlation parameters in the curves to realize the best approaching results. It is to be mentioned here that the high correlation coefficients are obtained for the fitting equations in the quadratic form of functions. Gather all the equations and provide in Table 2 in detail. It is apparent from the table that the extrapolated values founded on the  $\rho_{100K}$  values shows the highest correlation coefficients of  $R_{2adj}=0.97465$  and  $R_{2adj}=0.9882$  for the onset and offset critical transition temperature, respectively. According to the model, the maximum  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  values are obtained to be about  $85.34726 \pm 2.23008$  K and  $87.42069 \pm 1.05553$  K, respectively in case of the perfection of crystal structure for the Bi-2212 superconducting compounds. Secondly, we study on the empirical approach founded on the  $\rho_{norm}$  to find the maximum onset and offset critical temperature values.

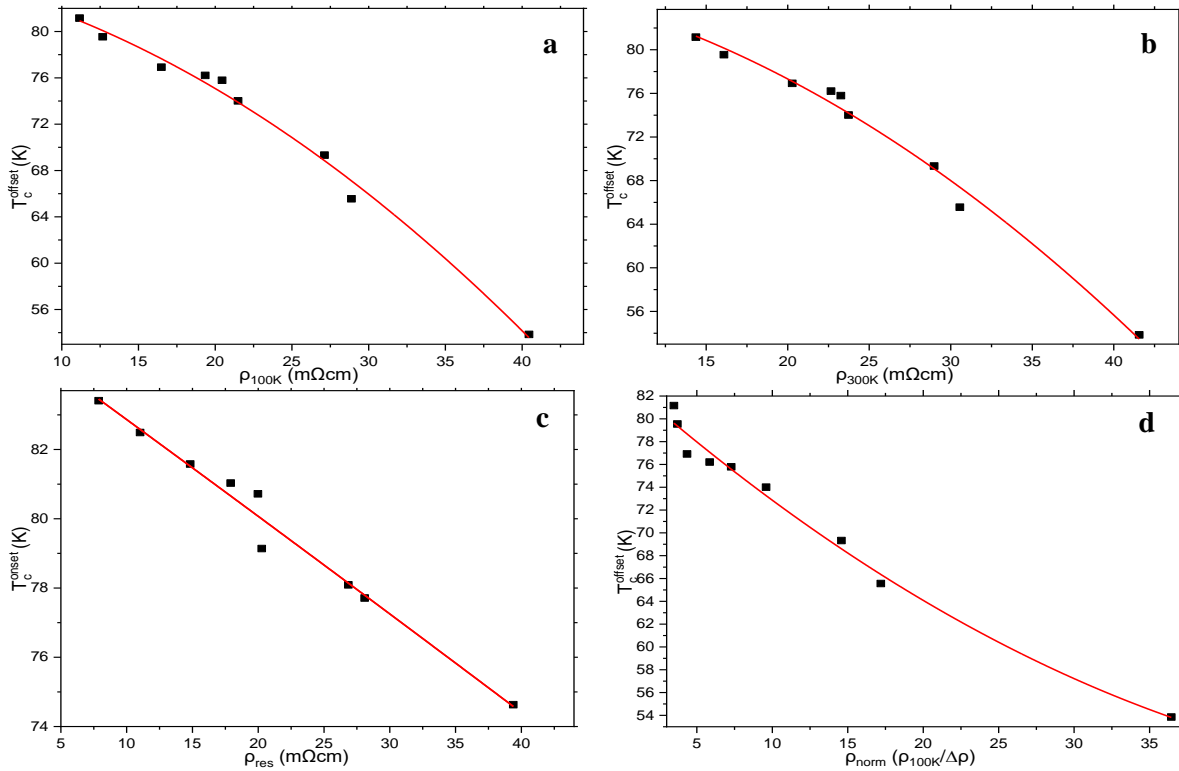
The correlation coefficients are found to be about  $R_{2adj}=0.98158$  for the  $T_c^{offset}$  parameter and  $R_{2adj}=0.97098$  for the  $T_c^{onset}$  parameter the related  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  values are deduced to be about  $85.63312 \pm 0.84035$  K and  $83.56794 \pm 1.0282$  K, respectively. Moreover, the empirical model focusing on the  $\rho_{res}$  parameters displays the possible highest  $T_c^{offset}$  of  $82.64569 \pm 1.87686$  K and  $T_c^{onset}$  of  $84.29217 \pm 0.49983$  K with the correlation coefficient of  $R_{2adj}=0.9849$  and  $R_{2adj}=0.95828$ . at the same time, the last model related to the  $\rho_{100K}$  values shows the highest offset ( $86.94921 \pm 3.55148$  K) and onset ( $89.27739 \pm 1.81947$  K) critical transition temperature values but within the moderate correlation coefficients of  $R_{2adj}=0.98495$  and  $R_{2adj}=0.96213$ . It is fair to conclude that all the  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  parameters are found to be closer to each other.

In this respect, the empirical model founded on the  $\rho_{100K}$  values (directly related to the impurity scattering and lattice strain in the crystal structure) illustrates the highest correlation coefficients with the relatively higher  $T_c^{onset}$  and  $T_c^{offset}$  values. Namely, the bulk Bi-2212 superconducting material with the ideal crystallinity and best grain boundary coupling quality exhibits the  $T_c^{onset}$  of about 87.42069 K

and  $T_c^{offset}$  of 85.34726 K in case of production of material in the most ideal annealing ambient conditions, being one of the most striking point inferred from this work.

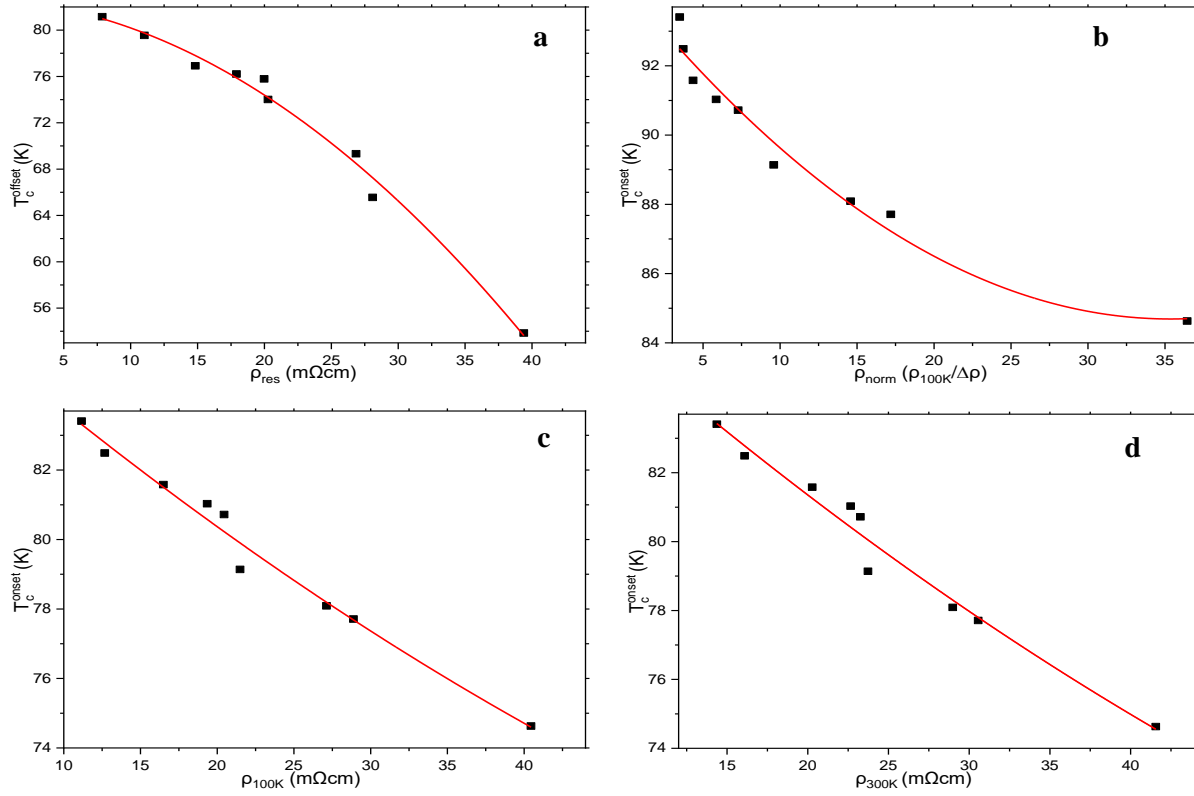
**Table 2** Empirical approach findings extracted from correlation coefficient curves between structural disorders-defects and transition temperatures

Samples	$\rho_{300K}$ (mΩcm)	$\rho_{res}$ (mΩcm)	RRR ( $\rho_{300K}/\rho_{100K}$ )	$\Delta \rho$ ( $\rho_{300K} - \rho_{100K}$ ) (mΩcm)	$\rho_{norm}$ ( $\rho_{100K}/\Delta \rho$ )	$\rho_{100K}$ (mΩcm)
840°C for 24 h	14.37	7.87	1.29	3.21	3.48	11.16
830°C for 36 h	16.09	11.02	1.27	3.42	3.71	12.67
840°C for 36 h	20.28	14.83	1.23	3.79	4.35	16.49
830°C for 24 h	22.66	17.91	1.17	3.31	5.85	19.35
830°C for 48 h	23.26	19.98	1.14	2.81	7.28	20.45
850°C for 24 h	23.73	20.27	1.11	2.24	9.59	21.49
840°C for 48 h	28.98	26.85	1.09	1.86	14.58	27.12
850°C for 36 h	30.56	28.09	1.06	1.68	17.19	28.88
850°C for 48 h	41.56	39.39	1.03	1.11	36.44	40.45



**Figure 4** Correlation coefficient curves between (a)  $T_c^{offset}$  and  $\rho_{100K}$ ; (b)  $T_c^{offset}$  and  $\rho_{300K}$ ; (c)  $T_c^{offset}$  and  $\rho_{res}$  (d)  $T_c^{offset}$  and  $\rho_{norm}$  for definition of possible highest  $T_c^{offset}$  parameter. Inset: Fitting equations related to correlation graphics.





**Figure 5** Correlation coefficient curves between (a)  $T_c^{onset}$  and  $\rho_{res}$ ; (b)  $T_c^{onset}$  and  $\rho_{norm}$ ; (c)  $T_c^{onset}$  and  $\rho_{100K}$ ; (d)  $T_c^{onset}$  and  $\rho_{300K}$  for definition of possible highest  $T_c^{onset}$  parameter. Inset: Fitting equations related to correlation graphics

#### 4. Conclusions and Recommendations

In the current work, we discuss the effect of annealing ambient (combination of annealing temperature between 830°C and 850°C and annealing duration of 24-48 h for the bulk Bi-2212 superconducting ceramic compound) on the onset and offset critical transition temperature values with the aid of dc electrical resistivity versus temperature measurements in the temperature range of 30 K-140 K. It is found that the main electrical and superconducting characteristic features are dramatically affected by the annealing ambient conditions. According to the experimental measurement results, the combination of 840 °C annealing temperature and 24 h duration of is noted to be the best annealing ambient for the production of bulk Bi-2212 superconducting material. In more detail, the optimum annealing ambient leads to enhance rapidly the formation possibility of active and strong electron-phonon coupling properties throughout the intra-grain regions, and optimize the mobile hole carrier concentrations in the active Cu-O<sub>2</sub> layers. Besides, the DOS at Fermi energy level and overlapping of wave functions between copper and oxygen electrons in the superconducting system increase considerably in case of the optimum annealing ambient condition. At the same time, a strong empiric relation between the structural disorders-defects and critical transition temperatures demonstrates that the model depending on the  $\rho_{90K}$  parameter exhibits the best performance with the highest correlation coefficients of  $R^2_{adj}=0.97465$  and  $R^2_{adj}=0.9882$  for the onset and offset critical transition temperature, respectively. Accordingly, this study strongly shows that the solid Bi-2212 ceramic material produced in the ideal crystallinity and best grain boundary coupling quality possesses the maximum  $T_c^{onset}$  of about 87.42069 K and  $T_c^{offset}$  of 85.34726 K. In other words, it is not possible that the solid Bi-2212 ceramic material (produced in our condition) can exhibit the  $T_c^{offset}$  and  $T_c^{onset}$  values higher than about 85.34726 K and 87.42069 K, respectively.

#### Authors' Contribution

All the authors discussed the results and contributed to the final form of manuscript.

### Statement of Conflicts of Interest

The author has no conflict of interest regarding this article.

### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

### References

- [1] Oh S.Y., Kim H.R., Jeong Y.H., Hyun O.B., Kim C.J. 2007. Joining of Bi-2212 high-T<sub>c</sub> superconductors and metals using indium solders. *Physica C: Superconductivity and its applications*, 463: 464-467.
- [2] Hodge J.D., Muller H., Applegate D.S., Huang Q. 1995. A resistive fault current limiter based on high temperature superconductors. *Applied superconductivity*, 3 (7-10): 469-482.
- [3] Miao H., Meinesz M., Czabai B., Parrell J., Hong S. 2008. Microstructure and J(c) Improvements in Multifilamentary Bi-2212/Ag Wires for High Field Magnet Applications. *Aip Conference Proceedings*, 986: 423-430.
- [4] Koyama K., Kanno S., Noguchi S. 1990. Electrical, Magnetic and Superconducting Properties of the Quenched Bi<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>1-x</sub>Nd<sub>x</sub>Cu<sub>2</sub>O<sub>8+y</sub> system. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 29: L53-L56.
- [5] Werfel F.N., Floegel-Delor U., Rothfeld R., Riedel T., Goebel B., Wippich D., Schirrmeister P. 2012. Superconductor bearings, flywheels and transportation. *Supercond. Sci. Technol.*, 25: 014007.
- [6] Buckel W., Kleiner R. 2004. *Superconductivity: Fundamentals and Applications*. 2<sup>nd</sup> ed., Wiley-VCH Verlag, Weinheim.
- [7] Yildirim G. 2017. Determination of Optimum Diffusion Annealing Temperature for Au Surface-layered Bi-2212 Ceramics and Dependence of Transition Temperatures on Disorders. *J. Alloy. Compd.*, 699: 247-255.
- [8] Onnes H.K. 2011. Further experiments with Liquid Helium. D. On the change of Electrical Resistance of Pure Metals at very low Temperatures, etc. V. The Disappearance of the resistance of mercury. *Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen Proceedings*, 14: 113-115.
- [9] Bordet P., Chaillout C., Chenavas J., Hodeau J.L., Marezio M., Karpinski J., Kaldis E. 1988. Structure determination of the new high-temperature superconductor Y<sub>2</sub>Ba<sub>4</sub>Cu<sub>7</sub>O<sub>14+x</sub>. *Nature*, 336: 596-599.
- [10] Maeda H., Tanaka Y., Fukutomi M., Asano T. 1988. A new high-T<sub>c</sub> oxide superconductor without a rare-earth element. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 27: L209-L210.
- [11] Mousavi Ghahfarokhi S.E., Zargar Shoushtari M. 2010. Structural and physical properties of Cd-doped Bi<sub>1.64</sub>Pb<sub>0.36</sub>Sr<sub>2</sub>Ca<sub>2-x</sub>Cd<sub>x</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> superconductor. *Physica B*, 405: 4643-4649.
- [12] Ben Azzouz F., Zouaoui M., Mani K.D., Annabi M., Van Tendeloo G., Ben Salem M. 2006. Structure, microstructure and transport properties of B-doped YBCO system, *Phys. C Supercond. Its Appl.*, 442: 13-19.
- [13] Roa J.J., Jiménez-Piqué E., Capdevila X.G., Segarra M. 2010. Nanoindentation with spherical tips of single crystals of YBCO textured by the Bridgman technique: Determination of indentation stress-strain curves. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 30: 1477-1482.
- [14] Dadras S., Dehghani S., Davoudiniya M., Falahati S. 2017. Improving superconducting properties of YBCO high temperature superconductor by Graphene Oxide doping. *Mater. Chem. Phys.*, 193: 496-500.
- [15] Ianculescu A., Gartner M., Despax B., Bley V., Lebey Th., Gavrilă R., Modreanu M. 2006. Optical characterization and microstructure of BaTiO<sub>(3)</sub> thin films obtained by RF-magnetron sputtering. *Appl. Surf. Sci.*, 253: 344-348.
- [16] Sartekin N.K., Pakdil M., Yildirim G., Oz M., Turgay T. 2016. Decrement in metastability with Zr nanoparticles inserted in Bi-2223 superconducting system and working principle of hybridization mechanism. *J. Mater. Sci: Mater. El.*, 27: 956-965.

- [17] Burns G. 1991. High-temperature Superconductivity: An Introduction. Academic Press, New York.
- [18] Awad R., Abou-Aly A.I., Abdel Gawad M.M.H., Eldeen I.G. 2012. The influence of SnO<sub>2</sub> nanoparticles addition on the vickers microhardness of (Bi, Pb)-2223 superconducting phase. J. Supercond. Nov. Magn., 25: 739-745.
- [19] Guner S.B., Zalaoglu Y., Turgay T., Ozyurt O., Ulgen A.T., Dogruer M., Yildirim G. 2019. A detailed research for determination of Bi/Ga partial substitution effect in Bi-2212 superconducting matrix on crucial characteristic features. J. Alloy. Compd., 772: 388-398.
- [20] Rao D.M., Somaiah T., Haribabu V., Venudhar Y.C. 1993. Growth-kinetics of high-T<sub>c</sub> and low-T<sub>c</sub> phases in Bi<sub>2-x</sub>Pb<sub>x</sub>Ca<sub>2</sub>Sr<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> superconducting compounds. Cryst. Res. Technol., 28: 285-298.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **On Parseval Identity of $q$ -Sturm-Liouville Problem with Transmission Conditions on Semi Axis**

Nida PALAMUT KOŞAR\*

*Gaziantep University, Nizip Education Faculty, Mathematics and Science Education Department, Gaziantep  
(ORCID: 0000-0003-2421-7872)*

---

### **Abstract**

The paper is concerned with the existence of a spectral function for the singular  $q$ -Sturm-Liouville problem with transmission conditions. Furthermore, the Parseval identity and the expansion formula in the eigenfunctions is established.

**Keywords:**  $q$ -Sturm-Liouville operator, Parseval identity, spectral function, eigenfunction expansion.

---

## **Yarı Eksende Transfer Koşullu $q$ -Sturm-Liouville Probleminin Parseval Özdeşliği Üzerine**

### **Öz**

Makale, transfer koşullu tekil  $q$ -Sturm-Liouville problemi için bir spektral fonksiyonun varlığı ile ilgilidir. Ayrıca, özfonksiyonlarda genişleme formülü ve Parseval eşitliği oluşturulmuştur.

**Anahtar kelimeler:**  $q$ -Sturm-Liouville operatörü, Parseval eşitliği, spektral fonksiyon, özfonksiyon genişlemesi.

---

### **1. Introduction**

The growth and applications of the  $q$ -calculus which is known as the classical calculus without limits has been of great interest recently. It was seen that it has an important role in different fields of mathematics such as mathematical physics, calculus of variations, statistical mechanic and the theory of quantum. There are lots of details about  $q$ -calculus for interested researchers Ernst [1], Kac and Cheung [2]. Furthermore, for a general introduction to the  $q$ -calculus very useful studies have been done such as Allahverdiev and Tuna [3-5], Annaby and Mansour [6, 7] and Jackson [8, 9].

It is well known that eigenfunction expansion problems are important for solving various problems and there are lots of techniques for obtained (see Allahverdiev and Tuna [3], Levitan and Sargsjan [10], Titchmarsh [11], Annaby and Mansour [12]). On the other hand, many researchers have focus on certain generalizations of Sturm-Liouville problems.

Annaby et al. [13] also studied the eigenfunction expansion for a certain  $q$ -Sturm-Liouville problems by using Titchmarsh's technique and defined some concepts for deriving eigenfunction expansion problems. Mamedov et al. [14] gave sampling theory associated with  $q$ -Sturm-Liouville operator with discontinuity conditions.

Sturm-Liouville problems with transmission conditions have been investigated by many authors such as Allahverdiev and Tuna [5], Mukhtarov and Tunç [15], Mukhtarov and Yakubov [16] et al. gave asymptotic formulas for eigenvalues and the corresponding eigenfunction for these problems. Furthermore, inverse nodal problem for polynomial pencil of Sturm-Liouville operator was studied by Goktas et al. [17], and scattering properties of eigenparameter was given by Bairamov et al. [18]. It was proved that the existence of a spectral function for singular  $q$ -Sturm-Liouville operators on semi

---

\*Corresponding author: [npkosar@gmail.com](mailto:npkosar@gmail.com)

Received: 06.02.2021, Accepted: 09.04.2021

unbounded interval by Allahverdiev and Tuna [4] and also they obtained Parseval identity on expansion formula.

In this study, we consider  $q$ -Sturm-Liouville expression as follows:

$$\ell(y) := -\frac{1}{q}D_{q^{-1}}D_q y(\zeta) + u(\zeta)y(\zeta), \quad \zeta \in J := [0, c) \cup (c, q^{-n}), n \in \mathbb{N}.$$

Here we denote  $J_1 := [0, c)$ ,  $J_2 := (c, q^{-n})$  and so  $J := J_1 \cup J_2$ . Suppose that the points  $0, c, q^{-n}$  are  $q$ -regular for the differential expression  $\ell$ .  $u$  is real, Lebesgue measurable function in  $J$  and  $u \in L^1_q(J_k)$ ,  $k = 1, 2$ . Recall that  $c$  is a  $q$ -regular point of the function  $u$  which belongs to  $L^1_q[c - \varepsilon, c + \varepsilon]$  for some  $\varepsilon > 0$ .

The rest of the study is arranged as follows. In section 2, we give some preliminaries for  $q$ -calculus. In section 3, we investigate the existence of a spectral function, Parseval identity has been obtained and expansion formula with eigenfunctions for a singular  $q$ -Sturm-Liouville problems with transmission conditions.

## 2. Preliminaries

We begin with some preliminary facts and notations for quantum calculus (see Kac and Cheung [2], Annaby and Mansour [6]). Our main tools are dealt with  $q$ -derivative and  $q$ -integral. Let  $q$  be any fixed constant with  $q \in (0, 1)$ ,  $A \subset \mathbb{R}$ , and  $a \in A$ . Also a  $q$ -difference equation is an equation which includes an equation which includes  $q$ -derivatives of a function defined on  $A$ . The  $q$ -difference operator is denoted by  $D_q$ , the Jackson  $q$ -derivative of a function  $\varphi: A \rightarrow \mathbb{C}$  is defined by

$$D_q \varphi(a) := \frac{\varphi(aq) - \varphi(a)}{aq - a}, \quad \forall a \in A \setminus \{0\}.$$

We say that the point  $0$  in  $A$  is the Jackson  $q$ -derivative at zero if the limit

$$D_q \varphi(0) := \frac{\varphi(aq) - \varphi(0)}{aq^n}, \quad \forall a \in A$$

exists and belongs to  $\mathbb{C}$ . Here, note that the value of the limit is independent of  $a$  (see Jackson [8]). The Jackson  $q$ -integral is given by

$$\int_0^a \varphi(\zeta) d_q \zeta = a(1 - q) \sum_{k=0}^{\infty} q^k \varphi(aq^k), \quad (a \in A),$$

where the series is convergent (see Jackson [9]). Additionally, the following result is satisfied

$$\int_a^b \varphi(\zeta) d_q \zeta = \int_0^b \varphi(\zeta) d_q \zeta - \int_0^a \varphi(\zeta) d_q \zeta, \quad \forall a, b \in A.$$

The Jackson  $q$ -integration of  $\varphi$  on  $[0, \infty)$  is defined by Hahn [19] by the formula

$$\int_0^{\infty} \varphi(\zeta) d_q \zeta = a(1 - q) \sum_{k=-\infty}^{\infty} q^k \varphi(aq^k), \quad (a \in A),$$

provided that some converges absolutely. A function  $\varphi$  is  $q$ -regular at the point zero if the limit

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \varphi(aq^n) = \varphi(0), \quad (a \in A \cup \{0\})$$

exists. Through the study the functions will be acknowledged  $q$ -regular at zero. If  $\varphi$  and  $\psi$  are  $q$ -regular at zero, then the following equality holds

$$\int_0^a \psi(\zeta)D_q\varphi(\zeta)d_q\zeta + \int_0^a \varphi(q\zeta)D_q\psi(\zeta)d_q\zeta = \varphi(a)\psi(a) - \varphi(0)\psi(0).$$

The separable Hilbert space is  $L_q^2(0, \infty) := \{\varphi \mid \int_0^\infty |\varphi(\zeta)|^2 d_q\zeta < \infty, \varphi: [0, \infty) \rightarrow \mathbb{C}\}$  with the norm by

$$\|\varphi\| := \left( \int_0^\infty |\varphi(\zeta)|^2 d_q\zeta \right)^{\frac{1}{2}} < \infty,$$

and given with the inner product as

$$\langle \varphi, \psi \rangle := \int_0^\infty \varphi(\zeta)\overline{\psi(\zeta)} d_q\zeta, \quad \varphi, \psi \in L_q^2(0, \infty)$$

(see Annaby et al. [13]).

We call the  $q$ -Wronskian of  $\varphi, \psi$  functions on  $A$  if

$$W_q[\varphi, \psi](a) = \varphi(a)D_q\psi(a) - \psi(a)D_q\varphi(a) \tag{2.1}$$

exists.

### 3. Results

In this section, we begin with the  $q$ -Sturm-Liouville equations as follows

$$\ell(y) := -\frac{1}{q}D_{q^{-1}}D_qy(\zeta) + u(\zeta)y(\zeta) := \lambda y, \quad \zeta \in J \tag{3.1}$$

with the boundary conditions

$$y(0)\cos\alpha + D_{q^{-1}}y(0)\sin\alpha = 0, \tag{3.2}$$

$$y(q^{-n})\cos\alpha + D_{q^{-1}}y(q^{-n})\sin\alpha = 0, \quad (\alpha, \beta \in \mathbb{R}, n \in \mathbb{N}) \tag{3.3}$$

and transmission conditions:

$$y(c+) - \gamma_1y(c-) - \gamma_2D_qy(c-) = 0 \tag{3.4}$$

$$D_qy(c+) - \gamma_3y(c-) - \gamma_4D_qy(c-) = 0, \tag{3.5}$$

where  $\lambda$  is a complex eigenparameter and the potential function  $u \in L_q^1(J)$  and notice that it guarantees  $y(c\bar{+})$  and  $D_qy(c\bar{+})$  in (3.4) - (3.5) make sense; here we assume that

$$\gamma = \begin{vmatrix} \gamma_1 & \gamma_2 \\ \gamma_3 & \gamma_4 \end{vmatrix} > 0 \tag{3.6}$$

Furthermore, the class  $H_q := L_q^2(J_1) \oplus L_q^2(J_2)$  is introduced as Hilbert space with the inner product

$$\langle \varphi, \psi \rangle_{H_q} := \int_0^c \varphi_1 \overline{\psi_1} d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-n}} \varphi_2 \overline{\psi_2} d_q \zeta$$

where

$$\varphi(\zeta) := \begin{cases} \varphi_1(\zeta) & ; \zeta \in J_1 \\ \varphi_2(\zeta) & ; \zeta \in J_2 \end{cases}, \quad \psi(\zeta) := \begin{cases} \psi_1(\zeta), & ; \zeta \in J_1 \\ \psi_2(\zeta) & ; \zeta \in J_2 \end{cases}.$$

It can be easily obtained by direct manipulation from Annaby [20], (pg. 217). A compact resolvent of the regular self-adjoint boundary value problem (3.1) -(3.3), (3.4) -(3.5) with transmission was proved by the same method like Dehghani and Akbarfam [21] and Wang et al. [22] and they also showed that it has a completely discrete spectrum.

Let us define the eigenvalues of this problem with  $\lambda_{m,q^{-n}}$  ( $m \in \mathbb{N}$ ) and

$$\phi_{m,q^{-n}}(\zeta) = \begin{cases} \phi_{m,q^{-n}}^{(1)}(\zeta) & ; \zeta \in J_1 \\ \phi_{m,q^{-n}}^{(2)}(\zeta), & ; \zeta \in J_2 \end{cases},$$

$\phi_{m,q^{-n}}(\zeta) := \phi(\zeta, \lambda_{m,q^{-n}})$  the corresponding real valued eigenfunctions which satisfy conditions (3.2) -(3.5). If  $\varphi \in H_q$  is a real valued function with

$$\varphi(\zeta) := \begin{cases} \varphi_1(\zeta) & ; \zeta \in J_1 \\ \varphi_2(\zeta) & ; \zeta \in J_2 \end{cases},$$

then

$$\begin{aligned} \|\varphi\|_{H_q}^2 &= \int_0^c (\varphi_1(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-n}} (\varphi_2(\zeta))^2 d_q \zeta \\ &= \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\alpha_{m,q^{-n}}^2} \left\{ \int_0^c \varphi_1(\zeta) \phi_{m,q^{-n}}^{(1)}(\zeta) d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-n}} \varphi_2(\zeta) \phi_{m,q^{-n}}^{(2)}(\zeta) d_q \zeta \right\} \end{aligned} \tag{3.7}$$

where

$$\alpha_{m,q^{-n}}^2 = \int_0^c \left( \phi_{m,q^{-n}}^{(1)}(\zeta) \right)^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-n}} \left( \phi_{m,q^{-n}}^{(2)}(\zeta) \right)^2 d_q \zeta$$

is obtained. Here the equality (3.7) is called the Parseval identity (see Allahverdiev and Tuna [5]).

Now we give a monotone increasing step function on  $\mathbb{R}$ ,

$$\sigma_{q^{-n}}(\lambda) = \begin{cases} - \sum_{\lambda < \lambda_{m,q^{-n}} < 0} \frac{1}{\alpha_{m,q^{-n}}^2} & ; \lambda < 0 \\ \sum_{0 < \lambda_{m,q^{-n}} < \lambda} \frac{1}{\alpha_{m,q^{-n}}^2} & ; \lambda \geq 0. \end{cases} \tag{3.8}$$

Then we can write (3.7) as;

$$\int_0^c (\varphi_1(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-n}} (\varphi_2(\zeta))^2 d_q \zeta = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi^2(\lambda) d\sigma_{q^{-n}}(\lambda) \tag{3.9}$$

where

$$\Phi(\lambda) = \int_0^c \varphi_1(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta) d_q \zeta + \frac{1}{Y} \int_c^{q^{-n}} \varphi_2(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta) d_q \zeta.$$

We will obtain the Parseval identity for (3.1) -(3.5) from (3.9) by letting  $q^{-n} \rightarrow \infty$ .

The function  $\varphi$  is bounded variation on interval  $[a, b]$  if and only if there exists a positive constant  $M$  such that

$$\sum_{k=1}^n |\varphi(\zeta_k) - \varphi(\zeta_{k-1})| \leq M$$

for all finite partitions  $\mathbb{P} = \{\zeta_0, \zeta_1, \dots, \zeta_n\}$  of  $[a, b]$ .

If  $\varphi: [a, b] \rightarrow \mathbb{R}$  is of bounded variation on  $[a, b]$ , then the total variation of  $\varphi$  on  $[a, b]$  is defined to be

$$V_a^b(\varphi) := \sup \sum_{k=1}^n |\varphi(\zeta_k) - \varphi(\zeta_{k-1})|,$$

where we take the supremum over all partitions of  $[a, b]$  (see Allahverdiev and Tuna [5]).

**Lemma 3.1:** For an arbitrary  $M$ , the formula

$$V_{-M}^M(\sigma_{q^{-n}}(\lambda)) = \sum_{-M < \lambda_{m,q^{-n}} < M} \frac{1}{\alpha_{m,q^{-n}}^2} = \sigma_{q^{-n}}(M) - \sigma_{q^{-n}}(-M) < Y \tag{3.10}$$

holds for a positive constant  $Y = Y(M)$ .

**Proof:** Firstly assume that  $\sin \alpha \neq 0$ . Since  $\phi(\zeta, \lambda)$  is continuous on domain  $[0, c] \times [-M, M]$  with the condition  $\phi(0, \lambda) = \sin \alpha$ , there exists a positive number  $k$  such that

$$\left( \frac{1}{k} \int_0^k \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) d_q \zeta \right)^2 > \frac{\sin^2 \alpha}{2} \tag{3.11}$$

Let us define

$$\varphi_k(\zeta) := \begin{cases} \frac{1}{k} & ; 0 \leq \zeta < k \\ 0 & ; \zeta \geq k. \end{cases}$$

From (3.9) and (3.11) we get

$$\begin{aligned} \int_0^k \varphi_k^2(\zeta) d_q \zeta &= \frac{1}{k} = \int_{-\infty}^{+\infty} \left( \frac{1}{k} \int_0^k \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) d_q \zeta \right)^2 d\sigma_{q^{-n}}(\lambda) \\ &\geq \int_{-M}^M \left( \frac{1}{k} \int_0^k \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) d_q \zeta \right)^2 d\sigma_{q^{-n}}(\lambda) > \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \int_{-M}^M d\sigma_{q^{-n}}(\lambda) \\ &= \frac{1}{2} \sin^2 \alpha \{ \sigma_{q^{-n}}(M) - \sigma_{q^{-n}}(-M) \}, \end{aligned}$$

so it gives us the inequality (3.10).



If  $\sin\alpha = 0$ , we give a formula for the function  $\varphi_k(\zeta)$  by

$$\varphi_k(\zeta) := \begin{cases} \frac{1}{k^2} & ; 0 \leq \zeta < k \\ 0 & ; \zeta \geq k \end{cases}$$

Thus we obtain (3.10) by applying the Parseval identity.

Let us now mention the following well known Helly’s first and second theorems, for more details see Kolmogorov and Fomin [23].

Firstly, recall Helly’s first theorem that given a uniformly bounded sequence  $\{\psi_n\}$  of monotone increasing real functions on  $[a, b]$ , there exists a subsequence  $\{\psi_{n_k}\}$  of  $\{\psi_n\}$  converging to a monotone increasing real function  $\psi$  on  $[a, b]$ .

Secondly, given a sequence  $\{\psi_n\}$  of monotone increasing real functions on  $[a, b]$ , converging to a monotone increasing real function  $\psi$ , then for every continuous function  $\varphi$  on  $[a, b]$  we have

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_a^b \varphi(\lambda) d\psi_n(\lambda) = \int_a^b \varphi(\lambda) d\psi(\lambda).$$

We introduce the Hilbert space  $H := L^2_q(J_1) \oplus L^2_q(J_3)$ , ( $J_1 = [0, c)$ ,  $J_3 = (c, \infty)$ ) with the inner product

$$\langle \varphi, \psi \rangle_H := \int_0^c \varphi_1 \overline{\psi_1} d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^\infty \varphi_2 \overline{\psi_2} d_q \zeta$$

where

$$\varphi(\zeta) := \begin{cases} \varphi_1(\zeta) & ; \zeta \in J_1 \\ \varphi_2(\zeta) & ; \zeta \in J_3 \end{cases}, \quad \psi(\zeta) := \begin{cases} \psi_1(\zeta), & ; \zeta \in J_1 \\ \psi_2(\zeta) & ; \zeta \in J_3 \end{cases}.$$

We assume that let  $\sigma$  is any non-decreasing function for  $-\infty < \lambda < \infty$ . Let us define all measurable real functions of Hilbert space by  $L^2_\sigma(\mathbb{R})$  which holds

$$\int_{-\infty}^\infty \varphi^2(\lambda) d\sigma(\lambda) < \infty,$$

with the inner product

$$\langle \varphi, \psi \rangle_\sigma := \int_{-\infty}^\infty \varphi(\lambda) \overline{\psi(\lambda)} d\sigma(\lambda).$$

The fundamental result of the study is given as follows.

**Theorem 3.2.** The non-decreasing function  $\sigma(\lambda)$  on  $-\infty < \lambda < \infty$  for the  $q$ -Sturm-Liouville problem (2.1)-(2.3) satisfies the following properties:

(i) If

$$\varphi(\zeta) := \begin{cases} \varphi_1(\zeta) & ; \zeta \in J_1 \\ \varphi_2(\zeta) & ; \zeta \in J_3 \end{cases}$$

is a real valued function and  $\varphi$  belongs to  $H$ , then there is a function  $\Phi \in L^2_\sigma(\mathbb{R})$  such that

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \int_{-\infty}^\infty \left\{ \Phi(\lambda) - \int_0^c \varphi_1(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) d_q \zeta - \frac{1}{\gamma} \int_c^\infty \varphi_2(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) d_q \zeta \right\} d\sigma(\lambda) = 0 \quad (3.12)$$

and the Parseval identity

$$\|\varphi\|_H^2 = \int_0^c (\varphi_1(\zeta))^2 d_q\zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^\infty (\varphi_2(\zeta))^2 d_q\zeta = \int_{-\infty}^\infty \Phi^2(\lambda) d\sigma(\lambda) \tag{3.13}$$

(ii) The integral  $\int_{-\infty}^\infty \Phi(\lambda) \phi(\zeta, \lambda_{m;q^{-n}}) d\sigma(\lambda)$  converges to  $\varphi$  in  $H$ ; that is,

(iii)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left\{ \int_0^c \left( \varphi_1(\zeta) - \int_{-n}^n \Phi(\lambda) \phi^{(1)}(\zeta, \lambda_{m;q^{-n}}) d\sigma(\lambda) \right)^2 d_q\zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^\infty \left( \varphi_2(\zeta) - \int_{-n}^n \Phi(\lambda) \phi^{(2)}(\zeta, \lambda_{m;q^{-n}}) d\sigma(\lambda) \right)^2 d_q\zeta \right\} = 0.$$

It should be known that the function  $\sigma$  is said to be a spectral function for the boundary-value problem (3.1)-(3.5).

**Proof.** We may assume that

$$\varphi_\xi(\zeta) := \begin{cases} \varphi_{1;\xi}(\zeta) & ; \zeta \in [0, c) \\ \varphi_{2;\xi}(\zeta) & ; \zeta \in (c, q^{-\xi}] \end{cases}$$

satisfies three conditions as follows:

- (a) Let  $\varphi_\xi(\zeta)$  be identically zero outside the set  $[0, c) \cup (c, q^{-\xi}]$  with  $q^{-\xi} < q^{-n}$ .
- (b) Let  $\varphi_\xi(\zeta)$  and  $D_q\varphi_\xi(\zeta)$  be  $q$ -regular functions at  $c$ .
- (c) Let  $\varphi_\xi(\zeta)$  satisfy the boundary conditions (3.1)-(3.5).

Applying the Parseval identity (3.9) to the function  $\varphi_\xi(\zeta)$  we obtain;

$$\int_0^c (\varphi_{1;\xi}(\zeta))^2 d_q\zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\xi}} (\varphi_{2;\xi}(\zeta))^2 d_q\zeta = \int_{-\infty}^\infty \Phi_\xi^2(\lambda) d\sigma(\lambda) \tag{3.14}$$

where

$$\Phi_\xi(\lambda) = \int_0^c \varphi_{1;\xi}(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) d_q\zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\xi}} \varphi_{2;\xi}(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) d_q\zeta. \tag{3.15}$$

Because of  $\phi(t, \lambda_{m;q^{-n}})$  holds (3.1), it is clear that

$$\phi_{m;q^{-n}}(\zeta, \lambda) = \frac{1}{\lambda} \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \phi_{m;q^{-n}}(\zeta, \lambda) + u(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}(\zeta, \lambda) \right].$$

From (3.14), we get

$$\begin{aligned} \Phi_\xi(\lambda) &= \frac{1}{\lambda} \int_0^c \varphi_{1;\xi}(\zeta) \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) + u(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) \right] d_q\zeta \\ &\quad + \frac{1}{\lambda\gamma} \int_c^{q^{-\xi}} \varphi_{2;\xi}(\zeta) \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) + u(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) \right] d_q\zeta. \end{aligned}$$

Since  $\varphi_\xi(\zeta)$  is identically zero in a neighborhood of the point  $q^{-n}$  and both  $\varphi_\xi(\zeta)$  and  $\phi_{m;q^{-n}}(\zeta, \lambda)$  satisfy the boundary conditions (3.1)-(3.3), taking by  $q$ -integration by parts we obtain;

$$\begin{aligned} \Phi_\xi(\lambda) &= \frac{1}{\lambda} \int_0^c \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{1;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{1;\xi}(\zeta) \right] d_q \zeta \\ &\quad + \frac{1}{\lambda \gamma} \int_c^{q^{-n}} \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{2;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{2;\xi}(\zeta) \right] d_q \zeta. \end{aligned}$$

For any finite  $M > 0$ , from (3.9) we have

$$\begin{aligned} &\int_{|\lambda|>M} \Phi_\xi^2(\lambda) d\sigma_{q^{-n}}(\lambda) \\ &\leq \frac{1}{M^2} \int_{|\lambda|>M} \left\{ \int_0^c \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{1;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{1;\xi}(\zeta) \right] d_q \zeta \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-n}} \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{2;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{2;\xi}(\zeta) \right] d_q \zeta \right\}^2 d\sigma_{q^{-n}}(\lambda) \\ &\leq \frac{1}{M^2} \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \int_0^c \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{1;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{1;\xi}(\zeta) \right] d_q \zeta \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-n}} \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{2;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{2;\xi}(\zeta) \right] d_q \zeta \right\}^2 d\sigma_{q^{-n}}(\lambda) \\ &= \frac{1}{M^2} \int_0^c \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{1;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{1;\xi}(\zeta) \right]^2 d_q \zeta \\ &\quad + \frac{1}{M^2 \gamma} \int_c^{q^{-n}} \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{2;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{2;\xi}(\zeta) \right]^2 d_q \zeta. \end{aligned}$$

From (3.14), we obtain that

$$\begin{aligned} &\left| \int_0^c (\varphi_{1;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\xi}} (\varphi_{2;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta - \int_{-M}^M \Phi_\xi^2(\lambda) d\sigma_{q^{-n}}(\lambda) \right| \\ &< \frac{1}{M^2} \int_0^c \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{1;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{1;\xi}(\zeta) \right]^2 d_q \zeta \\ &\quad + \frac{1}{M^2 \gamma} \int_c^{q^{-\xi}} \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{2;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{2;\xi}(\zeta) \right]^2 d_q \zeta \end{aligned} \tag{3.16}$$

We know that the set  $\{\sigma_{q^{-n}}(\lambda)\}$  is bounded from Lemma 3.1. A sequence  $\{\psi_k\}$ ,  $(\psi_k \rightarrow \infty)$  such that the function  $\sigma_{q^{-n}, \psi_k}(\lambda)$  converges to a monotone function  $\sigma(\lambda)$  can be found from Helly's first and second theorems. By taking limit with respect to  $\{\psi_k\}$  in (3.16) we get;

$$\begin{aligned} &\left| \int_0^c (\varphi_{1;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\xi}} (\varphi_{2;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta - \int_{-M}^M \Phi_\xi^2(\lambda) d\sigma(\lambda) \right| \\ &< \frac{1}{M^2} \int_0^c \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{1;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{1;\xi}(\zeta) \right]^2 d_q \zeta \\ &\quad + \frac{1}{M^2 \gamma} \int_c^{q^{-\xi}} \left[ -\frac{1}{q} D_{q^{-1}} D_q \varphi_{2;\xi}(\zeta) + u(\zeta) \varphi_{2;\xi}(\zeta) \right]^2 d_q \zeta \end{aligned}$$

Therefore, letting  $M \rightarrow \infty$  we get,

$$\int_0^c (\varphi_{1;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\xi}} (\varphi_{2;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_\xi^2(\lambda) d\sigma(\lambda).$$

Let  $\varphi$  be any real function on  $H$ . It is known that there is a sequence of function  $\{\varphi_\xi(\zeta)\}$  satisfying the condition (3.1)-(3.5) and such that;

$$\lim_{\xi \rightarrow \infty} \left\{ \int_0^c (\varphi_1(\zeta) - \varphi_{1;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\xi}} (\varphi_2(\zeta) - \varphi_{2;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta \right\} = 0$$

Let;

$$\Phi_\xi(\lambda) = \int_0^{+\infty} \varphi_{1;\xi}(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} \varphi_{2;\xi}(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) d_q \zeta.$$

Then from this we can get;

$$\int_0^c (\varphi_{1;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} (\varphi_{2;\xi}(\zeta))^2 d_q \zeta = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi_\xi^2(\lambda) d\sigma(\lambda).$$

Since

$$\int_0^c (\varphi_{1;\xi_1}(\zeta) - \varphi_{1;\xi_2}(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} (\varphi_{2;\xi_1}(\zeta) - \varphi_{2;\xi_2}(\zeta))^2 d_q \zeta \rightarrow 0$$

as  $\xi_1, \xi_2 \rightarrow \infty$ , we have

$$\int_{-\infty}^{+\infty} (\Phi_{\xi_1}(\lambda) - \Phi_{\xi_2}(\lambda))^2 d\sigma(\lambda) \rightarrow 0, \quad (\xi_1, \xi_2 \rightarrow \infty,).$$

Accordingly there is a limit function  $\Phi$  such that

$$\int_0^c (\varphi_1(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} (\varphi_2(\zeta))^2 d_q \zeta = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi^2(\lambda) d\sigma(\lambda),$$

holds by the completeness of the space  $L^2_\sigma(\mathbb{R})$ .

Our next aim is to see that;

$$K_\xi(\lambda) = \int_0^c \varphi_1(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\xi}} \varphi_2(\zeta) \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) d_q \zeta$$

converges to  $\Phi$  as  $\xi \rightarrow \infty$  in the space  $L^2_\sigma(\mathbb{R})$ . Let  $\psi$  be an another real valued function in  $H$ . By the same way; let  $\Psi(\lambda)$  be related with  $\psi$ . It is clear that for;

$$\psi(\zeta) := \begin{cases} \psi_1(\zeta) & ; \zeta \in [0, c) \cup [c, q^{-\xi}] \\ \psi_2(\zeta) & ; \zeta \in (q^{-\xi}, +\infty) \end{cases}$$

we have;

$$\int_0^c (\varphi_1(\zeta) - \psi_1(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} (\varphi_2(\zeta) - \psi_2(\zeta))^2 d_q \zeta = \int_{-\infty}^{+\infty} \{\Phi(\lambda) - \Psi(\lambda)\}^2 d\sigma(\lambda).$$

Let us define

$$\psi(\zeta) = \begin{cases} \varphi(\zeta) & ; \zeta \in [0, c) \cup [c, q^{-\xi}] \\ 0 & ; \zeta \in (q^{-\xi}, +\infty) \end{cases}$$

then

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \{ \Phi(\lambda) - K_{\xi}(\lambda) \}^2 d\sigma(\lambda) = \frac{1}{\gamma} \int_{q^{-\xi}}^{+\infty} (\varphi_2(\zeta))^2 d_q \zeta \rightarrow 0$$

as  $\xi \rightarrow \infty$  which proves that  $K_{\xi}$  converges to  $\Phi$  in  $L^2_{\sigma}(\mathbb{R})$ . This gives us (i).

Now let us give the prove of (ii). Assume that the functions  $\Phi(\lambda), \Psi(\lambda)$  are Fourier transforms of  $\varphi, \psi \in H$  (see [10]). Then  $\Phi \mp \Psi$  are transforms of  $\varphi \mp \psi$ . In this manner, by (3.13) we have;

$$\int_0^c (\varphi_1(\zeta) + \psi_1(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} (\varphi_2(\zeta) + \psi_2(\zeta))^2 d_q \zeta = \int_{-\infty}^{+\infty} \{ \Phi(\lambda) + \Psi(\lambda) \}^2 d\sigma(\lambda),$$

$$\int_0^c (\varphi_1(\zeta) - \psi_1(\zeta))^2 d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} (\varphi_2(\zeta) - \psi_2(\zeta))^2 d_q \zeta = \int_{-\infty}^{+\infty} \{ \Phi(\lambda) - \Psi(\lambda) \}^2 d\sigma(\lambda).$$

Let us subtract the resulting two equation side by side, we have;

$$\int_0^c \varphi_1(\zeta)\psi_1(\zeta)d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} \varphi_2(\zeta)\psi_2(\zeta)d_q \zeta = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(\lambda)\Psi(\lambda)d\sigma(\lambda) \tag{3.17}$$

which is may be called the generalized Parseval identity. Set;

$$\varphi_{\tau}^{(j)}(\zeta) = \int_{-\tau}^{+\tau} \Phi(\lambda) \phi_{m;q^{-n}}^{(j)}(\zeta, \lambda) d\sigma(\lambda), \quad j = 1, 2$$

where  $\Phi$  is the function determined in (3.12). Let  $\psi \in H$  be a real function which equals zero outside the set  $[0, c] \cup [c, q^{-\mu}]$ . So we can get;

$$\int_0^c \varphi_{\tau}^{(1)}(\zeta)\psi_1(\zeta)d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\mu}} \varphi_{\tau}^{(2)}(\zeta)\psi_2(\zeta)d_q \zeta = \int_0^c \left\{ \int_{-\tau}^{\tau} \Phi(\lambda) \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) d\sigma(\lambda) \right\} \psi_1(\zeta) d_q \zeta$$

$$+ \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\mu}} \left\{ \int_{-\tau}^{\tau} \Phi(\lambda) \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) d\sigma(\lambda) \right\} \psi_2(\zeta) d_q \zeta$$

$$= \int_{-\tau}^{\tau} \Phi(\lambda) \left\{ \int_0^c \phi_{m;q^{-n}}^{(1)}(\zeta, \lambda) \psi_1(\zeta) d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{q^{-\mu}} \phi_{m;q^{-n}}^{(2)}(\zeta, \lambda) \psi_2(\zeta) d_q \zeta \right\} d\sigma(\lambda)$$

$$= \int_{-\tau}^{+\tau} \Phi(\lambda) \Psi(\lambda) d\sigma(\lambda).$$

Subtracting (3.17) and (3.18), we have

$$\int_0^c (\varphi_1(\zeta) - \varphi_{\tau}^{(1)}(\zeta)) \psi_1(\zeta) d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} (\varphi_2(\zeta) - \varphi_{\tau}^{(2)}(\zeta)) \psi_2(\zeta) d_q \zeta = \int_{|\lambda|>\tau} \Phi(\lambda)\Psi(\lambda)d\sigma(\lambda).$$

From Cauchy-Schwartz inequality, we get

$$\left( \int_0^c (\varphi_1(\zeta) - \varphi_\tau^{(1)}(\zeta)) \psi_1(\zeta) d_q \zeta + \frac{1}{\gamma} \int_c^{+\infty} (\varphi_2(\zeta) - \varphi_\tau^{(2)}(\zeta)) \psi_2(\zeta) d_q \zeta \right)^2 \leq \int_{|\lambda|>\tau} \Phi^2(\lambda) d\sigma(\lambda) \int_{|\lambda|>\tau} \Psi^2(\lambda) d\sigma(\lambda).$$

If we carry out this inequality to the function;

$$\psi(\zeta) = \begin{cases} \varphi_\tau(\zeta) - \varphi(\zeta) & ; \zeta \in [0, c] \cup [c, q^{-\mu}] \\ 0 & ; \zeta \in (q^{-\mu}, +\infty), \end{cases}$$

we get

$$\int_0^c (\varphi_1(\zeta) - \varphi_\tau^{(1)}(\zeta))^2 d_q \zeta + \int_c^{q^{-\mu}} (\varphi_2(\zeta) - \varphi_\tau^{(2)}(\zeta))^2 d_q \zeta \leq \int_{|\lambda|>\tau} \Phi^2(\lambda) d\sigma(\lambda).$$

Since the above inequality is not depend of  $\mu$ , the result is achieved by letting  $\tau \rightarrow \infty$ . □

#### 4. Conclusion

In this study, we investigate the existence of a spectral function for the singular  $q$ -Sturm-Liouville problem with transmission conditions. We prove the Parseval identity with the help of the inner product in class  $H_q := L_q^2(J_1) \oplus L_q^2(J_2)$  as Hilbert space. We also give the expansion formula in the eigenfunctions.

#### Author’s Contribution

All contributions belong to the author in this paper.

#### Statement of Conflicts of Interest

No potential conflict of interest was reported by author.

#### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

#### References

- [1] Ernst T. 2000. The History of  $q$ -calculus and a New Method. Department of Mathematics, Uppsala University, ISSN 1101-3591, 1-230.
- [2] Kac V., Cheung P. 2002. Quantum Calculus. Springer-Verlag, Berlin, 1-118.
- [3] Allahverdiev B.P., Tuna H. 2018. An expansion theorem for  $q$ -Sturm-Liouville operators on the whole line. Turkish Journal of Mathematics, 42 (3): 1060-1071.
- [4] Allahverdiev B.P., Tuna H. 2019. Eigenfunction expansion in the singular case for  $q$ -Sturm-Liouville operators. Caspian Journal of Mathematical Sciences, 8 (2): 91-102.
- [5] Allahverdiev B.P., Tuna H. 2019. Eigenfunction expansion for singular Sturm-Liouville problems with transmission conditions. Electron J. Differential Equations, 03: 1-10.
- [6] Annaby M.H., Mansour Z.S. 2012.  $q$ -Fractional Calculus and Equations. Lecture Notes in Mathematics, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1-318.
- [7] Annaby M.H., Mansour Z.S. 2005. Basic Sturm-Liouville problems. J. Phys. A.: Math. Gen., 38 (17): 3775-3797.
- [8] Jackson F.H. 1910.  $q$ -difference equations. Am. J. Math., 32 (4): 305-314.
- [9] Jackson F.H. 1910. On  $q$ -definite Integrals. Pure Appl. Math., 41 (15): 193-203.

- [10] Levitan B.M., Sagsjan I.S. 1991. Sturm-Liouville and Dirac Operators. Mathematics and its Applications, Kluwer Academic Publishers, London, 1-339.
- [11] Titchmarsh E.C. 1962. Eigenfunction Expansions Associated with Second-Order Differential Equations, Part I. Second Edition Clarendon Press, Oxford, 1-210.
- [12] Annaby M.H., Mansour Z.S. 2011. Asymptotic formulae for eigenvalues and eigenfunctions of  $q$ -Sturm-Liouville problems. Math. Nachr., 284 (4): 443-470.
- [13] Annaby M.H., Mansour Z.S., Soliman I.A. 2012.  $q$ -Titchmarsh-Weyl theory: series expansion. Nagoya Math. J., 205: 67-118.
- [14] Karahan D., Mamedov Kh.R. 2020. Sampling Theory Associated with  $q$ -Sturm-Liouville Operator with Discontinuity Conditions. Journal of Contemporary Applied Mathematics, 10 (2): 40-48.
- [15] Mukhtarov O.Sh., Tunç E. 2004. Eigenvalue problems for Sturm Liouville equations with transmission conditions. Israel J. Math., 144: 367-380.
- [16] Mukhtarov O.Sh., Yakubov S. 2002. Problems for differential equations with transmission conditions. Applicable Anal., 81: 1033-1064.
- [17] Goktas S., Koyunbakan H., Gulsen T. 2018. Inverse nodal problem for polynomial pencil of Sturm-Liouville operator. Mathematical Methods in the Applied Sciences, 41 (17): 7576-7582.
- [18] Bairamov E., Aygar Y., Oznur B. 2020. Scattering Properties of Eigenparameter Dependent Impulsive Sturm-Liouville Equations. Bulletin of the Malaysian Mathematical Sciences Society, 43: 2769-2781.
- [19] Hahn W. 1949. Beitrage zur Theorie der Heineschen Reiben. Math. Nachr, 2: 340-379 (in German).
- [20] Annaby M.H. 2013.  $q$ -Type Sampling Theorems. Results in Mathematics, 44: 214-225.
- [21] Dehghani I., Akbarfam A.J. 2014. Resolvent operator and self-adjointness of Sturm-Liouville operators with a finite number of transmission conditions. Mediterr. J. Math., 11: 447-462.
- [22] Wang A., Sun J., Hao X., Yao S. 2009. Completeness of eigenfunctions of Sturm-Liouville problems with transmission conditions. Math. Appl. Anal., 16: 299-312.
- [23] Kolmogorov A.N., Fomin S.V. 1975. Introductory Real Analysis. Dover Publications, New York, 1-416.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## ***Ni/n-GaAs* ve *NiO/n-GaAs* Diyotların Elektriksel Parametreleri Arasındaki İlişki**

Abdullah ÖZKARTAL<sup>1\*</sup>, Dheyab THAER NOORİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Van*

<sup>2</sup>*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı, Van*  
(ORCID: 0000-0002-1556-6141) (ORCID: 0000-0003-2856-9883)

---

### **Öz**

Bu çalışmada, *Ni/n-GaAs* Schottky ve *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyotları termal buharlaştırma yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen numunelerin elektriksel özellikleri karanlıkta ve oda sıcaklığında, akım-voltaj (*I-V*) ve kapasitans-voltaj (*C-V*) ölçümleri ile incelenmiştir. Üretilen numunelerin idealite faktörü (*n*), engel yüksekliği ( $\Phi_b$ ) ve seri direnci ( $R_s$ ), *I-V* ve *C-V* ölçümlerinden ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ayrıca Cheung fonksiyonları yardımıyla da *n*,  $\Phi_b$  ve  $R_s$  hesaplanarak sonuçların kararlılığı tespit edilmiştir. Schottky diyot yapısının, *p-n* diyot yapısından daha iyi idealite faktörüne ve daha düşük engel yüksekliğine sahip olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** *Ni/GaAs* Schottky diyot, *NiO/n-GaAs*, *NiO* ince film, termal buharlaştırma.

---

## **Relationship Between Electrical Parameters of *Ni/n-GaAs* and *NiO/n-GaAs* Diodes**

### **Abstract**

In this study, *Ni/n-GaAs* Schottky diode and *p-NiO/n-GaAs* heterojunction diodes were produced by thermal evaporation method. The electrical properties of the produced samples were examined by current-voltage (*I-V*) and capacitance-voltage (*C-V*) measurements in the dark and at room temperature. The ideality factor (*n*), barrier height ( $\Phi_b$ ) and series resistance ( $R_s$ ) of the produced samples were calculated separately from *I-V* and *C-V* measurements. In addition, the stability of the results was determined by calculating *n*,  $\Phi_b$  and  $R_s$  with the help of Cheung functions. It was determined that the Schottky diode structure has a better ideality factor and lower barrier height than the *p-n* diode structure.

**Keywords:** *Ni/GaAs* Schottky diode, *NiO/n-GaAs*, *NiO* thin film, thermal evaporation.

---

### **1. Giriş**

Elektronikte ve optoelektronikte çok önemli ve geniş kullanım alanı bulunan diyotlar üzerinde çeşitli araştırmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir [1-7]. Metal oksit ince filmler de özellikle güneş pilleri üretiminde, yarıiletken ve ışığı geçirgen yapısıyla diyot yapılarında pencere materyali olarak kullanılmaktadır. *NiO*, *ZnO*, *CuO*, *SnO<sub>2</sub>* ve *ITO* gibi metal oksit ince filmler, fotovoltajik ve fotodiyot etkili yapılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. *NiO* ince filmi de 3.2-4.0 eV arasında yasak enerji bant aralığına sahip, *p* tipi yarıiletken özellik taşıyan şeffaf önemli bir pencere materyalidir. *NiO*, antiferromanyetik kararlı yapısı ile güneş pilleri, gaz sensörleri, elektrokromik cihaz, fotoelektroliz gibi birçok farklı elektronik cihazda kullanıma imkânına sahiptir [8-14].

Bilindiği gibi ince filmler sol-jel, püskürtme yöntemi (spray pyrolysis), döndürerek kaplama (spin coating), *rf-dc* magnetron püskürtme, kimyasal banyo biriktirme, kimyasal işleme, e-ışın buharlaştırma, termal buharlaştırma, PA-MOCVD, daldırma kaplama, atomik tabaka biriktirme gibi farklı tekniklerle üretilebilmektedir. *NiO* ince filmli cihazların üretiminde de birçok teknik kullanılmıştır

---

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

Geliş Tarihi: 14.02.2021, Kabul Tarihi: 16.04.2021



[15-21]. Bu çalışmada da *p-NiO/n-GaAs* *p-n* heteroeklem diyotları ve *Ni/n-GaAs* Schottky diyotları termal buharlaştırma yöntemi kullanılarak üretilmiştir [22-23].

*Ni/n-GaAs* Schottky diyotları daha önce farklı üretim yöntemleriyle üretilmiş ve elektriksel karakteristikleri incelenmiştir [24-29]. *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyot da daha önce sol-jel yöntemi ile üretilmiş ve elektriksel özellikleri belirlenmiştir [30].

Biz de bu çalışmamızda, basit ve kolay bir yöntem olan termal buharlaştırma yöntemini kullandık. Termal buharlaştırma yöntemi hassas ve basit bir şekilde ince filmin istenen kalınlıkta üretilmesini sağlar. Ayrıca her türlü yüzeyde üretilme imkânı vermesi nedeniyle organik malzemelerle de kolayca kullanılabilir. Termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen *Ni/n-GaAs* Schottky diyotların ve *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyotların elektriksel özellikleri belirlendi ve elektriksel özellikleri arasındaki ilişki yorumlandı.

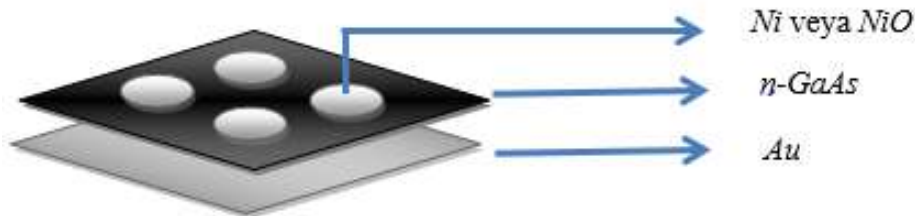
## 2. Materyal ve Metot

*Ni/n-GaAs* Schottky diyotları ve *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyotları üretiminde 350  $\mu\text{m}$  kalınlığında,  $7.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$  taşıyıcı konsantrasyonuna sahip, [100] kristal yöneliminde Si katkılı, *p* tipi *GaAs* yarıiletken kristali kullanıldı. *GaAs* kristali organik ve mekanik kirlerden temizlemek için sırasıyla aseton ve izopropil alkol ile ultrasonik banyo küvetinde yıkandı. Her işlemde sonra deiyonize su ile durulandı. Sonra (5:1:1) oranındaki  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}$  çözeltisine 1 dk süre ile daldırıldı ve deiyonize su ile durulandı. Daha sonra doğal olarak oluşabilecek oksit tabakasından kurtulmak için (1:1) oranındaki  $\text{HCl}:\text{H}_2\text{O}$  çözeltisine 5 s süresince daldırıldı ve deiyonize su ile durulandıktan sonra yüksek saflıktaki nitrojen ( $\text{N}_2$ ) gazı ile kurutuldu [31]. *GaAs* kristali kurutulur kurutulmaz yeni oksit tabakası oluşmaması için çok hızlı bir şekilde vakumda kaplama cihazına (Edwards Auto, model-306) yerleştirildi.

Vakumda kaplama cihazındaki basınç  $1.33 \times 10^{-6} \text{ kPa}$  'a düştüğünde %99.9 saflıktaki altın (*Au*) metali 15 mm x 30 mm yüzey alana sahip *n-GaAs* kristalinin mat yüzeyine buharlaştırıldı. *Au* ile kaplanan numune vakum cihazından çıkarıldı ve omik kontak olması için 450  $^\circ\text{C}$  sıcaklığında ve nitrojen ortamındaki kuvars cam fırında 5 dk süre ile ısı tavlama yapıldı [32].

*Au* ile omik kontak yapılmış *n-GaAs* kristali 15 mm x 15 mm yüzey alanına sahip iki parçaya ayrıldı. Birinci numuneye, *p-NiO/n-GaAs* heteroeklem diyot oluşturmak için nanotoz halindeki %99.9 saflıktaki nikel (II) oksit tozu vakum kaplama cihazında buharlaştırıldı. Aynı şekilde ikinci numuneye de *Ni/n-GaAs* Schottky diyot oluşturmak için yine toz halinde ve %99.9 saflıktaki nikel metali buharlaştırıldı. %99.9 saflıktaki nikel (II) oksit ve nikel tozları Sigma Aldrich' ten temin edilmiştir. 2 mm çapında maskeler kullanılarak oluşturulan bu diyotların kalınlığı ~200 nm civarındadır. Kalınlıklar vakumda kaplama cihazındaki kalınlık tespit sistemi ile belirlenmiştir.

*p-NiO/n-GaAs* *p-n* heteroeklem diyotları ve *Ni/n-GaAs* Schottky diyotların akım-voltaj (*I-V*) ölçümleri Keithley (model 6487) pikoampermetre/voltaj kaynağı kullanılarak karanlıkta ve oda sıcaklığında alınmıştır. Üretilen numunelerin şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir.



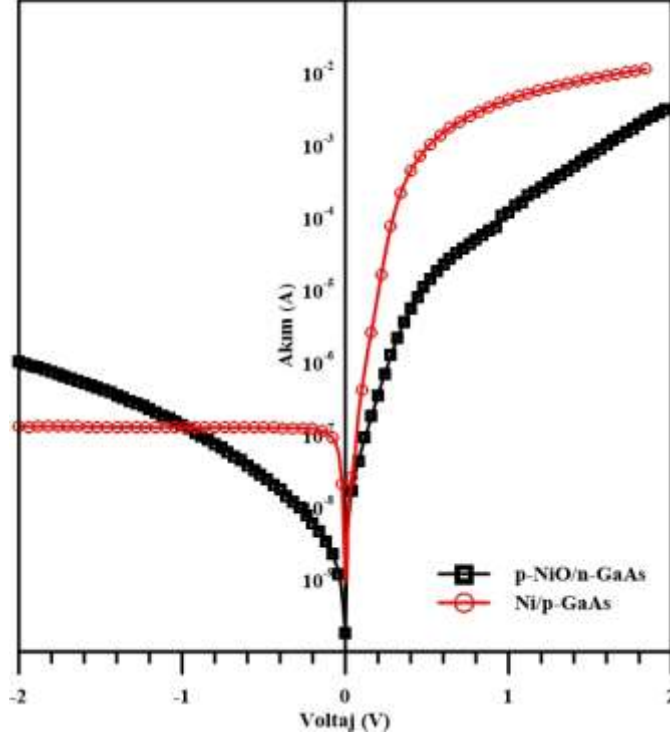
Şekil 1. *p-NiO/n-GaAs/Au* ve *Ni/n-GaAs/Au* yapıların şematik gösterimi.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Üretilen numunelerin *I-V* karakteristikleri literatürde Termiyonik Emisyon (TE) teorisine göre açıklanmaktadır. Bu teoriye göre, bir diyot için ideal olmayan şartlarda düz besleme akımı şu şekilde ifade edilmektedir [33].

$$I = I_0 \left[ \exp\left(-\frac{e(V-IR_s)}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

Burada  $n$ , idealite faktörü;  $k$ , Boltzmann sabiti;  $T$ , Kelvin cinsinden oda sıcaklığı;  $e$ , elektronun yükü ve  $V$ , diyota düz besleme olarak uygulanan voltaj;  $R_s$ , seri direnç ve  $I_0$ ,  $V=0$ ' da  $\ln I$  eksenini düz çizgi kesişiminden elde edilen doyma akımıdır. Diyotların  $I$ - $V$  grafikleri Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2.  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs/Au ve Ni/ $n$ -GaAs/Au diyotların  $\ln I$ - $V$  grafikleri

$$I_0 = AR^*T^2 \exp\left(-\frac{e\Phi_b}{kT}\right) \quad (2)$$

Denklem 2'deki  $R^*$ , değeri  $n$ -GaAs yarıiletkeni için  $8.16 \text{ A/cm}^2\text{K}^2$  olan Richardson sabitidir [30];  $A$ , yarıçapı 1 mm olan etkin diyot alanıdır;  $\Phi_b$ , diyodun engel yüksekliğidir.

$$n = \frac{e}{kT} \frac{dV}{d(\ln I)} \quad (3)$$

İdealite faktörü  $n$ ,  $\ln I$ - $V$  grafiğinin düz beslem kısmındaki eğimin fitinden elde edilerek Denklem 3 yardımıyla hesaplanır. İdealite faktörü metal-yarıiletken kontaklarda 1 değerine oldukça yakın olması beklenir. Bununla birlikte  $p$ - $n$  heteroeklem diyotlarda idealite faktörünün 1 değerinden oldukça uzak olmasını arayüzey durumlarına, seri direncin büyüklüğüne ve arayüzey tabakalarına atfedilir. Burada da ön görüldüğü gibi Ni/ $n$ -GaAs Schottky diyotların idealite faktörü 1.06;  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs  $p$ - $n$  heteroeklem diyotların idealite faktörü 2.04 olarak hesaplanmıştır. Bu kadar yüksek idealite faktörünü  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs arayüzeyindeki doğal yoğun oksidasyona atfedilebilir [25].

$$e\Phi_b = kT \cdot \ln\left(\frac{AR^*T^2}{I_0}\right) \quad (4)$$

Diyotların engel yükseklikleri  $\Phi_b$ , Denklem 4. yardımıyla hesaplanmaktadır. Ni/ $n$ -GaAs Schottky diyotların engel yüksekliği 0.70 eV;  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs  $p$ - $n$  heteroeklem diyotların engel yüksekliği 0.75 eV olarak hesaplanmıştır.

Bununla birlikte, diyotların idealite faktörü, engel yükseklikleri ve seri direnç değerleri Cheung ve Cheung yöntemi ile hesaplama yapılarak sonuçların kararlılığı desteklenmiştir [36]. Bu fonksiyonlar Denklem 5 ve Denklem 6’da verilmiştir;

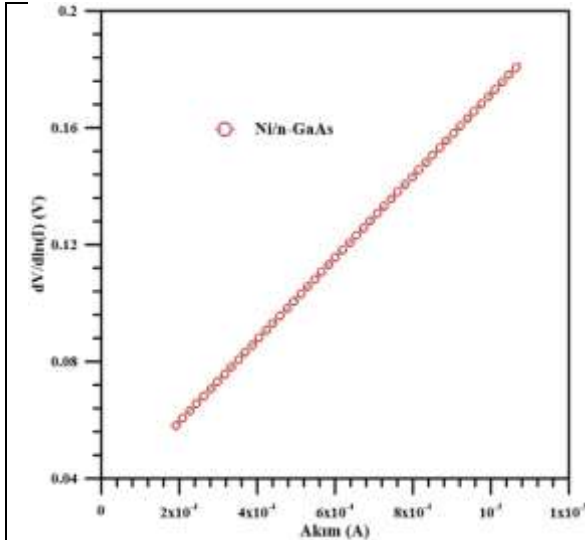
$$\frac{dV}{d(\ln I)} = \frac{nkT}{e} + IR_S \quad (5)$$

$$H(I) = n\Phi_b + IR_S \quad (6)$$

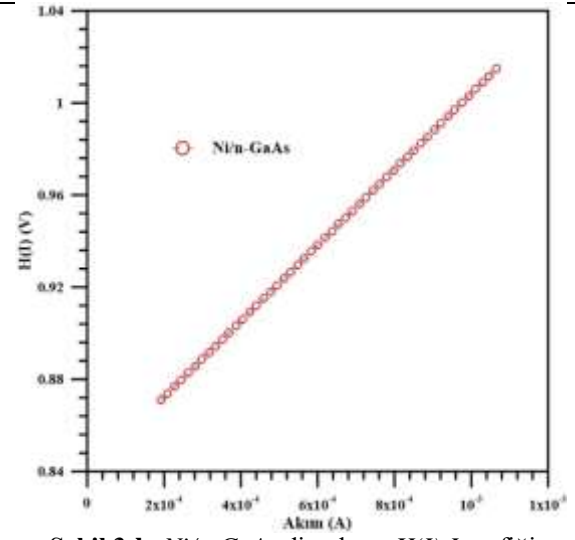
Denklem 5 ve Denklem 6’ya göre idealite faktörü, bariyer yüksekliği ve seri dirençleri Şekil 3’deki  $dV/d(\ln I)$ - $I$  grafiklerinden ve Şekil 4’deki  $H(I)$ - $I$  grafiklerinden elde edilmiştir. Üretilen diyotların bu grafiklerden elde edilen elektriksel parametrelerin deneysel değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.**  $p$ -NiO/ $n$ -GaAs ve Ni/ $n$ -GaAs diyotların elektriksel parametrelerin deneysel değerleri

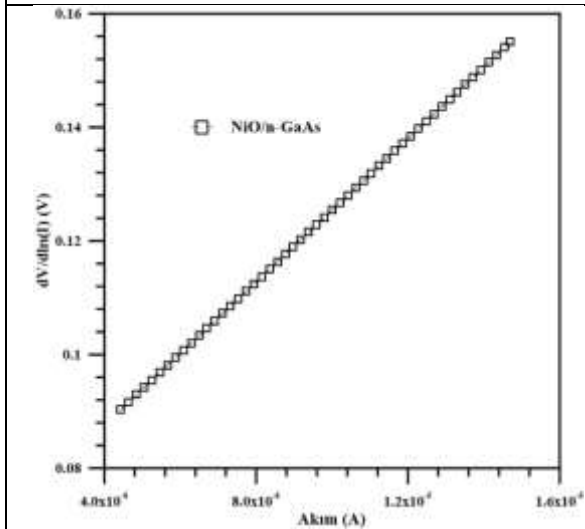
Örnekler	$n$ ( $I$ - $V$ )	$n$ (Cheung)	$\Phi_b$ (eV) ( $I$ - $V$ )	$\Phi_b$ (eV) (Cheung)	$\Phi_b$ (eV) ( $C$ - $V$ )	$R_S$ ( $\Omega$ ) ( $dV/d\ln I$ )- $I$	$R_S$ ( $\Omega$ ) ( $H(I)$ )- $I$
Ni/ $n$ -GaAs	1.06	1.21	0.70	0.69	0.76	141	164
NiO/ $n$ -GaAs	2.04	2.81	0.75	0.71	0.71	6296	7072



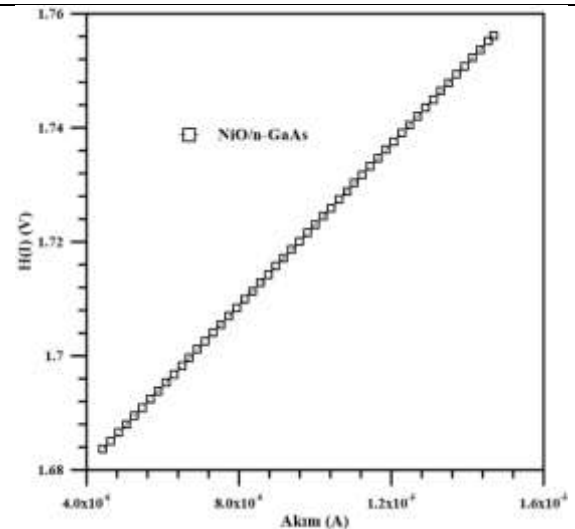
Şekil 3-a. Ni/ $n$ -GaAs diyotların  $dV/d(\ln I)$ - $I$  grafiği



Şekil 3-b. Ni/ $n$ -GaAs diyotların  $H(I)$ - $I$  grafiği

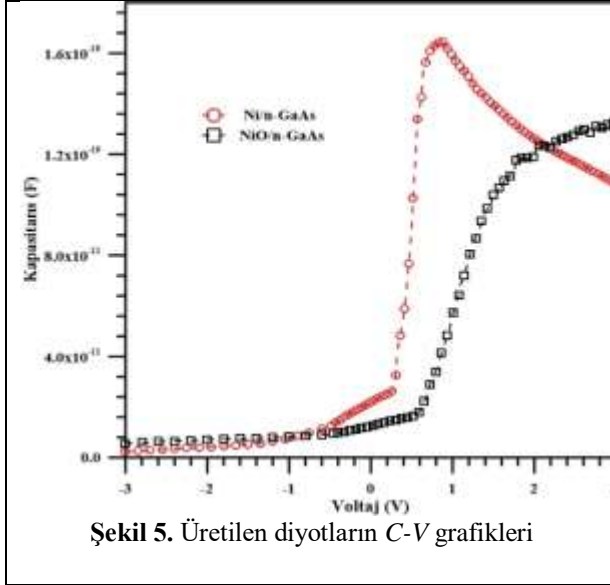


Şekil 4-a. NiO/ $n$ -GaAs diyotların  $dV/d(\ln I)$ - $I$  grafiği

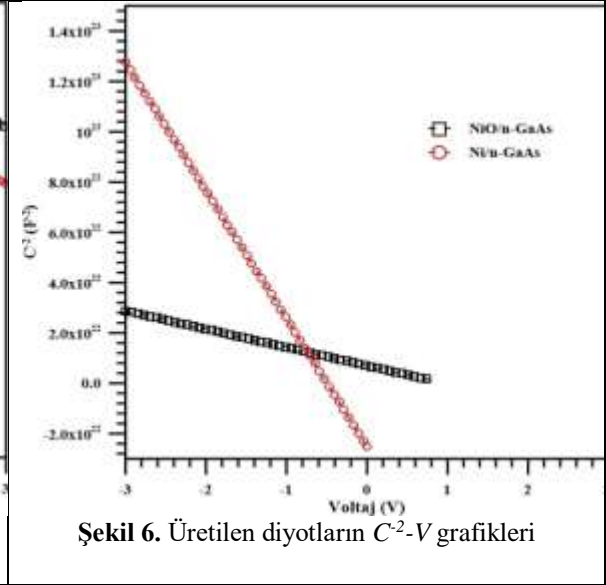


Şekil 4-b. NiO/ $n$ -GaAs diyotların  $H(I)$ - $I$  grafiği

Doğrultucu özelliğe sahip bir kontakın elektriksel özelliklerini karakterize eden en temel ölçümlerinden biri de kapasitans-voltaj ( $C-V$ ) ölçümüdür. Üretilen diyotların oda sıcaklığında ve 100 kHz sabit frekansta ölçülen  $C-V$  grafiği Şekil 5'te verilmiştir.  $C-V$  ölçümünden elde edilen  $C^{-2}-V$  grafiği de Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. Üretilen diyotların  $C-V$  grafikleri



Şekil 6. Üretilen diyotların  $C^{-2}-V$  grafikleri

Şekil 5'te, -3 V ile +3 V aralığında  $p-NiO/n-GaAs$  p-n heteroeklem ve  $Ni/n-GaAs$  Schottky diyotların  $C-V$  ölçümünün düz besleme bölgesi gösterilmektedir. Şekil 5'ten de görüldüğü gibi düz beslem bölgesinde artan voltaj ile kapasitanslarında kendi diyot karakterlerine uygun olarak artmıştır. Tüm diyotlar genel olarak ölçülen kapasitansları uygulanan voltaja ve frekansa bağlılık gösterir. Kapasitansın voltaja ve frekansa bağlılığı üretim şartlarında oluşan kirlilik derecelerine, yüksek seri dirence, arayüzey durumlarına ve arayüzey katmanları gibi diyotların belirli özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 6'da üretilen diyotların ters beslemedeki  $C^{-2}-V$  grafiğinin bir doğrusal olduğu görülmektedir. Bu doğrusallık Schottky diyot ile uyumlu olduğunu ve arayüzey tabakası teorisi ile açıklanabilmektedir [34]. Doğrultucu kontaklarda, arayüzey katmanı kapasitansı Denklem 7 ile verilmektedir.

$$C^{-2} = \frac{2(V_d - V)}{q\epsilon_s\epsilon_0 A^2 N_d} \quad (7)$$

Burada  $V_d$ ,  $C^{-2}-V$  grafiğinin doğrusal kısmından elde edilen sıfır gerilimdeki difüzyon potansiyelidir;  $V$ , diyota uygulana gerilimdir;  $\epsilon_s$ ,  $n-GaAs$  yarıiletkeninin dielektrik sabitidir ve değeri 13.2'dir [29];  $\epsilon_0$ , boşluğun dielektrik sabitidir ( $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$  F/m);  $N_d$ ,  $Si$  katkılı  $n-GaAs$  yarıiletkeninde katkılamağa bağlı olarak oluşan donör yoğunluğudur ve Denklem 7 yardımıyla donör yoğunluğu Denklem 8 gibi hesaplanır.

$$N_d = \frac{2}{q\epsilon_s\epsilon_0 A^2} \frac{1}{\frac{d(C^{-2})}{dV}} \quad (8)$$

$C^{-2}-V$  grafiğinden elde edilen elektriksel parametreler Tablo 2'de verilmiştir.

<b>Tablo 2.</b> Üretilen diyotların $C^{-2}-V$ grafiğinden elde edilen elektriksel parametreleri				
Örnekler	$V_d$ (V)	$E_f$ (eV)	$N_d$ ( $cm^{-3}$ ) $\times 10^{13}$	$\Phi_b$ (eV)
Ni/n-GaAs	0.49	0.31	0.31	0.76
NiO/n-GaAs	0.96	0.25	2.63	0.71

$C^2$ - $V$  grafiğinin ters besleme kısmından üretilen diyotların engel yüksekliği Denklem 9 yardımıyla hesaplanabilir.

$$\Phi_b = E_f + V_d \quad (9)$$

Burada  $E_f$ , Fermi enerji seviyesidir ve Denklem 10. şeklinde hesaplanır.

$$E_f = kT \ln \left( \frac{N_c}{N_d} \right) \quad (10)$$

Burada  $N_c$ , yarıiletkenin iletkenlik bandındaki durumların etkin yoğunluğu olarak adlandırılır.  $n$ - $GaAs$  yarıiletken için oda sıcaklığında,  $N_c = 4.7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  [29].

Bu çalışmanın amacı, termal buharlaştırma yöntemi ile üretilen  $p$ - $NiO/n$ - $GaAs$  heteroeklem diyotlar ile  $Ni/n$ - $GaAs$  Schottky diyotların elektriksel parametreleri arasındaki ilişkiyi incelemektir. Bu amaçla her iki diyotta aynı şartlarda üretildi. Üretilen numunelerin  $I$ - $V$  ve  $C$ - $V$  ölçümlerinin grafikleri çizilmiştir. Diyotların hesaplanan elektriksel parametreleri Tablo 1 ve Tablo 2'de gösterilmektedir. Numunelerin idealite faktörleri seri dirençleri ihmal edilerek Denklem 3'e göre  $I$ - $V$  grafiğinin düz besleme bölgesindeki doğrusal eğimlerinden hesaplanmıştır. Etkin engel yükseklikleri de Denklem 4. kullanılarak hesaplanmıştır. Schottky diyotta idealite faktörü ideale oldukça yakın 1.06 iken,  $p$ - $n$  diyotta arayüzey oksidasyonu ve arayüzey bölgesindeki rekombinasyon nedeniyle 2.04 olarak hesaplanmıştır. Engel yükseklikleri de beklendiği gibi  $p$ - $n$  yapısının 0.75 eV ile Schottky yapısından 0.70 eV olarak daha büyük bulundu. Bulunan bu idealite faktörü ve engel yükseklik değerleri literatür ile uyum içindedir [25-28, 30, 37, 38].

Üretilen numunelerin idealite faktörü, engel yükseklikleri ve seri dirençleri Cheung fonksiyonları yardımıyla da hesaplandı. İdealite faktörü ve engel yükseklikleri arasındaki fark Cheung fonksiyonları ile de desteklenmiş oldu.  $p$ - $n$  yapısının seri direnci Schottky yapısından oldukça büyük hesaplanmıştır. 100 kHz sabit frekans altında -3 V ile +3 V arasında ölçülen  $C$ - $V$  değerlerinden hesaplanan engel yükseklikleri  $p$ - $NiO/n$ - $GaAs$  heteroeklem diyotları için 0.71 eV ve  $Ni/n$ - $GaAs$  Schottky diyotları için 0.76 eV olarak hesaplanmıştır.  $C$ - $V$  ölçümlerinden elde edilen engel yükseklikleri arasındaki fark, yapısal fark olarak dikkat çekmektedir. Diyot kapasiteleri artan voltaj ile hızla artmakta ve belirli bir değerdan sonra neredeyse kararlı hale gelmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Elektriksel parametrelerini hesaplamak ve aralarındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla aynı deneysel şartlarda termal buharlaştırma yöntemi ile  $p$ - $NiO/n$ - $GaAs$  heteroeklem diyotları ile  $Ni/n$ - $GaAs$  Schottky diyotları üretildi.  $I$ - $V$  grafiklerinden  $p$ - $NiO/n$ - $GaAs$  heteroeklem diyotları arayüzey bölgesindeki potansiyel engel yüksekliğiyle aynı geleneksel  $Ni/n$ - $GaAs$  Schottky diyotları gibi doğrultma özelliği göstermiştir.  $p$ - $n$  yapılarının idealite faktörü 2.04 ve engel yüksekliği 0.75 eV ile geleneksel Schottky yapısından daha büyük olduğu görülmüştür. Cheung fonksiyonu yardımıyla hesaplanan  $p$ - $NiO/n$ - $GaAs$  heteroeklem diyotların seri dirençleri 6296  $\Omega$  ve 7072  $\Omega$  ile  $Ni/n$ - $GaAs$  Schottky diyotlarından daha büyüktür.  $C$ - $V$  ölçümlerinden elde edilen engel yükseklikleri  $p$ - $NiO/n$ - $GaAs$  heteroeklem diyotları için 0.71 eV ve  $Ni/n$ - $GaAs$  Schottky diyotları için 0.76 eV olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak,  $p$ - $n$  yapısı ile geleneksel Schottky yapısı arasındaki idealite faktörü, engel yüksekliği ve seri direnç gibi elektriksel parametreler arasındaki farklar termal buharlaştırma yöntemi ile üretilerek tespit edilmiş oldu.

#### Teşekkür

Bu çalışma, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından FYL-2018-7203 proje numarası ile finansal olarak 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] Aydoğan Ş., Grilli M.L., Yılmaz M., Çaldıran Z., Kaçuş H. 2020. A facile growth of spray based ZnO films and device performance investigation for Schottky diodes: Determination of interface state density distribution. *Journal of Alloys and Compounds*, 708: 55-66.
- [2] Duman S., Ejderha K., Orak I., Yıldırım N., Turut A. 2020. Temperature dependence of interface state density distribution determined from conductance-frequency measurements in Ni/n-GaAs/Al diode. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31 (23): 21260-21271.
- [3] Kacus H., Yılmaz M., Kocyigit A., Incekara U., Aydoğan S., 2020. Optoelectronic properties of Co/pentacene/Si MIS heterojunction photodiode. *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 597: 412408.
- [4] Karataş Ş. 2020. Temperature and voltage dependence C-V and G/w-V characteristics in Au/n-type GaAs metal-semiconductor structures and the source of negative capacitance. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, <https://doi.org/10.1007/s10854-020-04850-1>.
- [5] Namini A.S., Asl M.S., Givi G.P., Delbari S.A., Farazin J., Altındal Ş., Kalandaragh Y.A. 2020. On the electrical characteristics of Al/p-Si diodes with and without (PVP:Sn-TeO<sub>2</sub>) interlayer using current-voltage (I-V) measurements. *Applied Physics A*, 126935.
- [6] Özdemir M.C., Sevgili Ö., Orak İ., Turut A. 2020. Arayüzey doğal oksit tabakalı Al/p-Si/Al yapıların dielektrik karakteristiklerine ölçüm frekanslarının etkileri. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (1): 91-100.
- [7] Taha H., İbrahim K., Rahman M.M., Henry D.J., Yin C.Y., Veder J.P., Amri A., Zhao X., Jiang Z.T. 2020. Sol-gel derived ITO based bi-layer and tri-layer thin film coatings for organic solar cells applications, *Applied Surface Science*, 530: 147164.
- [8] Al-Ghamdi A.A., Abdelwahab M.S., Farghali A.A., Hasan P.M.Z. 2016. Structural, optical and photo-catalytic activity of nanocrystalline NiO thin films. *Materials Research Bulletin*, 75: 71-77.
- [9] Chrissanthopoulos A., Baskoutas S., Bouropoulos N., Dracopoulos V., Pouloupoulos P., Yannopoulos S.N. 2011. Synthesis and characterization of ZnO/NiO p-n heterojunctions: ZnO nanorods grown on NiO thin film by thermal evaporation. *Photonics and Nanostructures*, 9: 132-139.
- [10] Manjunath V., Bimli S., Parmar K.H., Shirage P.M., Devan R.S. 2019. Oxidized nickel films as highly transparent HTLs for inverted planar perovskite solar cells. *Solar Energy*, 193: 387-394.
- [11] Patel M., Kim H.S., Kim J., Yun J.H., Kim S.J., Choi E.H., Park H.H. 2017. Excitonic metal oxide heterojunction NiO/ZnO solar cells for all transparent module integration. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 170: 246-253.
- [12] Park S.Y., Kim H.R., Kang Y.J., Kim D.H., Kang J.W. 2010. Organic solar cells employing magnetron sputtered p-type nickel oxide thin film as the anode buffer layer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94: 2332-2336.
- [13] Haider A.J., Al-Anbari R., Sami H.M., Haider M.J. 2019. Photocatalytic activity of nickel oxide. *Journal of Materials Research and Technology*, 8 (3): 2802-2808.
- [14] Gupta R.K., Hendi A.A., Cavas M., Al-Ghamdi A.A., Al-Hartomy O.A., Aloraini R.H., El-Tantawy F., Yakuphanoglu F. 2014. Improvement of photoresponse properties of NiO/p-Si photodiodes by copper dopant. *Physica E*, 56: 288-295.
- [15] Akinkuade S., Mwankemwa B., Nel J., Meyer W. 2018. Structural, optical and electrical characteristics of nickel oxide thin films synthesised through chemical processing method. *Physica B*, 535: 24-28.

- [16] Gil M.M., Monroy M.I.P., Leal M.C., German D.C., Fontecha A.G., Lopez M.A.Q., Lerma M.S. 2017. Influence of annealing temperature on nickel oxide thin films grown by chemical bath deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 72: 37-45.
- [17] Chen S.C., Wen C.K., Kuo T.Y., Peng W.C., Lin H.C. 2014 Characterization and properties of NiO films produced by rf magnetron sputtering with oxygen ion source assistance. *Thin Solid Films*, 572: 51-55.
- [18] Wang H., Wu G., Cai X.P., Zhao Y., Shi Z.F., Wang J., Xia X.C., Dong X., Zhang B.L., Ma Y., Du G.T. 2012. Effect of growth temperature on structure and optical characters of NiO films fabricated by PA-MOCVD. *Vacuum*, 86: 2044-2047.
- [19] Gavale H.S., Wagh M.S., Gosavi S.R. 2019. Band gap engineering in spray pyrolysis grown nanocrystalline NiO thin films by Fe doping. *Journal of Nano and Electronic Physics*, 11 (4): 04015.
- [20] Guillen C., Herrero J. 2019. Transparent and p-type NiO thin films obtained by reactive DC sputtering at room temperature. *Materials Research Express*, 6: 096410.
- [21] Patel K.J., Desai M.S., Panchal C.J., Rehani B. 2011. p-type transparent NiO thin films by e-beam evaporation techniques. *Journal of Nano and Electronic Physics*, 3 (1): 376-382.
- [22] Ozkartal A. 2019. Characterization of the ITO/p-Si/Al contacts produced by thermal evaporation. *Vacuum*, 168: 108799.
- [23] Özmenteş R., Temirci C., Ozkartal A., Ejderha K., Yildirim N. 2018. Characterization of CuO/n-Si heterojunction solar cells produced by thermal evaporation. *Materials Science-Poland*, 36 (4): 668-674.
- [24] Jayavel P., Santhakumar K., Kumar J. 2002. Studies on the proton irradiation induced defects on Ni/n-GaAs Schottky barrier diodes. *Physica B*, 315: 88-95.
- [25] Doğan H., Korkut H., Yıldırım N., Turut A. 2007. Prediction of lateral barrier height in identically prepared Ni/n-type GaAs Schottky barrier diodes. *Applied Surface Science*, 253: 7467-7470.
- [26] Melebaev D., Melebaeva G.D., Rud V.Y., Rud Y.V. 2009. Photosensitivity of the Ni/n-GaAs Schottky barriers. *Semiconductors*, 43 (1): 29-32.
- [27] Aldemir D.A., Kökce A., Özdemir Ö.F. 2012. Temperature dependent ideality factor and barrier height of Ni/n-GaAs/In Schottky diodes. *Microelectronic Engineering*, 98: 6-11.
- [28] Bobby A., Shiwakoti N., Sarun P.M., Verma S., Asokan K., Antony B.K. 2015. Swift heavy ion induced capacitance and dielectric properties of Ni/n-GaAs Schottky diode. *Current Applied Physics*, 15: 1500-1505.
- [29] Guzel A., Duman S., Yıldırım N., Turut A. 2016. Electronic transport of an Ni/n-GaAs diode analysed over a wide temperature range. *Journal of Electronic Materials*, 45 (6): 2008-2014.
- [30] Turgut G., Duman S. 2016. Sol-gel growth and characterization of a new p-NiO/n-GaAs structure. *Journal of Alloys and Compounds*, 664: 547-552.
- [31] Nuhoglu Ç., Temirci C., Bati B., Biber M., Türüt A. 2000. Effect of thermal annealing on Co/n-LEC GaAs (Te) Schottky contacts. *Solid State Communications*, 115: 291-295.
- [32] Akın B., Altındal Ş., 2020. On the frequency and voltage dependent main electrical parameters of the Au/ZnO/n-GaAs structures at room temperature by using various methods. *Physica B: Physics of Condensed Matter*, 594: 412274.
- [33] Ziel A. 1968. *Solid State Physical Electronics*. Second ed., Prentice-Hall, New Jersey.
- [34] Sze S.M. 1981. *Physics of Semiconductor Devices*. Second ed., Wiley, New York.
- [35] Rhoderick E.H., Williams R.H. 1978. *Metal-Semiconductor Contacts*. Oxford University Press.
- [36] Cheung S.K., Cheung N.W. 1986. Extraction of Schottky diode parameters from forward current-voltage characteristics. *Applied Physics Letters*, 49 (2): 85-90.
- [37] Nathan M., Shoshani Z., Askinazi G., Meyler B., Zolotarevski O. 1996. On the temperature dependence of the barrier height and the ideality factor in high voltage Ni/n-GaAs Schottky diodes. *Solid-State Electronics*, 39: 1457-1462.
- [38] Newman N., Schilfgaard M., Kendelwicz T., Williams M.D., Spicer W.E. 1986. Electrical study of Schottky barriers on atomically clean GaAs(110) surface. *Physical Review B*, 33 (2): 1146-1159.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Structural-crystalline, optical, topographical properties of ZnO thin film produced in presence of various oxygen**

Asim MANTARCI\*

*Opticianry Department, Muş Alparslan University, Muş, Turkey  
(ORCID: 0000-0001-8369-3559)*

---

### **Abstract**

Changes in growth conditions of ZnO thin films produced in the presence of different oxygen, changes in important properties such as crystal, surface properties, and absorption properties of the films were examined and reported. It is inferred from the XRD experimental results that the oxygen we applied to the films plays a role in the crystal structure changes of the films (grain size, strain value, dislocation density, etc.). The highest value of RMS roughness of the film is 8.58 nm and the lowest value of RMS roughness of the film is 1.08 nm, which corresponds to non-flow and 1 sccm flow film, respectively. AFM proved that films with nano-structured, tightly packed, grain properties were obtained in the produced films. Inference from UV analysis made is that the oxygen applied to the film caused small changes in the optical band gap values (in the range of about 3.30-3.32 eV). Except for 3 sccm oxygen state, all the films obtained were tightly packed, granulated and almost homogeneous and the nano property was clearly seen. All the results obtained show that the oxygen applied in the ZnO film process causes some changes in the physical properties of the film and this has an effect on the film quality and it is seen that these results can contribute to the production of ZnO thin film-based Light Emitting Diodes (LEDs).

**Keywords:** ZnO, Oxygen, SEM, Nano property, dislocation density.

---

## **Çeşitli oksijen varlığında üretilen ZnO ince filmin yapısal kristal, optik, topografik özellikleri**

---

### **Öz**

Farklı oksijen varlığında üretilen ZnO ince filmlerin büyüme koşullarındaki değişiklikler, filmlerin kristal, yüzey özellikleri ve soğurma özellikleri gibi önemli özellikleri üzerindeki değişiklikler incelenmiş ve raporlanmıştır. XRD deneysel sonuçlarından, filmlere uyguladığımız oksijenin filmlerin kristal yapı değişikliklerinde (tane boyutu, gerinim değeri, dislokasyon yoğunluğu vb.) rol oynadığı anlaşılmaktadır. Filmin en yüksek RMS pürüzlülüğü değeri 8.58 nm'dir ve filmin en düşük RMS pürüzlülüğü değeri 1.08 nm'dir, bu değerler sırasıyla akışsız ve 1 sccm akışlı filme karşılık gelir. AFM, üretilen filmlerde nano yapılı, sıkı paketlenmiş, tanecek özellikli filmler elde edildiğini kanıtladı. Filmlerin UV analizinden, uygulanan oksijenin filmlerin optik bant aralığı enerjisinde (yaklaşık 3.30-3.32 eV aralığında) küçük değişikliklere sebep olduğu gözlenmiştir. 3 sccm oksijen durumu dışında, elde edilen tüm filmler sıkıca paketlenmiş, tanecek yapılı ve neredeyse homojen olan ve nano özelliği açıkça görüldü. Elde edilen tüm sonuçlar, ZnO film işleminde uygulanan oksijenin filmin fiziksel özelliklerinde bir takım değişikliklere neden olduğunu ve bunun film kalitesine etki ettiğini göstermektedir ve bu sonuçların ZnO ince film tabanlı ışık yayan diyot cihazlarının (LED) üretimine katkı sağlayabileceği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** ZnO, Oksijen, SEM, Nano özellik, Dislokasyon yoğunluğu.

---

### **1. Introduction**

The ZnO film attracts the attention of many researchers due to its use in high-tech industrial products including piezoelectric nano-generators [1], Uv-photodetector [2], polymer-solar cell [3], memory device [4]. The features that make this material the reason for preference are given as follows; such as the bonding energy at room temperature 60 meV, wide direct optical bandgap energy (about 3.30 eV), high thermal stability, high electrochemical stability, low cost, non-toxicity, abundance in nature [5-8].

---

\*Corresponding author: [asimmantarci@gmail.com](mailto:asimmantarci@gmail.com)

Received: 24.02.2021, Accepted: 03.05.2021



Therefore, ZnO thin film has become very good candidate for optoelectronic device application thanks to above features. The researcher [9] was done a study about indium impacts on ZnO film's physical characterization. Also, the importance of UHV process to stimulate incorporation into the ZnO matrix has been demonstrated. Measurements and analyzes of AES, XPS, UPS and PL were made for the examination of the thin film. From XPS analysis, core-level peaks of Zn 2s, Zn 2p, In 3p, O 1s, In 3d, C 1s, Zn 3s, Zn 3p, Zn 3d, and Auger transition peaks Zn LMM, In MNN, and O KLL were found in this study. Also, it was found carbon is present on the surfaces as a contamination layer confirmed by its high at % (47.98% for UZO and 52.02% for IZO). PL analysis showed that incorporation of indium into the clean ZnO matrix increases the level of  $Z_{ni}$  and  $V_{Zn}$  defects inducing a broadening in the NBE emission. Other report [10] investigates Bi+3 effects on ZnO film's photoelectrical parameters. In this study, how photo-current generation mechanism of Bi +3-doped the film work was investigated. Good photoelectric parameter values were obtained at different doping densities. They found that 1% Bi3+ doped BZO thin film has better photoelectric properties. Under the simulated 1.5 G sunlight, the photocurrent density of 1% Bi3+ doped BZO thin film was sharply increased and then reached to 2.5  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$  constant states. In addition, it was obtained that for BZO thin films; the absorption at around 400 nm can be distinguished compared with pure ZnO film. It was achieved that Bi3+ doped BZO thin films showed that its charge transfer resistance was significantly less than that of pure ZnO thin film. In this project, the variation of detailed physical parameters of ZnO films produced using radio-frequency-magnetron sputter technique in the presence of different oxygen was investigated. SEM, AFM, XRD, UV measurements of advanced characterization techniques were taken for different oxygen values and analyzed. The unique aspect of the study is that besides the application of oxygen to the film, the change in the physical parameters of the film has not been studied; the results obtained may contribute to the production of optoelectronic devices.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Film Processing

The sputtering technique used to grow films can be summarized briefly as directing energetic ions towards the target in the plasma environment. The way this technique works can be given as follows; the ions strike the target atoms, the atoms scatter from the surface of the target, and these scattered atoms move towards the substrate surface and settle there. There are basically two types of sputtering modes known as DC and RF sputtering. Conductive materials are studied in DC mode, non-conductive materials are studied in RF mode. In addition, an important point is that thanks to the magnet used in RF magnetron sputtering, the material is ionized better in the electric and magnetic field and turns into plasma form. RF magnetron sputter was executed in the DAYTAM research center. Target used ZnO (purity: 4N 99.9999%, thickness: 2 \* 1.25 inc), purchased from ACI company. The substrates p-Si (100) orientation came from sigma chemical company. First of all, the substrates were cleaned by RCA-1 and RCA-2 methods [11]. Target and substrate were placed in their proper places in the system. Then the system was taken to the initial pressure. Then, 60 sccm argon working gas was given to the system. Plasma was formed by giving power. In the first stage, pre-sputtering was done for 6 minutes so that the surface was cleaned. The film processing parameters applied are listed in Table 1. Film processing was done DAYTAM in the clean room. While each film was being grown, non-flow, 1, 2, 3, 4 sccm oxygen was applied separately. Thicknesses were measured with the help of P-7 KLA tensor after films and it was found to be approximately 120 nm (with 3 nm error).

**Table 1.** Film processing parameters

Oxygen (sccm)	RF Power (W)	Base Pressure (kPa)	Working Pressure (kPa)	Growth Rate ( $\text{Å}/\text{s}$ )	Substrate Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
Non-flow	60	$0.12 \times 10^{-6}$	$0.81 \times 10^{-3}$	0.3	300
1	60	$0.23 \times 10^{-6}$	$0.85 \times 10^{-3}$	0.3	300
2	60	$1.17 \times 10^{-6}$	$0.89 \times 10^{-3}$	0.2	300
3	60	$1.16 \times 10^{-6}$	$0.82 \times 10^{-3}$	0.3	300
4	60	$0.37 \times 10^{-6}$	$0.86 \times 10^{-3}$	0.2	300

## 2.1. Film Characterizations

The characterization of the films was completed with SEM, AFM, XRD and absorption measurements (UV) in the measurement laboratory within DAYTAM. SEM measurements were carried out to investigate the surface properties of the films. Before SEM measurement, films were coated with 4 nm gold to allow measurement. SEM (Zeiss-300) measurements were taken in the secondary electron mode and taken at 80.84 KX, 90.00 KX, 114.11 KX, 90.89 KX, 100.00 KX magnifications. XRD measurement was used to examine the crystal and detailed structure parameters of the films. The analytical D-8 XRD system with  $\text{CuK}\alpha=1.5406 \text{ \AA}$  was used for diffraction measurement. The measurement was taken between  $10^\circ$  and  $80^\circ$  degrees and at room temperature, depending on the intensity- $2\theta$ . Topographic-surface properties (roughness etc.) of the films were investigated with the help of AFM. 500II-AFM system with tapping mode was executed for topography analysis of material. Also, AFM measurements were taken in both 2 dimensions and 3 dimensions. The absorption properties of films and related parameters such as optical band gap energy were studied by UV absorption measurement. 1050-UV lambda was operated for absorption study at room temperature and 200-1100 nm wavelength.

## 3. Results and Discussions

### 3.1. Diffraction Analysis

Figure 1 clearly shows us the XRD diffraction behavior of thin films produced. As seen from this figure,  $35.56^\circ$ ,  $35.56^\circ$ ,  $35.40^\circ$ ,  $35.58^\circ$ ,  $35.58^\circ$  peaks were obtained in the presence of 0, 1, 2, 3, 4 sccm oxygen. These peaks correspond to the phase of the ZnO material (002) when viewed from the open crystallography system (with no: 10 11 258 COD) [12]. In addition,  $64.35^\circ$ ,  $64.35^\circ$ ,  $64.18^\circ$ ,  $64.37^\circ$ ,  $64.37^\circ$  peaks were also achieved. These peaks correspond to the phase of the ZnO material (103) when viewed from the open crystallography system [12]. The very intensity peak is the substrate peak, which is p-Si. The slight shifts in the peaks we obtain indicate the stress caused by film processing mistakes (such as impurities) and therefore in the film. The grain size of the films in varying oxygen flow can be calculated by means of the Debye Scherer formula [13];

$$Z = t \cdot \lambda / v \cdot \cos\theta \quad (1)$$

t is the constant,  $\lambda$  is X-ray wavelength, v is full width of half maximum value,  $\theta$  infers angle of diffraction. Formula below gives us the dislocation density of the films;

$$\& = 1/Z^2 \quad (2)$$

The strain values in the internal structure of the films were calculated using the following formula;

$$\varepsilon = v \cdot \cos\theta / 4 \quad (3)$$

It has been seen from the analysis that the grain size decreases from the no-flow film to 1 sccm flow film, while the strain values and dislocation density increase. But; the grain size increases from the 1 sccm film to 2 sccm flow film, while the strain values and dislocation density decrease. Furthermore, the grain size decreases from the 2 sccm film to 3 sccm flow film, while the strain values and dislocation density increase (Table 2). On the other hand; the grain size increases from the 3 sccm film to 4 sccm flow film, while the strain values and dislocation density decrease. The decrease/increase in grain size in the polycrystalline film in certain oxygen exchange may be due to the different oxygen resulting in an increase/decrease in the surface energy of the film and this is supported by the literature [14]. Herewith; it is inferred from the experimental results that the oxygen we applied to the films plays a role in the crystal structure changes of the films.

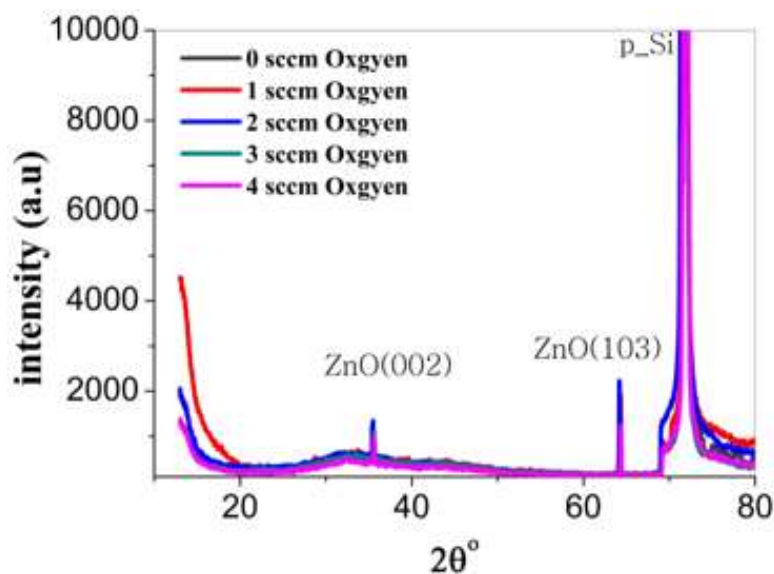


Figure 1. Diffraction graph of materials

Table 2. Crystal-structure properties of thin films produced

Oxygen Flow (sccm)	XRD Phase	FWHM (v) (°)	2θ (Observed) (°)	2θ (Theory) (°)	Dislocation density (&) (line.m <sup>-2</sup> )	Strain values (ε) (line <sup>-2</sup> .m <sup>-4</sup> )	Grain size (Z)(nm)
Non-flow	(002)	0.69	35.56	34.46	0.00627	0.164	12.62
Non-flow	(103)	0.28	64.35	63.70	0.00081	0.059	35.00
1	(002)	0.71	35.56	34.46	0.00664	0.169	12.27
1	(103)	0.31	64.35	63.70	0.00100	0.065	31.61
2	(002)	0.68	35.40	34.46	0.00610	0.161	12.80
2	(103)	0.29	64.18	63.70	0.00087	0.061	33.76
3	(002)	0.72	35.58	34.46	0.00683	0.171	12.10
3	(103)	0.32	64.37	63.70	0.00106	0.067	30.63
4	(002)	0.75	35.58	34.46	0.00741	0.178	11.61
4	(103)	0.33	64.37	63.70	0.00113	0.069	29.70

### 3.2. Surface Topographical Analysis

Figure 2 gives the atomic force microscope (AFM) two and three dimensional pictures of the produced films. Figure 2 showed that highest the average slope was obtained as  $29.03^\circ$  in the non-flow film. But, lowest the average slope was obtained as  $7.26^\circ$  in the 1 sccm flow film. The film with the highest maximum depth is a non-flow film with 20.16 nm. The film with the lowest maximum depth is a 1 sccm flow film with 3.56 nm. The maximum height value of the film of 16.91 nm corresponds to a 2 sccm flow film. The lowest one of the film of 3.11 nm corresponds to a 1 sccm flow film. The highest RMS roughness value is 8.58 nm, the lowest RMS roughness value is 1.08 nm corresponding to non-flow and 1 sccm flow film respectively (see Figure 3). All values measured in the atomic force microscope can be found in Table 3. On the one hand, increasing from 1 sccm to 2 sccm and 3 sccm to 4 sccm increased the roughness to the film, resulting in a rougher surface. On the other hand, increasing from non-flow film to 1 sccm flow film and from 2 sccm to 3 sccm flow decreased the surface roughness and allowed us to obtain a smoother surface. In this study, ZnO material roughness value close to our values was obtained in the literature [15]. AFM proved that films with nano-structured, tightly packed, grain properties were obtained in the produced films. To come to the conclusion, oxygen application to films has changed the topography and surface properties of the films.

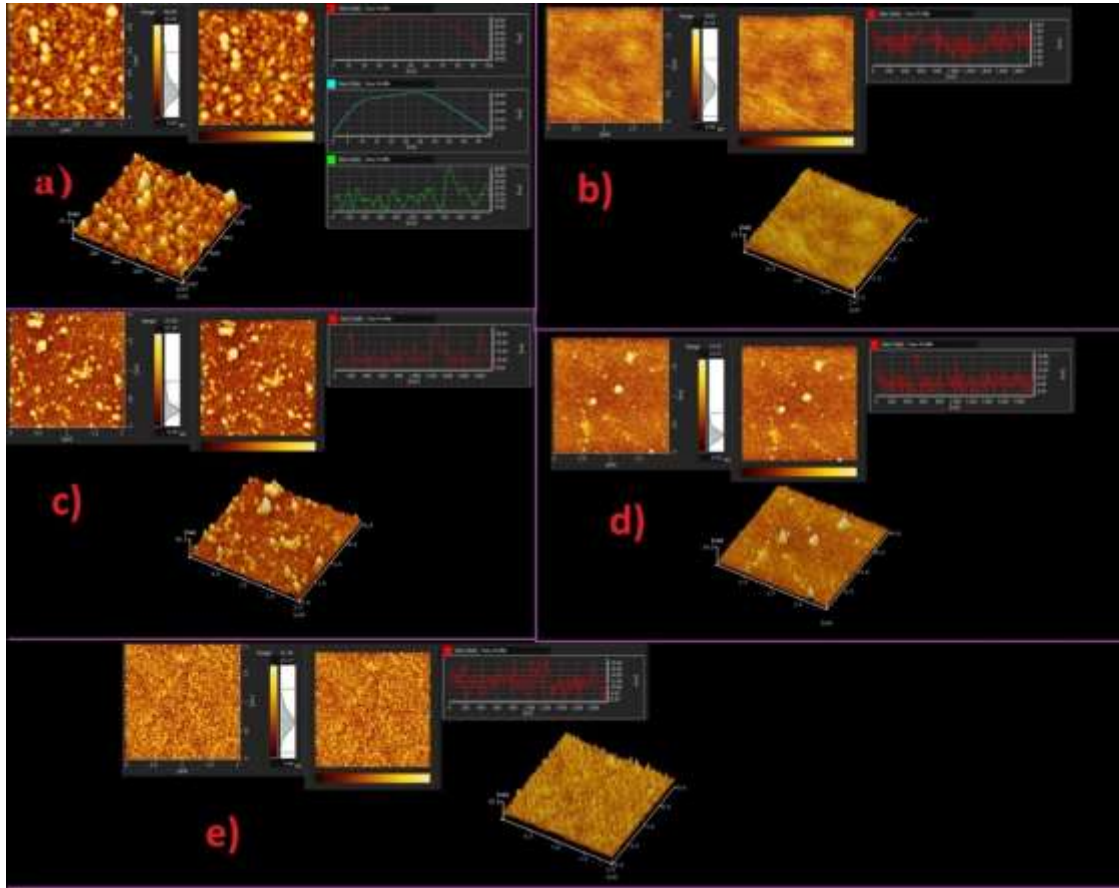


Figure 2. 2D-3D AFM pictures of materials at a) non-flow b) 1 c) 2 d) 3 e) 4 sccm oxygen

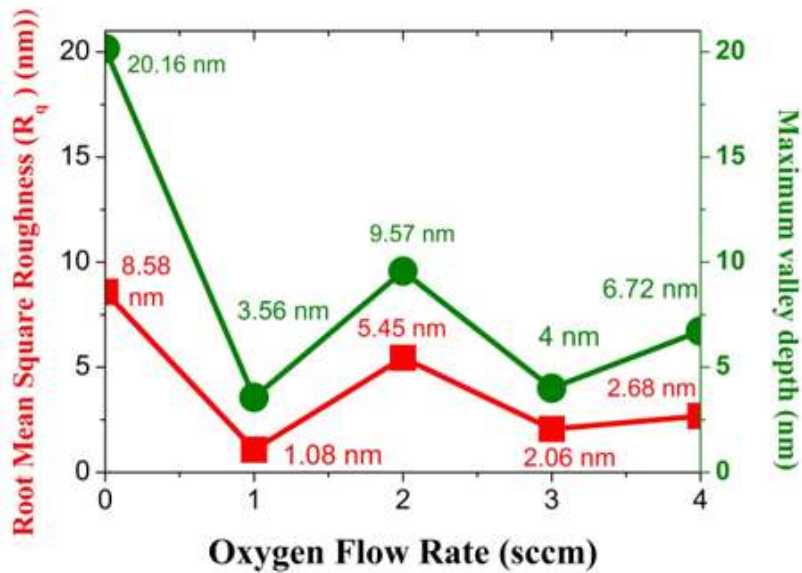


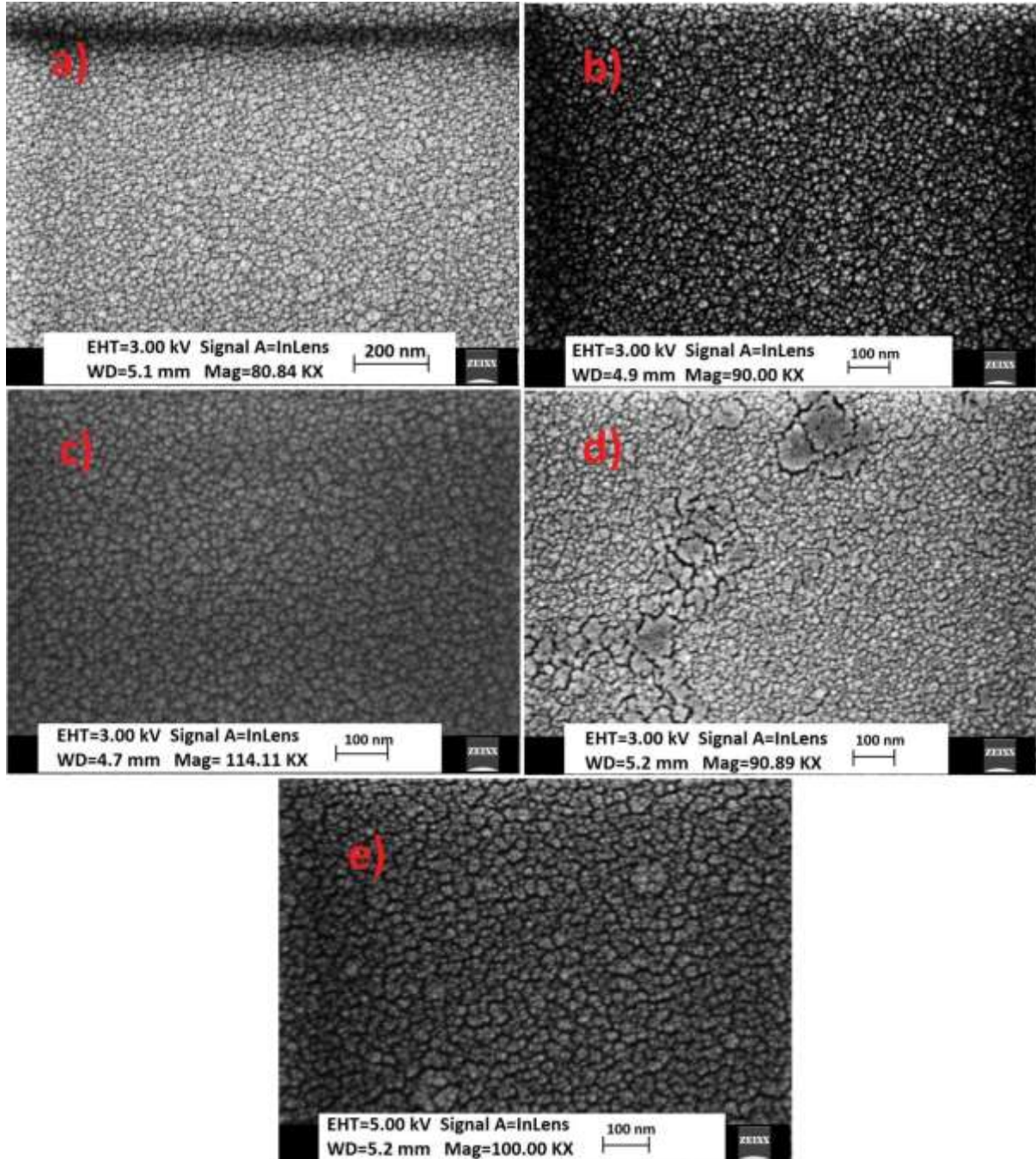
Figure 3. RMS Roughness and Maximum valley of materials

Table 3. Film processing parameters

Oxygen (sccm)	Average Roughness (R <sub>a</sub> )(nm)	Maximum peak height (R <sub>p</sub> )(nm)	Average absolute slope (Δa)(°)	Maximum valley Depth (R <sub>v</sub> )(nm)	Root Mean Square Roughness (R <sub>q</sub> )(nm)
Non flow	7.51	8.98	29.03	20.16	8.58
1	0.87	3.11	7.26	3.56	1.08
2	4.14	16.91	11.27	9.57	5.45
3	1.56	8.43	13.01	4.00	2.06
4	2.11	7.31	12.64	6.72	2.68

### 3.3. Scanning Electron Microscopy Analysis

When the SEM images of the films shown in Figure 4 are examined, it is clear that the almost homogeneous, granular, tightly packed structure of the films continue from the non-flow state to 1 sccm and from 1 sccm to 2 sccm. However, dislocations are noticeable on the surface of the films when the oxygen flow in the films is from 2 sccm to 3 sccm. These dislocations may cause cracks on the surface of the film and are therefore undesirable for our films. Afterwards, when the oxygen flow is from 3 sccm to 4 sccm, agglomeration occurs on the surface. Except for 3 sccm oxygen state, all the films obtained were tightly packed, granulated and almost homogeneous and the nano property was clearly seen. Similar SEM images in previous studies [16, 17] support our study.



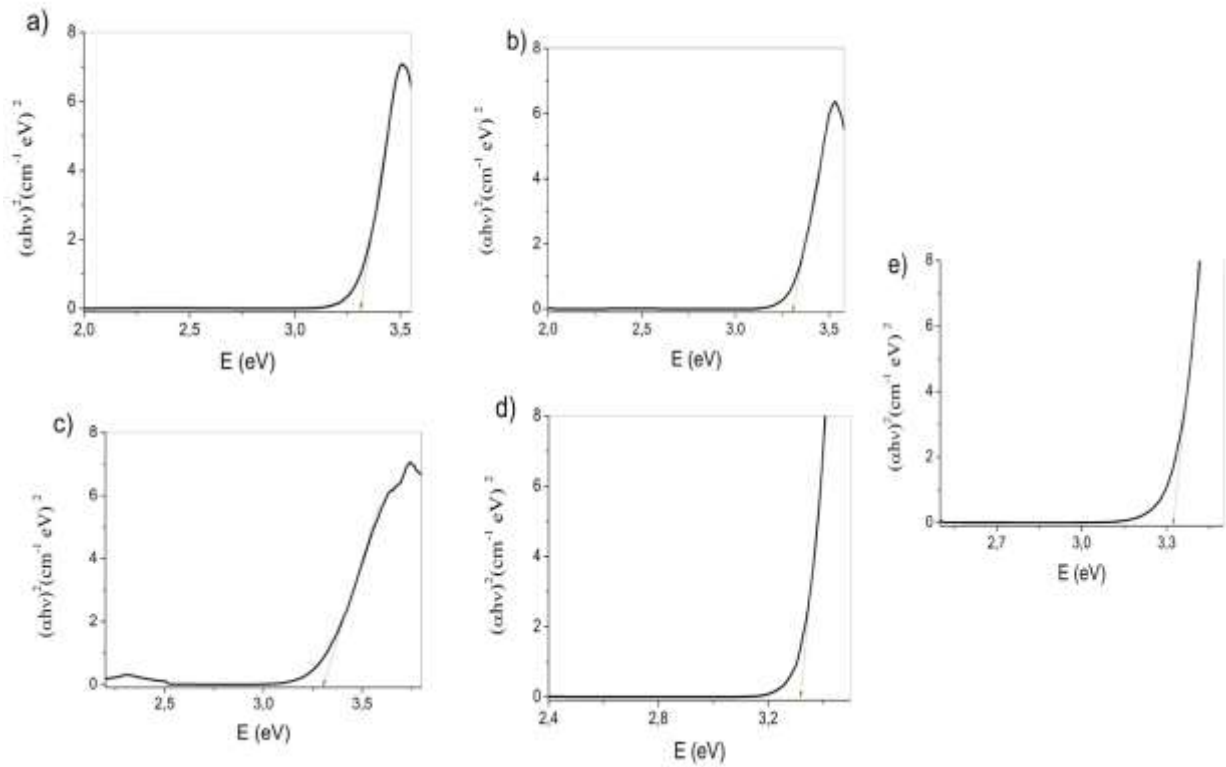
**Figure 4.** Pictures of SEM for materials at a) non-flow b) 1 c) 2 d) 3 e) 4 sccm oxygen

### 3.4. Absorption/UV Analysis

Figure 5 shows a plot of the corresponding photon energy to  $(\alpha h\nu)^2$ . If the following Tauc formula (4) is used in this graph, the value that cuts zero on the y-axis by taking  $n = 1/2$  gives us the direct-allowed optical band gap energy of the films. Tauc formula is given;

$$(\alpha h\nu)^n = L(h\nu - E_g) \tag{4}$$

Where  $n$  shows band gap type,  $L$  shows the constant,  $h\nu$  shows photon energy, and  $E_g$  shows optical band gap energy of our materials. Material's  $E_g$  values were obtained as 3.3111, 3.3042, 3.3018, 3.3189, 3.3220 eV in the presence of no-flow, 1, 2, 3, 4 sccm oxygen. UV analysis proved optical band gap energy of films decreased when the flow was changed from non-flow film to the 1 sccm oxygen flow film and 1 sccm oxygen flow film to the 2 sccm oxygen flow film. Yet, it was observed that optical band gap energy value increased when the flow was changed from the 2 sccm oxygen film to the 3 sccm oxygen flow film and 3 sccm oxygen flow film to the 4 sccm oxygen flow film (Table 4). The literature study [18] supported us in this sense by finding a value close to optical band gap energy of ZnO. Inference from analysis made is that the oxygen applied to the film caused small changes in the optical band gap values.



**Figure 5.** Absorption graph of materials at a) non-flow b) 1 c) 2 d) 3 e) 4 sccm oxygen

**Table 4.** Film's optical band gap energy values

Oxygen applied (sccm)	Optical band gap energy (eV)
Non flow	3.3111
1	3.3042
2	3.3018
3	3.3189
4	3.3220

#### 4. Conclusions

Changes in growth conditions of ZnO thin films produced in the presence of different oxygen, changes in important properties such as crystal, surface properties, and absorption properties of the films were examined and reported. The phases of the ZnO material (002) and (103) were achieved from XRD study, proving ZnO has polycrystalline nature. It has been seen from the analysis that the grain size decreases from the non-flow film to 1 sccm flow film, while the strain values and dislocation density increase. But; the grain size increases from the 1 sccm film to 2 sccm flow film, while the strain values and dislocation density decrease. Herewith; it is inferred from the experimental results that the oxygen we applied to the films plays a role in the crystal structure changes of the films. It is clear that the almost homogeneous, granular, tightly packed structure of the films continue from the non-flow state to 1 sccm and from 1 sccm to 2 sccm. However, dislocations are noticeable on the surface of the films when the oxygen flow in the films is from 2 sccm to 3 sccm. These dislocations may cause cracks on the surface of the film and are therefore undesirable for our films. Material's  $E_g$  values were obtained as 3.3111, 3.3042, 3.3018, 3.3189, 3.3220 eV in the presence of non-flow, 1, 2, 3, 4 sccm oxygen, pointing out small changes in  $E_g$  values with applying oxygen. Highest the average slope was obtained as  $29.03^\circ$  in the non-flow film. But, lowest the average slope was obtained as  $7.26^\circ$  in the 1 sccm flow film. On the one hand, increasing from 1 sccm to 2 sccm and 3 sccm to 4 sccm increased the roughness to the film, resulting in a rougher surface. On the other hand, increasing from non-flow film to 1 sccm flow film and from 2 sccm to 3 sccm flow decreased the surface roughness and allowed us to obtain a smoother surface. All the results achieved show that the oxygen applied in the ZnO film process causes some changes in the physical properties of the film and this has an effect on the film quality and it is seen that these results can contribute to the production of ZnO thin film-based Light Emitting Diodes (LEDs).

#### Authors Contribution

All experimental, analysis, revision and all related procedures were carried out by Asim MANTARCI.

#### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest.

#### Statement of Research and Publication Ethics

Research and publication ethics were followed in the study.

#### References

- [1] Jin C., Hao N., Xu Z., Trase I., Nie Y., Dong L., Zhang J.X.J. 2020. Flexible piezoelectric nanogenerators using metal-doped ZnO-PVDF films. *Sensors and Actuators A: Physical*, 305: 111912.
- [2] Zhang Y., Zhao X., Chen J., Li S., Yang W., Fang X. 2020. Self-Polarized BaTiO<sub>3</sub> for Greatly Enhanced Performance of ZnO UV Photodetector by Regulating the Distribution of Electron Concentration. *Advanced Functional Materials*, 30 (5): 1907650.
- [3] Bu F., Shen W., Zhang X., Wang Y., Belfiore L.A., Tang J. 2020. Hybrid ZnO Electron Transport Layer by Down Conversion Complexes for Dual Improvements of Photovoltaic and Stable Performances in Polymer Solar Cells. *Nanomaterials*, 10 (1): 80.
- [4] Singh S.P., Sharma S.K., Kim D.Y. 2020. Carrier mechanism of ZnO nanoparticles-embedded PMMA nanocomposite organic bistable memory device. *Solid State Sciences*, 99: 106046.
- [5] Al Dahoudi N. 2014. Comparative study of highly dense aluminium- and gallium-doped zinc oxide transparent conducting sol-gel thin films. *Bulletin of Materials Science*, 37 (6): 1243-1248.
- [6] Muiva C.M., Sathiaraj T.S., Maabong K. 2011. Effect of doping concentration on the properties of aluminium doped zinc oxide thin films prepared by spray pyrolysis for transparent electrode applications. *Ceramics International*, 37 (2): 555-560.

- [7] Lee J.-H., Ko K.-H., Park B.-O. 2003. Electrical and optical properties of ZnO transparent conducting films by the sol-gel method. *Journal of Crystal Growth*, 247 (1): 119-125.
- [8] Sahal M., Hartiti B., Ridah A., Mollar M., Mari B. 2008. Structural, electrical and optical properties of ZnO thin films deposited by sol-gel method. *Microelectronics Journal*, 39 (12): 1425-1428.
- [9] Bedrouni M., Kharroubi B., Ouerdane A., Bouslama M.H., Guezoul M.H., Caudano Y., Abdelkrim M. 2021. Effect of indium incorporation, stimulated by UHV treatment, on the chemical, optical and electronic properties of ZnO thin film. *Optical Materials*, 111: 110560.
- [10] Hou B., Li L., Li X., Li Q., Li J., Wang H., Huang J. 2021. Influence of Bi<sup>3+</sup> doping on microstructure and photoelectric properties of ZnO thin film. *Chemical Physics Letters*, 763: 138174.
- [11] Selman A.M., Hassan Z., Husham M. 2014. Structural and photoluminescence studies of rutile TiO<sub>2</sub> nanorods prepared by chemical bath deposition method on Si substrates at different pH values. *Measurement*, 56: 155-162.
- [12] <http://www.crystallography.net/cod/index.php> (Access Date: 20.02.2021).
- [13] Patterson A.L. 1939. The Scherrer Formula for X-Ray Particle Size Determination. *Physical Review*, 56 (10): 978-982.
- [14] Thompson C.V. 1990. Grain Growth in Thin Films. *Annual Review of Materials Science*, 20 (1): 245-268.
- [15] Solookinejad G., Rozatian A.S.H., Habibi M.H. 2016. Zinc Oxide Thin Films Characterization, AFM, XRD and X-ray Reflectivity. *Experimental Techniques*, 40 (4): 1297-1306.
- [16] O'Brien S., Koh L.H.K., Crean G.M. 2008. ZnO thin films prepared by a single step sol-gel process. *Thin Solid Films*, 516 (7): 1391-1395.
- [17] Kim D., Woo H.K., Lee Y.M., Kim Y., Choi J.-H., Oh S.J. 2020. Controllable doping and passivation of ZnO thin films by surface chemistry modification to design low-cost and high-performance thin film transistors. *Applied Surface Science*, 509: 145289.
- [18] Srikant V., Clarke D.R. 1998. On the optical band gap of zinc oxide. *Journal of Applied Physics*, 83 (10): 5447-5451.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Büyük Dünya Endeksleri Kullanılarak BIST-100 Endeksi Değişim Yönünün Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Sınıflandırılması**

Enes FİLİZ<sup>1\*</sup>, Serkan AKOĞUL<sup>2</sup>, Hasan Aykut KARABOĞA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, Elazığ

<sup>2</sup>Pamukkale Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi İstatistik Bölümü, Denizli

<sup>3</sup>Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi İstatistik Bölümü, Amasya

(ORCID: 0000-0002-8006-9467) (ORCID: 0000-0002-0346-4308) (ORCID: 0000-0007-8877-3267)

---

### **Öz**

Borsa İstanbul 100 (BIST-100) endeksi, diğer büyük dünya endeksleri ile birlikte finans piyasalarının küreselleşme değişiminin bir parçası olmuştur. Endeksler arasındaki ilişkinin analizi yatırımcılara büyük avantajlar sağlayacaktır. Bu durumdan yola çıkarak çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları ile büyük dünya endeksleri ve bazı makroekonomik göstergeler kullanılarak BIST-100 endeksinin değişim yönünün (artış-azalış) sınıflandırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırmasında etkin rol oynayan değişkenler belirlenmiş ve belirlenen bu değişkenler yardımıyla sınıflandırma başarılarında değişim olup olmadığı incelenmiştir. Tüm değişkenler ile yapılan sınıflandırmada lojistik regresyonun %70,6; öznitelik seçimi ile yapılan sınıflandırmada da Destek Vektör Makinesi PUK çekirdeği algoritmasının %71,9 daha doğru sınıflandırma başarısı gösterdiği belirlenmiştir. Böylelikle daha az sayıda değişken ile daha yüksek sınıflandırma başarısı elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** BIST-100 endeksi, Makine öğrenmesi, Öznitelik seçimi, Sınıflandırma algoritmaları.

---

## **Classification of BIST-100 Index Change Direction with Machine Learning Algorithms Using Major World Indexes**

---

### **Abstract**

Borsa İstanbul 100 (BIST-100) index has become a part of the globalization of the financial markets along with other major world indexes. The analysis of this relationship will bring great advantages to investors. For this purpose, it is aimed to classify the change (increase-decrease) of the BIST-100 index with machine learning algorithms using major world indexes and some macroeconomic indicators. In first step, effective variables in the classification of the BIST-100 index were determined. In the next step, with the help of these variables, it was examined whether there was a change in classification success. The classification with all variables, logistic regression's classification success was 70.6%. Support Vector Machine PUK core algorithm showed 71.9% correct classification success with selected features. Thus, higher classification success was achieved with less number of variables.

**Keywords:** BIST-100 index, Machine learning, Feature selection, Classification algorithms.

---

### **1. Giriş**

Hisse senedi piyasaları bir ülkenin ekonomik gelişmesi ve büyümesinin en önemli göstergelerindendir [1]. Hisse senedi piyasasındaki gelişmeler ülke reel piyasasının uzun dönemli büyümesinin de önemli rol oynamaktadır [2, 3]. Uzun yıllardır yapılan araştırmalar hisse senetleri piyasası ile makroekonomik değişkenler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarmıştır. Bu durum hisse senetlerinin, dolayısıyla da borsa endekslerinin mikro ve makroekonomik değişkenlerle güçlü ilişkisini vurgulamaktadır [1, 4, 5].

---

\*Sorumlu yazar: [efiliz@firat.edu.tr](mailto:efiliz@firat.edu.tr)

Geliş Tarihi: 01.03.2021, Kabul Tarihi: 03.05.2021

Genel ekonomik koşullar, politik olaylar, yatırımcı psikolojisi ve büyük yatırımcıların farklı ülke borsalarına ilgisi borsa endekslerini etkilemektedir [6, 7]. Döviz kurlarının, altın fiyatlarının ve yabancı borsa endekslerinin de ülkenin borsa endeksleri üzerinde etkisi vardır [8, 9]. Teknik indikatörlerin yanında politika faizi, döviz kurları, enflasyon ve hükümet politikaları borsa endeksini etkileyen değişkenlerdir [4, 10]. Yani tüm bu belirsizlikler endeks yönü ya da hisse fiyatı tahminlerini zorlaştırmaktadır [4].

Alış ve satış emirlerinin saliselerle ölçüldüğü günümüzde hisse senedi piyasaları oldukça oynak hale gelmiştir. Birçok parametreden etkilenen hisse senedi yatırımları bu nedenle yüksek risk içermektedir [7, 11]. Yüksek risk genel olarak yüksek getiri potansiyelini de beraberinde getirmektedir. Yüksek getiri potansiyeli nedeniyle yabancı yatırımcılar BIST' e yoğun ilgi göstermektedir [12].

Makine öğrenmesine dayanan yöntemler ile modelleme yaparak yatırımcılar olağanüstü durumlara karşı kendini korumaya almakta hatta kazanç sağlayabilmektedir [6, 13-15]. Endeks yönünün bilinmesi ile alıcı ve satıcılar alım satım stratejileri belirleyebilmektedir [16]. Yatırımcıların birikimlerini korumak ve yatırımlarını daha kârlı hale getirmek için piyasanın yönünü başarılı şekilde tahmin edebilmesi gerekmektedir.

Makine öğrenmesi yöntemlerinin klasik yöntemlere göre daha esnek yapıda olması ve daha az varsayıma ihtiyaç duyması finansal araştırmalarda yoğun olarak kullanılmasını sağlamaktadır [17, 18]. Makine öğrenmesi yöntemlerinin bir diğer üstün özelliği ise doğrusal olmayan ilişkileri modelleme başarısıdır [19]. Yöntemlerin kullanım kolaylığı ile tahmin ve genelleme yapabilme yetenekleriyle sağladığı üstünlükler de yaygınlaşmasını kolaylaştırmıştır [20].

Finansal veri madenciliği, yapay zekâ algoritmalarının finans piyasalarında kullanımını sağlamaktadır. Finansal veri madenciliğine yapılan yatırımlar, dünya borsalarının, petrol ve emtiaların ve yabancı para cinsinden yatırım araçlarının birbirine daha bağlı hale gelmesini sağlamıştır. Endeksler ve diğer yatırım araçları arasındaki ilişkinin tespiti ileriye dönük tahmin yapabilmeyi de kolaylaştıracaktır. Literatürde BIST-100 endeksinin sınıflandırılmasında ve tahmininde birçok algoritma kullanılmıştır. Bu çalışmalarda çoğunlukla yapay sinir ağları (YSA), destek vektör makinesi (DVM), lojistik regresyon (LR), k-en yakın komşu algoritması (k-NN), C4.5 karar ağacı algoritması (KA-C4.5), lineer diskriminant algoritmaları (LDA) ve Naif Bayes algoritması (NB) kullanılmıştır. Örneğin Diler (2003), BIST-100 endeksinin bir sonraki günlük yönünü YSA kullanarak %60,81 doğruluk oranı ile tahmin etmiştir [21]. Avcı (2007) da çalışmasında BIST-100 endeksinin seanslık ve günlük getirilerini YSA ile tahmin etmiştir. Çalışma sonucunda seanslık tahminin daha başarılı sonuç ürettiğini belirtmiştir [22]. Benzer şekilde Kutlu ve Badur (2009), döviz ve diğer borsaların verilerini kullanarak endeks değerinin ileri beslemeli yapay sinir ağları ile modellenebileceğini göstermişlerdir [11]. Sakarya vd. (2015), BIST-100 Endeksi'nin 2008 küresel krizi döneminde günlük ve haftalık getirilerinin YSA kullanılarak öngörülebilirliği göstermişlerdir. Girdi değişkeni olarak yedi farklı ekonomik parametre ile YSA'nın bu alanda oldukça başarılı bir şekilde kullanılabilirliğini ve bilinmeyen örnekler için bile %5'in altında bir doğruluk marj hatası ile sonraki gün ve gelecek hafta için değeri doğru bir şekilde öngördüğünü göstermişlerdir [23].

BIST-100 endeksinin günlük hareket yönü tahmini için on teknik göstereyi kullanan Kara vd. (2011), YSA ile %75,74 ve DVM ile %71,52 sınıflandırma başarısı elde etmiştir [16]. Yakut vd. (2014) ise BIST-100 endeksi hareket yönünü YSA ve DVM ile modellemiştir. Bağımsız değişken olarak gecelik faiz oranı, dolar kuru, NIKKEI, BOVESPA, FTSE, CAC ve DAX kullanılmış ve yöntemlerin tahmin başarısında anlamlı bir farklılık bulunmamıştır [24]. Özdemir vd. (2011) ise BIST-100 endeksi getiri yönünü LR ve DVM yöntemleri ile %86 doğrulukla sınıflandırmıştır [18]. Tayyar ve Tekin (2013) de BIST-100 endeksi hareket yönünü DVM ve LR sınıflandırmışlardır. DVM'nin %70 sınıflama başarısı ile daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuşlardır [25]. Pabuçcu (2019), BIST-100 endeksinin geleceğe dönük hareketlerini tahmin edebilmek için 2009-2018 tarihsel verisini kullanarak YSA, DVM ve NB sınıflandırma algoritmalarını kullanmış ve algoritmanın başarılarını karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda üç yöntemde başarılı ve birbirine yakın sonuçlar ürettiğini vurgulamıştır [26].

Diğer çalışmalardan farklı olarak Filiz ve Öz (2017) BIST-100 endeksindeki değişimi makine öğrenme yöntemlerinden k-NN, NB, LR ve KA-C4.5 ile sınıflandırmışlardır. Girdi değişkeni olarak BIST-100 endeks değerlerinin değişimini etkileyen faktörler alındığında en başarılı yöntemi KA-C4.5 algoritması (%66,2) olarak bulmuşlardır [27]. k-NN algoritmasının kullanıldığı bir başka çalışmada ise Kemalbay ve Alkış (2020) BIST-100 endeksinin hareket yönünü tahmin etmiştir. Yöntem olarak çoklu LR ve k-NN algoritmasını kullanmışlardır. Veri seti 2010-2016 tarihleri arasında 1700 işlem günü olup

%95 eğitim ve %5 test verisi olmak üzere model kurmuşlardır. LR modelinin %81 doğruluk oranı ile iyi tahmin performansı gösterdiğini ortaya koymuşlardır [14]. Çalışmaların büyük bir çoğunluğunda YSA daha başarılı sonuçlar ortaya koymuştur [28]. Sınıflandırma algoritması olarak LR' de oldukça başarılı sonuçlar üretmektedir [14]. Bazı çalışmalarda ise DVM yöntemi LR yönteminden daha başarılı sınıflandırma yapmıştır [25]. Parametrelerin belirlenmesi ve modelin kullanım zorluğu bakımından YSA oldukça dezavantajlı konumdadır. Kullanım kolaylığı bakımından NB diğer makine öğrenmesi yöntemlerine göre daha kolaydır. Buna karşın DVM model hatalarının en küçük hale getirilmesinde diğer yöntemlere göre üstündür [26]. Ancak DVM için kullanılan çekirdek fonksiyonu modelleme başarısını etkilemektedir [25]. Özetle makine öğrenmesi yöntemlerinin birbiri üzerinde farklı üstünlükleri vardır. Bu üstünlükler modelleme başarılarını etkilemektedir. Bunun için modellerin birçoğunun birlikte kullanımı modelleme başarısını arttıracaktır [29].

Bu çalışmada, literatürde verilen çalışmalardan farklı olarak büyük dünya endeksleri, altın (ons), dolar ve Euro kuru verilerinden yararlanarak makine öğrenmesi algoritmaları ile BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılması ve sınıflandırmada etkili özniteliklerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılacak olan sınıflandırma algoritmaları: NB, LR, YSA, DVM-PUK ve rastgele orman karar ağacı (KA-RF) algoritmalarıdır. Ayrıca sınıflandırmada etkili özniteliklerin seçimi içinde CfsSubset öznitelik seçim algoritması kullanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Seti

İstanbul Borsası, 2013 yılında yapılan bir değişiklikle İstanbul Menkul Kıymetler Borsası, Vadeli İşlemler Borsası, Opsiyon Borsası ve Altın Borsası tek çatı altında toplanarak Borsa İstanbul (BIST) adını almıştır. BIST-100 endeksi, Borsa İstanbul Pay Piyasası için temel endeks olarak kullanılmaktadır. Borsa İstanbul pazarlarında işlem gören, piyasa değeri ve işlem hacmi en yüksek 100 payın ortak performansının ölçülmesi amacıyla oluşturulmuştur.

BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasında büyük dünya endeksleri ile küresel olarak piyasalarda kullanılan altın (ons), dolar ve Euro'nun TL cinsinden kur bilgilerinden yararlanılmıştır. Analizler, 01.01.2006 – 01.12.2020 tarihleri arasında işlem görmüş veriler kullanılarak yapılmıştır. Ele alınan veriler zaman serisi olarak incelendiğinde durağanlaştırma zorluğu ortaya çıkmaktadır. Verinin durağan olmayan bir yapıdan kesikli bir yapıya dönüştürülmesi modelleme ve tahmin yapılmasını kolaylaştırmaktadır [4]. Bu nedenle değişkenlerin bir önceki güne göre artış ya da azalışları 1 ve 0 olarak kodlanmıştır. Çalışmada kullanılan bağımlı değişken ve bağımsız değişkenler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan değişkenler\*

Bağımlı değişken	Bağımsız değişkenler	
<i>BIST-100 (Türkiye)</i>	<i>S&amp;P-500 (Amerika)</i>	<i>Moex (Rusya)</i>
	<i>Nasdaq (Amerika)</i>	<i>Ta-35 (İsrail)</i>
	<i>Russell-2000 (Amerika)</i>	<i>Tadawul (Saudi Arabia)</i>
	<i>S&amp;P/Tsx (Kanada)</i>	<i>Nikkei-225 (Japonya)</i>
	<i>Bovespa (Brezilya)</i>	<i>S&amp;P/Asx-200 (Avustralya)</i>
	<i>Ipc (Meksika)</i>	<i>Shangai (Çin)</i>
	<i>Dax (Almanya)</i>	<i>Hang-Seng (Hong-Kong)</i>
	<i>Cac-40 (Fransa)</i>	<i>Kospi (Güney Kore)</i>
	<i>Aex (Hollanda)</i>	<i>Idx-Composite (Endonezya)</i>
	<i>Ibex-35 (İspanya)</i>	<i>Nifty-50 (Hindistan)</i>
	<i>Ftse-Mib (İtalya)</i>	<i>Cse (Sri Lanka)</i>
	<i>Smi (İsviçre)</i>	<i>Dolar kuru</i>
	<i>Bel-20 (Belçika)</i>	<i>Euro kuru</i>
	<i>Omxs-30 (İsveç)</i>	<i>Altın (ons)</i>

\*Veriler <https://tr.investing.com/> sitesinden alınmıştır [30].

## 2.2. Sınıflandırma Algoritmaları

*Naif Bayes algoritması (NB)*, makine öğrenmesinin danışmanlı öğrenme alt sınıfında yer almaktadır. Bir tür Bayes ağı olan bu algoritmanın en başarılı şekilde çalışması için iki varsayımın gerçekleşmesi gerekmektedir. İlk olarak, sınıfların belirli şartlar altında birbirlerinden bağımsız olmasıdır. İkincisi ise çalışmanın sonuçlarını etkileyebilecek olan değişkenlerin belirli olmasıdır [31].

*Lojistik regresyon algoritması (LR)*, temel amacı bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişki veya ilişkileri ortaya çıkarmak olan klasik istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntemde doğrusal regresyonda geçerli olan varsayımlar aranmadığından doğrusal regresyona göre daha esnek ve daha fazla tercih edilmektedir. Ayrıca bağımlı değişkenin kategorik olması lojistik regresyon analizini doğrusal regresyondan ayırır [32].

*Yapay Sinir Ağları (YSA)*, insan beyninin işlem süreçlerini taklit ederek çalışan ve geçmişteki deneyimlerin sonuçlarına göre hareket eden en önemli makine öğrenmesi algoritmalarındandır. Bu nedenle, karmaşık doğrusal olmayan durumlarla çalışırken bile, YSA modelleri standart istatistik yöntemlerinde olduğu gibi varsayımlara ihtiyaç duymaz [33].

*Destek Vektör Makinesi Puk Çekirdeği (DVM-PUK)*, verileri iki kategoriye ayırmak için n-boyutlu bir hiper düzlem oluşturan güçlü bir yöntemdir [34]. DVM kendi içinde çekirdek fonksiyonlarına sahiptir. Çekirdek fonksiyonu, etkin bir benzerlik ölçüsüdür ve lineer bir modeli doğrusal olmayan bir modele dönüştürebilir. Çalışmada destek vektör makinesi PUK çekirdeği kullanılmıştır.

*Rastgele Orman Karar Ağacı algoritması (KA-RF)*, karar ağaçlarını geliştirmek için eğitim verilerinin değişimlerinden yararlanarak işlem yapan bir yöntemdir. Eğitim verilerinin değişimlerini belirlemek için orijinal eğitim verilerinin parçaları rassal olarak değiştirilir. Her ağaç budama işlemi yapılamadan önce olabildiğince ilerletilmeye odaklanır. Daha sonra her ağacın kendi sınıflandırmasını yapmasına izin verilir ve böylece karar süreci uygulama işlemi yapılır [35].

*k-katlı çapraz doğrulama*, makine öğrenmesi algoritmalarının çalışma prensibinde önemli noktalardan birisi de eğitim ve test veri setinin ayrımıdır. k-katlı çapraz doğrulama da veri seti k eşit parçaya bölünür. Burada k-1 tanesi eğitim veri seti geri kalan kısmı ise test veri seti olarak belirlenir. Bu işlem k kez tekrarlanır. Her bir parça test veri seti olarak alınır. Sonuç olarak bu k kez tekrar edilen işlemler sonrası elde edilen başarı değerlerinin ortalaması alınarak sınıflandırma algoritmasının başarısı elde edilir. Bu çalışmada da 10 katlı çapraz doğrulama işlemi yapılmıştır [36].

## 2.3. Öznitelik Seçimi

Öznitelik seçimi, makine öğrenmesi algoritmaları bünyesinde kullanılan değişken indirgeme durumudur. Öznitelik seçimi ile veri setindeki ilişkisiz ya da sonuca az etkisi olan değişkenler çalışmadan çıkarılmaktadır. Önemli nokta sınıflandırma yaparken daha az değişkenle daha yüksek ya da fazla düşüş olmadan benzer sonuçlar elde etmektir. Çalışmada CfsSubset öznitelik seçim algoritmasından yararlanılmıştır.

*CfsSubset öznitelik seçimi algoritması*, en iyi öznitelikleri belirlemek için veri setindeki değişkenleri korelasyon yardımı ile değerlendirilmektedir. Bu algoritma aralarında düşük korelasyonlu, sınıf etiketleri arasında ise yüksek korelasyonlu öznitelikleri seçmektedir. CfsSubset algoritması veri setine en uygun sayıda öznitelik belirlemektedir. Seçilen özniteliklerin önem sıralaması için Ki-Kare testinden yararlanılabilir. Ki-Kare testi, gözlenen ve beklenen frekanslar arasındaki farkın anlamlı olup olmadığını test etmektedir. Hesaplanan  $\chi^2$  değerine göre büyükten küçüğe doğru sıralanmasının ardından öznitelikler önem sırasına göre de sıralanmış olacaktır [37, 38].

## 2.4. Sınıflandırma Kriterleri

Çalışmada BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırma başarısını elde edebilmek için farklı makine öğrenmesi algoritmaları kullanılacaktır. Bu sınıflandırma algoritmalarının başarılarının belirlenebilmesi için sınıflandırma ölçütlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada Doğruluk, Kappa istatistiği, Ortalama Hataların Karekökü, ROC Eğrisi, Matthew Korelasyon Katsayısı sınıflandırma ölçütlerinden yararlanılmıştır.

*Doğruluk (Acc)*, modeldeki doğru sınıflandırılmış olan tüm örneklerin, toplam örnek sayısına oranı ile tespit edilmektedir [39].

*Kappa istatistiği ( $\kappa$ )*, kategorik değişkenler için yapılan analizlerin anlaşılmasında kullanılan ve ki-kare tablosuna dayanan uygun bir istatistiki veridir [40].  $\kappa$  istatistiği 1'e yaklaştıkça, sınıflandırma algoritmasının başarısının arttığı söylenebilir.

*Ortalama Hataların Karekökü (Rmse)*, bir modelin tahmin edilen ve gözlenen değerleri arasındaki farkları göstermeye yardımcı olmaktadır. Kök ortalama kare hatası, tahmin edilen ve gözlemlenen değerler arasındaki kare farklarının ortalama kareköküne eşittir. Bu değer az olması istenilen bir durumdur.

*ROC Eğrisi (ROC)*, sınıflandırma algoritmalarının performansını ölçmek için kullanılan ROC eğrisinin altındaki alan sınıflandırıcının başarısı ile ilgili bilgi vermektedir [41]. ROC eğrisinin altında kalan alanın değeri ne kadar yüksek olursa, algoritmanın yaptığı sınıflandırmanın da o kadar başarılı olduğu söylenebilir. Ayrıca algoritmanın başarısını görsel olarak göstermektedir.

*Matthew Korelasyon Katsayısı (Mcc)*, -1 ile 1 arasında değerler alan Mcc karşılaştırma matrisindeki bileşenler kullanılarak elde edilmektedir. Pozitif değer elde eden Mcc'lerin doğru tahminler ürettiği sonucuna varılabilmektedir [42].

### 3. Uygulama

BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasında eldeki bağımsız değişkenler yardımıyla çalışma 3 aşamadan oluşmaktadır. Analizlerde Waikato Üniversitesi tarafından geliştirilen Weka programından yararlanılmıştır. Bu program, makine öğrenmesi algoritmalarını ve öznitelik seçim algoritmalarını bünyesinde barındırmaktadır. Sınıflandırma ve kümeleme analizlerinde kullanımı uygundur [29]. Çalışmanın aşamaları şu şekilde verilmiştir:

*Aşama1.* BIST-100 endeksinin değişim yönünün tüm değişiklikler kullanılarak makine öğrenmesi algoritmaları ile sınıflandırılması,

*Aşama2.* Sınıflandırmada etkin rol oynayan özniteliklerin belirlenmesi ve istatistiksel olarak test edilmesi,

*Aşama3.* Etkin öznitelikler kullanarak makine öğrenmesi algoritmalarının sınıflandırma başarılarında düşüş ya da yükselişin incelenmesi.

Çalışmanın ilk aşamasında, kullanılan 28 bağımsız değişken göz önünde bulundurularak sınıflandırma algoritmaları ile veriler analiz edilmiştir. Aşama1'e göre kullanılan beş sınıflandırma algoritması ile sınıflandırma başarıları Tablo 2' de verilmiştir. Daha önce belirtilmiş olan sınıflandırma kriterlerine göre (Acc,  $\kappa$ , Rmse, ROC ve Mcc) algoritmaların sınıflandırma performansları incelenmiştir.

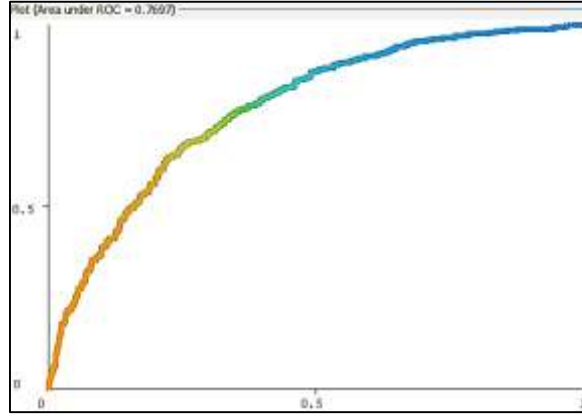
**Tablo 2.** Aşama1 için elde edilen sınıflandırma sonuçları

	NB	LR	YSA	DVM-PUK	KA-RF
Acc(%)	67,70	<b>70,60</b>	62,70	69,60	67,80
$\kappa$	0,350	0,406	0,249	0,383	0,350
Rmse	0,524	0,441	0,583	0,551	0,455
ROC	0,749	0,770	0,669	0,690	0,740
Mcc	0,350	0,406	0,249	0,387	0,350

Tablo 2'de görüldüğü gibi, Acc'ye göre LR (%70,6) en iyi algoritma olarak belirlenmiştir. LR için  $\kappa$  (0,4057), Rmse (0,4410), ROC (0,7700) ve Mcc (0,4060) değerleri bu sonucu desteklemektedir.

Şekil 1'de, BIST-100 endeksinin sınıflandırılmasında Aşama1 için sınıflandırmada başarılı algoritmanın ROC alanı gösterilmiştir. ROC alanı değerleri tüm algoritmalar için incelendiğinde 0,657'nin üzerinde olduğunu söylemek mümkündür. LR ise en başarılı ROC alanı değerini vermiştir (0,770).

Aşama2 için CfsSubset öznitelik seçim algoritması yardımıyla yapılan analizler sonucunda Tablo 3'te belirtilen değişkenler BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasında etkin olan öznitelik olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Aşama1 için LR algoritmasının ROC eğrisi

Tablo 3. Aşama2 için elde edilen sınıflandırmada etkin öznitelikler

<i>Bovespa</i>	<i>Moex</i>
<i>Ipc</i>	<i>Nifty-50</i>
<i>Cac-40</i>	<i>Dolar kuru</i>
<i>Ibex-35</i>	<i>Euro kuru</i>
<i>Omx-30</i>	

Aşama2'ye göre, BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasında etkin olan öznitelikler Ki-kare analizi ile test edilmiş ve sonuçlar Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Aşama2 için etkin özniteliklerin Ki-kare analizi

Öznitelik	$\chi^2$ Değeri	p-değeri
Dolar kuru	202,982	
CAC-40	127,064	
Omx-30	125,992	
Ipc	121,325	
Ibex-35	112,637	0,000
Euro kuru	106,116	
Bovespa	100,034	
Moex	99,067	
Nifty-50	98,859	

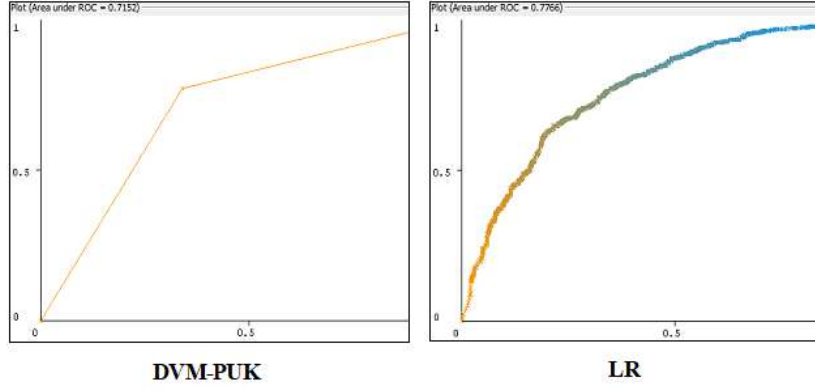
Tablo 4'e göre BIST-100 endeksinin değişim yönü ile etkin öznitelikler arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki tespit edilmiştir ( $p=0,000$ ). Bu öznitelikler  $\chi^2$  değerlerine göre sıralanmıştır. En etkili öznitelik dolar kuru ( $\chi^2 = 202,982$ ) olarak belirlenmiştir.

Aşama3'e göre etkin öznitelikler kullanarak makine öğrenmesi algoritmalarının sınıflandırma başarıları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Aşama3 için elde edilen sınıflandırma sonuçları

	NB	LR	YSA	DVM-PUK	KA-RF
Acc(%)	70,4	71,2	70,2	<b>71,9</b>	70,3
$\kappa$	0,404	0,418	0,396	0,433	0,401
Rmse	0,458	0,437	0,456	0,530	0,466
ROC	0,772	0,777	0,737	0,715	0,732
Mcc	0,404	0,419	0,399	0,434	0,401

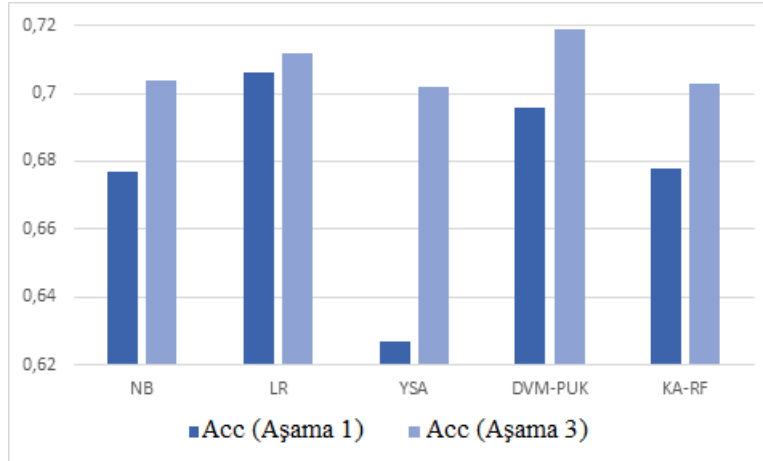
Tablo 5'te görüldüğü gibi, Acc'ye göre DVM-PUK (%71,9) en iyi algoritma olarak belirlenmiştir. DVM-PUK için  $\kappa$  (0,4328) ve Mcc (0,4340) değerleri bu sonucu desteklemektedir. Ayrıca, LR (%71,2) DVM-PUK ile karşılaştırıldığında benzer performansa sahip olduğu söylenebilir. LR sonucunu Rmse (0,4369) ve ROC alanı (0,7770) ölçütlerinin desteklediği söylenebilir.



Şekil 2. Aşama3 için DVM-PUK ve LR algoritmalarının ROC eğrileri

Şekil 2’de, BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasında Aşama3 için sınıflandırmada başarılı algoritmanın ROC alanı gösterilmiştir. ROC alanı değerlerinin tüm algoritmalar için 0,7150’ nin üzerinde olduğunu söylemek mümkündür. LR (0,777) ise en başarılı ROC alanı değerini vermiştir.

BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasına yönelik olarak Aşama1 ve Aşama3 de gerçekleştirilen sınıflandırmalar için sınıflandırma ölçütlerinden Acc temel alınarak algoritmaların başarısı Şekil 3’te verilmiştir. Şekil 3’e göre öznitelik seçimi ile tüm algoritmaların sınıflandırma başarısının arttığı görülmektedir.



Şekil 3. BIST-100 endeksinin değişim yönü için sınıflandırma sonuçları

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Borsa endeksleri teknolojik gelişmeler ile her geçen gün daha yoğun olarak iç içe geçmektedir. Haberlerin anlık yayılımı ve piyasalarda etkilerinin anında görülmesi alım satım kararlarının anında yön değiştirmesine neden olmaktadır. Yatırımcıların kendini koruması için kararlarını belirli bir modele ve değişken kümesine dayandırarak alması gerekmektedir. Bu amaçla çalışmamızda dünyanın gelişmiş ve gelişmekte olan borsalarının endeksleri ile borsayı etkilediği bilinen altın, dolar ve Euro kurları ile BIST-100 ilişkisi incelenmiştir. Sınıflandırma için etkili özniteliklerin de belirlendiği bu çalışma, öznitelik seçimi kullanılması ile literatürden farklılık göstermektedir. Ayrıca etkili özniteliklerin istatistiksel olarak da değerlendirilmesi için Ki-kare testinden yararlanılmıştır.

BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasında Aşama1 de LR en yüksek doğruluğa sahip algoritma olarak bulunmuştur. LR’nin Acc değeri %70,6 olduğu ve bu değer 28 değişken kullanarak elde edildiği görülmektedir. Yani bağımsız değişkenlerin değerlerinin bilinmesi durumunda BIST-100 endeksinin değişim yönünün belirlenmesi %70,6 oranında doğru bir şekilde yapılabilecektir. Literatürde yapılan incelemelere göre mevcut pek çok çalışmada, LR’nin hisse senedi piyasalarında yapılan sınıflandırılma çalışmalarında kullanılan en uygun algoritmalarından biri olduğu

belirlenmiştir [18, 19, 28]. LR farklı alanlarda yapılan çalışmalarda da diğer makine öğrenmesi yöntemlerine göre daha iyi performans gösterebilmektedir [36, 43].

BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırma başarısını etkileyen öznitelikler bilindiğinde önlemler alınarak veya mevcut koşulları değiştirerek sınıflandırma başarısında bir düşüş olmayacağı ya da arttırılacağı varsayılabilir. Önem düzeyi düşük özniteliklerin modelden çıkarılması modellerin başarısını arttırmaktadır [22]. Bu amaçla Aşama2’de BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırma başarısını etkileyen en önemli öznitelikleri belirlemek için öznitelik seçim algoritması kullanılmıştır. Öznitelik seçim algoritmasını kullanmanın amacı, sınıflandırma başarısından ödün vermeden daha az öznitelik kullanmaktır. BIST-100 veri seti için CfsSubset öznitelik seçim algoritması kullanılarak elde edilen sonuçlara göre ‘Bovespa’, ‘Ipc’, ‘Cac-40’, ‘Ibex-35’, ‘Omxs-30’, ‘Moex’, ‘Nifty-50’, ‘dolar’, ‘Euro’ etkili öznitelikler olarak belirlenmiştir. Ki-kare analizine göre en etkili özneliğin dolar kuru olduğu görülmüştür. Etkili öznitelikler literatürdeki pek çok çalışmada da önemli öznitelikler olarak bulunmuştur [8, 9, 13, 18, 24].

Son olarak Aşama3 de BIST-100 endeksinin değişim yönünün 9 öznitelik ile Acc oranı %71,9 olan DVM-PUK algoritması en iyi sınıflandırma algoritması olarak belirlenmiştir. Yani BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasını etkileyen bağımsız değişkenlerin değerlerinin bilinmesi durumunda BIST-100 endeksinin değişim yönünün belirlenmesi %71,9 oranında doğru bir şekilde yapılabilecektir. Daha az sayıda öznitelik kullanılarak sınıflandırma başarısında tatminkâr sonuçlar elde edilmiştir.

BIST-100 veri setinde BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasında çok sayıda makine öğrenmesi algoritması ve öznitelik seçim algoritması kullanılması bu çalışma açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, BIST-100 literatürü ile ilgili daha önceki çalışmalar incelendiğinde, kümeleme, tahmin ve regresyon amacıyla sıklıkla tercih edilen makine öğrenmesi algoritmalarının birçoğu kullanılmıştır. Diğer önemli bir nokta ise BIST-100 sınıflandırılmasında sadece en etkin değişkenlerin dikkate alınması gerektiğini ve tüm değişkenlerin kullanılmasına gerek olmadığını gösterilmektedir. İlerleyen çalışmalarda ilk aşamada kullanılan değişkenlerin sayısının arttırılması ve en etkili makro ve mikro değişkenlerin belirlenmesi yatırımcılar, ekonomistler ve ekonomi politikası belirleyicileri için yararlı olacaktır.

Çalışmada BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasında yalnızca büyük dünya endeksleri, altın, dolar ve Euro kuru kullanılmıştır. Bu ise çalışmanın kısıtlarındandır. Zira birçok mikro ve makro değişkenin endeks üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Diğer bir sınırlama da BIST-100 endeksinin değişim yönünün sınıflandırılmasını etkileyen özniteliklerin, sadece BIST-100 için belirlenmiş olmasıdır.

## **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] Oskooe P. 2010. Emerging Stock Market Performance and Economic Growth. American Journal of Applied Sciences, 7 (2): 265-269.
- [2] Levine R., Zervos S. 1996. Stock Market Development and Long-Run Growth. The World Bank Economic Review, 10 (2): 323-339.
- [3] Masoud N.M.H. 2013. The Impact of Stock Market Performance upon Economic Growth. International Journal of Economics and Financial Issues, 3 (4): 788-798.



- [4] Patel J., Shah S., Thakkar P., Kotecha K. 2015. Predicting stock and stock price index movement using Trend Deterministic Data Preparation and machine learning techniques. *Expert Systems with Applications*, 42 (1): 259-268.
- [5] Pesaran M.H., Timmermann A. 1995. Predictability of Stock Returns: Robustness and Economic Significance. *The Journal of Finance*, 50 (4): 1201-1228.
- [6] Tan T.Z., Quek C., Ng G.S. 2007. Biological Brain-Inspired Genetic Complementary Learning for Stock Market and Bank Failure Prediction1. *Computational Intelligence*, 23 (2): 236-261.
- [7] Wang J.-Z., Wang J.-J., Zhang Z.-G., Guo S.-P. 2011. Forecasting stock indices with back propagation neural network. *Expert Systems with Applications*, S0957417411007494.
- [8] Savaş İ., Can İ. 2011. Euro-Dolar Paritesi ve Reel Döviz Kuru'nun İMKB 100 Endeksi'ne Etkisi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 6 (1): 323-339.
- [9] Bali S., Cinel M. 2011. Altın fiyatlarının İMKB 100 endeksi'ne etkisi ve bu etkinin ölçümlenmesi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 25 (3-4): 45-63.
- [10] Lehkonen H., Heimonen K. 2015. Democracy, political risks and stock market performance. *Journal of International Money and Finance*, 59: 77-99.
- [11] Kutlu B., Badur B. 2009. Yapay sinir ağları ile borsa endeksi tahmini. *Yönetim Dergisi: İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü*, 20 (63): 25-40.
- [12] Gunduz H., Cataltepe Z. 2015. Borsa İstanbul (BIST) daily prediction using financial news and balanced feature selection. *Expert Systems with Applications*, 42 (22): 9001-9011.
- [13] Aydın A.D., Cavdar S.C. 2015. Comparison of Prediction Performances of Artificial Neural Network (ANN) and Vector Autoregressive (VAR) Models by Using the Macroeconomic Variables of Gold Prices, Borsa İstanbul (BIST) 100 Index and US Dollar-Turkish Lira (USD/TRY) Exchange Rates. *Procedia Economics and Finance*, 30: 3-14.
- [14] Kemalbay G., Alkiş B.N. 2020. Borsa endeks hareket yönünün çoklu lojistik regresyon ve k-en yakın komşu algoritması ile tahmini. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26 (8).
- [15] Kumar M., Thenmozhi M. 2006. Forecasting Stock Index Movement: A Comparison of Support Vector Machines and Random Forest (SSRN Scholarly Paper ID 876544). *Social Science Research Network*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.876544>
- [16] Kara Y., Acar Boyacioglu M., Baykan Ö.K. 2011. Predicting direction of stock price index movement using artificial neural networks and support vector machines: The sample of the Istanbul Stock Exchange. *Expert Systems with Applications*, 38 (5): 5311-5319.
- [17] Na S.H., Sohn S.Y. 2011. Forecasting changes in Korea Composite Stock Price Index (KOSPI) using association rules. *Expert Systems with Applications*, 38 (7): 9046-9049.
- [18] Özdemir A.K., Tolun S., Demirci E. 2011. Endeks Getirisi Yönünün İkili Sınıflandırma Yöntemiyle Tahmin Edilmesi: İMKB 100 Endeksi Örneği. *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 4 (2): 45-59.
- [19] Kara İ., Ecer F. 2018. BIST endeks hareket yönünün tahmininde sınıflandırma yöntemlerinin performanslarının karşılaştırılması. *The Journal of Academic Social Sciences*, 83 (83): 514-524.
- [20] Filiz E., Karaboğa H.A., Akogul S. 2017. BIST-50 endeksi değişim değerlerinin sınıflandırılmasında makine öğrenmesi yöntemleri ve yapay sinir ağları kullanımı. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26 (1): 231-241.
- [21] Diler A.İ. 2003. İmkb ulusal-100 endeksinin yönünün yapay sinir ağları hata geriye yayma yöntemi ile tahmin edilmesi. *İMKB Dergisi*, 7 (25-26): 66-81.
- [22] Avcı E. 2007. Forecasting daily and sessional returns of the ISE - 100 index with neural network models. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 8 (2): 128-142.
- [23] Sakarya S., Yavuz M., Karaoglan A.D., Özdemir N. 2015. Stock Market Index Prediction with Neural Network during Financial Crises: A Review on Bist-100. *Financial Risk and Management Reviews*, 1 (2): 53-67.
- [24] Yakut E., Elmas B., Yavuz S. 2014. Yapay Sinir Ağları ve Destek Vektör Makineleri Yöntemleriyle Borsa Endeksi Tahmini. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 19 (1): 139-157.
- [25] Tayyar N., Tekin S. 2013. İMKB-100 Endeksinin Destek Vektör Makineleri ile Günlük, Haftalık ve Aylık Veriler Kullanarak Tahmin Edilmesi. *Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 13 (1): 189-217.

- [26] Pabuçcu H. 2019. Borsa Endeksi Hareketlerinin Tahmini: Trend Belirleyici Veri. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Meslek Yüksekokulu Dergisi, 22 (1): 246-256.
- [27] Filiz E., Öz E. 2017. Classification Of BIST -100 Index' Changes Via Machine Learning Methods. Marmara Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 39 (1): 117-129.
- [28] Yakut E., Gemici E. 2017. Predicting Stock Return Classification through LR, C5.0, CART and SVM methods, and Comparing the Methods Used: An Application at BIST in Turkey. Ege Academic Review, 17 (4): 461-479.
- [29] Witten I.H., Frank E., Hall M.A., Pal C.J. 2017. Data mining: Practical machine learning tools and techniques with Java implementations (Fourth Edition). Morgan Kaufmann.
- [30] <https://tr.investing.com/> (Erişim Tarihi: 01.12.2020).
- [31] John G., Langley P. 1995. Estimating Continuous Distributions in Bayesian Classifiers. In proceedings of the Eleventh Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann Publishers. San Matco.
- [32] Hosmer Jr D.W., Lemeshow S., Sturdivant R.X. 2013. Applied logistic regression (C. 398). John Wiley & Sons.
- [33] Şen Z. 2004. Yapay sinir ağları ilkeleri (1.). Su Vakfi, İstanbul.
- [34] Haykin S. 1994. Neural networks: A comprehensive foundation. Mc Millan.
- [35] Chen X.-W., Liu M. 2005. Prediction of protein-protein interactions using random decision forest framework. Bioinformatics, 21 (24): 4394-4400.
- [36] Filiz E., Öz E. 2019. Finding the best algorithms and effective factors in classification of Turkish science student success. Journal of Baltic Science Education, 18 (2): 239-253.
- [37] Gennari J.H., Langley P., Fisher D. 1989. Models of incremental concept formation. Artificial Intelligence, 40 (1): 11-61.
- [38] Gümüşçü A., Aydılek İ.B., Taşaltın R. 2016. Mikro-dizilim Veri Sınıflandırmasında Öznitelik Seçme Algoritmalarının Karşılaştırılması. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 1 (1): 1-7.
- [39] Balaban M.E., Kartal E. 2015. Veri Madenciliği ve Makine Öğrenmesi Temel Algoritmaları ve R Dili ile Uygulamaları (1.). Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [40] Donner A., Klar N. 1996. The statistical analysis of kappa statistics in multiple samples. Journal of Clinical Epidemiology, 49 (9): 1053-1058.
- [41] Bradley A.P. 1997. The use of the area under the ROC curve in the evaluation of machine learning algorithms. Pattern Recognition, 30 (7): 1145-1159.
- [42] Depren S.K., Aşkın Ö.E., Öz E. 2017. Identifying the Classification Performances of Educational Data Mining Methods: A Case Study for TIMSS. Educational Sciences: Theory & Practice, 17 (5): Article 5.
- [43] Christodoulou E., Ma J., Collins G.S., Steyerberg E.W., Verbakel J.Y., Van Calster B. 2019. A systematic review shows no performance benefit of machine learning over logistic regression for clinical prediction models. Journal of Clinical Epidemiology, 110: 12-22.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Hidroelektrik ve Termik Santrallerin Karbon Emisyonu Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması: Eskişehir İli Örneği**

Yıldırım BAYAZIT\*

*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik  
(ORCID: 0000-0002-8699-4741)*

---

### **Öz**

Dünya nüfusunun hızla artmasıyla birlikte gelişen sanayi ve teknolojik gelişmeler ihtiyaç duyulan enerjiyi de arttırmaktadır. İhtiyaç duyulan enerjinin en önemlilerinden bir tanesi elektrik enerjisidir. Günümüzde elektrik enerjisi ihtiyacının büyük bir bölümü fosil kaynaklardan sağlanmaktadır. Elektrik enerjisinin fosil kaynaklardan sağlanmasının iklim değişikliği ve çevre kirliliği problemlerine yol açtığı bilinen bir gerçektir. Bu nedenle enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması konusu tüm dünyada büyük önem kazanmıştır. Ülkemizde hidroelektrik enerji santrallerin yanı sıra sulama, içme-kullanma suyu temini ve taşkın gibi amaçlarla işletilen birçok baraj bulunmaktadır. Bu çalışmada, enerji üretiminde su kaynaklarından daha efektif bir şekilde yararlanmak için kurulu barajların enerji üretebilme olanakları değerlendirilerek termik santrallere göre daha çevreci bir çözüm yaklaşımı hedeflenmiştir. Bu bağlamda çalışmada Eskişehir ilindeki Porsuk Barajının hidroelektrik enerji santraline dönüştürülmesi durumunda enerji üretimi ve karbon emisyon azaltımı SIMAHPP 5 programı kullanılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Porsuk Barajının 4.31 MW'lık kurulu güçle yıllık 597 GWh enerji üretebileceği hesaplanmıştır. Aynı enerji miktarının termik santrallerden üretilmesi durumunda yılda ortalama 5,5631.55 tCO<sub>2</sub> karbon salınımı yapabileceği ortaya konmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Tükenebilir Enerji, Yenilenebilir Enerji, Termik Santral, Hidroelektrik, Karbon Emisyonu.

---

## **Investigation of the Effects of Hydroelectric and Thermal Power Plants on Carbon Emission: Example of Eskişehir Province**

---

### **Abstract**

With the rapid increase in the world population, developing industry and technological developments also increase the energy needed. One of the most important energies needed is electrical energy. Today, most of the electrical energy needs are provided by fossil sources. It is a known fact that obtaining electrical energy from fossil sources causes climate change and environmental pollution problems. For this reason, the issue of using renewable energy sources in energy production has gained great importance all over the world. In our country, besides hydroelectric power plants, there are many dams operated for irrigation, drinking-potable water supply and flooding purposes. In this study, a more environmentally friendly solution approach than thermal power plants is aimed by evaluating the energy generation possibilities of installed dams in order to benefit from water resources more effectively in energy production. In this context, energy production and carbon emission reduction in the case of converting the Porsuk Dam in Eskişehir to a hydroelectric power plant was calculated using the SIMAHPP 5 program. As a result, it has been calculated that the Porsuk Dam can generate 597 GWh of energy annually with an installed power of 4.31 MW. It has been demonstrated that if the same amount of energy is generated from thermal power plants, an average of 5.5631.55 tCO<sub>2</sub> of carbon emission per year can be achieved.

**Keywords:** Consumable Energy, Renewable Energy, Thermal Power Plant, Hydroelectricity, Carbon Emission.

---

### **1. Giriş**

Hızla artan dünya nüfusuyla birlikte gelişen endüstrinin getirdiği sonuçlardan bir tanesi ihtiyaç duyulan enerjinin artmasıdır. Günümüzde küresel enerji talebinin %87 gibi çok büyük bir bölümü petrol,

---

\*Sorumlu yazar: [yildirim.bayazit@bilecik.edu.tr](mailto:yildirim.bayazit@bilecik.edu.tr)

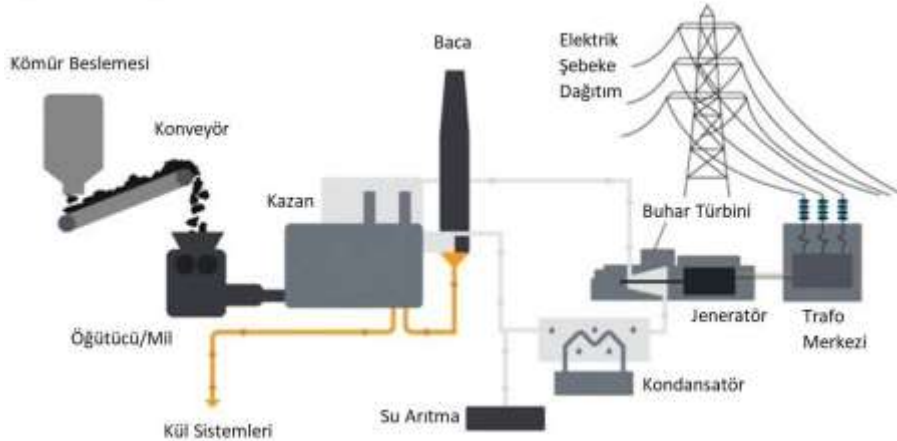
Geliş Tarihi: 17.02.2020, Kabul Tarihi: 01.04.2021

doğalgaz ve kömür tarafından karşılanmaktadır [1]. Teknolojinin bugünkü düzeyi ve yapılan tahminler doğrultusunda gelecek 20 yıllık sürede de toplam dünya enerji talebinin % 88'inin fosil yakıtlar tarafından karşılanmaya devam edeceği tahmin edilmektedir [2]. Ancak fosil kaynakların tükenebilir olması, çevreyi kirletmesi son yıllarda yenilenebilir temiz enerji kaynaklarının önemini ortaya çıkarmıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları (hidrolik, jeotermal, güneş, rüzgâr, biyokütle, dalga vb.), ülkelerin enerji politikaları içinde yerli kaynak olmaları, enerji arz güvenliğine katkı yapmaları, temiz olmaları, küresel ısınma ile mücadelede salınımları azaltmaları, çevresel kaygıların giderilmesinde katkı sağlamaları ve Kyoto Protokolü mekanizmaları kapsamında ekonomik değer taşıma özellikleri nedeniyle büyük öneme sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının düşük karbon ekonomisine geçme amacıyla kullanımı, dünya genelinde her geçen gün daha da yaygınlaşmaktadır. Özellikle kömür ve petrol türevi enerji santrallerinin ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılaması sırasında ortaya çıkardıkları karbondioksit gazı atmosferde birikerek iklim üzerinde olumsuz etkiler yapmaktadır. Bu durum küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır.

Elektrik güç santralleri kullanılan kaynağa göre termik, hidrolik ve nükleer elektrik santralleri olarak sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada termik ve hidrolik enerji santralleri ele alınacaktır.

### 1.1. Termik santrallerin karbon emisyonu üzerindeki etkileri

Termik santraller, genel prensip olarak ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren santrallerdir. Termik santrallerin en bilinen tipi yakıt olarak kömür ham maddesini kullanan santrallerdir. Bu enerji santrallerinde öncelikle yakıtta bulunan kimyasal enerjiyi kazanda ısı enerjisine çevirerek buhar elde edilir. Daha sonra buhardaki ısı enerjisi türbin yardımıyla mekanik enerjiye çevrildikten sonra jeneratörde elektrik enerjisine çevrilir. Termik santrallerin çalışma prensibi şematik olarak Şekil 1'de verilmiştir. Kömür santralleri dünyada elektrik enerjisi üretiminde en çok faydalanılan santrallerdir. Dünya elektrik enerjisi üretiminin yaklaşık %38'i kömür rezervlerinden sağlanmaktadır (WCA, 2020). Termik santraller çevreye zararlı birçok gaz verirken, termal kirlilik olarak bilinen bir çevre problemini ortaya çıkarır. Termal kirlilik, atık suyun elektrik santralinden deşarjı ile yerel çevredeki doğal kaynakların kirlenmesine neden olur. Çevrede bulunan yeraltı ve yerüstü su kaynakları bu durumdan olumsuz etkilenirler. Termik santrallerin emisyonlarıyla ilgili son yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Liu vd. [3] Güney Afrika'da bulunan bir kömür termik santralinden atmosfere salınan sera gazını uydu görüntülerinden faydalanarak analiz etmişlerdir. Gai vd. [4] termik santrallerin karbon emisyonları için tipik bir hesaplama analizi ortaya koymuşlardır. Termik santrallerin çevreye duyarlılığını arttırmak için CO<sub>2</sub> salınımını azaltma teknolojileri üzerine 2012 yılında Moazzem vd. bir çalışma yayınlamışlardır [5].



Şekil 1. Bir termik santralin çalışma prensibi [6]

Termik santrallerin fosil yakıtları atmosfere yakmanın yan ürünü olan çok sayıda sera gazı ve kül pompaladığı bilinmektedir. Bu durum insan sağlığı üzerinde birçok problemleri ortaya çıkardığı bilinmektedir [7]. Termal santrallerden atmosfere salınan gazlardan en önemlileri karbondioksit, kükürt dioksit ve azot oksitlerdir.

Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), fosil yakıtların yakılmasından çıkan ana gazlardan biridir. Sera gazının, küresel iklim değişikliğinin en büyük sorumlularından biri olduğu bilinmektedir. Özellikle kömür yakıtlı

santraller enerji üretiminde CO<sub>2</sub> emisyonlarının %34-40'ını oluşturarak küresel olarak en büyük antropojenik CO<sub>2</sub> yayıcıları arasında yer aldıkları bilinmektedir [8]. Bir termik santralden salınan tüm gazlardan en önemlisi karbondioksit olup, termik santraller tüm dünyada artan karbondioksit seviyelerine en çok katkıda bulunan enerji üretim tesisleridir. Dünya kömür rezervlerinin önümüzdeki on yıllar boyunca enerji üretiminde kullanımı devam edeceği düşünüldüğünde CO<sub>2</sub> emisyonlarının ana sebebi olmaya devam edecektir [9]. Bu nedenle, iklim değişikliğini daha iyi tahmin etmek için enerji üretiminde küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının doğru bir şekilde izlenmesi ve etkili emisyon azaltma stratejilerinin geliştirilmesini desteklemek önemlidir [9].

Kükürt dioksit, enerji santrallerinden salınan bir diğer gazdır. Teknik olarak bir sera gazı olmamakla birlikte, atmosfere dolaylı etkilerinin olduğu bilinmektedir. Çünkü gelen güneş ışığının saçılmasını, bulutların oluşumunu ve yağış modellerini etkileyebilir. Bu nedenle, birçok durumda dolaylı bir sera gazı olarak kabul edilir. Sülfür dioksit atmosferde sülfürik asit oluşturur, daha sonra Dünya'ya asit yağmuru olarak dönebilir ve çeşitli ekosistemleri etkileyebilir. Termik santrallerden salınan kükürt dioksit seviyesi kullanılan kömürdeki kükürt miktarına bağlıdır. Kullanılan kömürün hangi tipte kullanıldığına bağlı olarak ortalama % 0.1 ila %3.5 kükürt vardır. Termik santraller aynı zamanda dünya çapında en büyük kükürt dioksit yayıcılarıdır.

Azot oksitler, termik santraller tarafından atmosfere salınan bir başka gaz grubudur. Termik santraller küresel azot oksit seviyelerine en büyük katkıda bulunanlardan biridir. Karbondioksitlerden farklı olarak, azot oksitler yine teknik olarak sera gazları değildir, ancak atmosfer üzerinde dolaylı bir etkiye sahiptirler. Azot oksitlerin görünürlük ve solunum sorunları yarattığı bilinmektedir ve ayrıca asit yağmuru ve duman oluşturmak için diğer atmosfer gazları ve nem ile birleşebilirler.

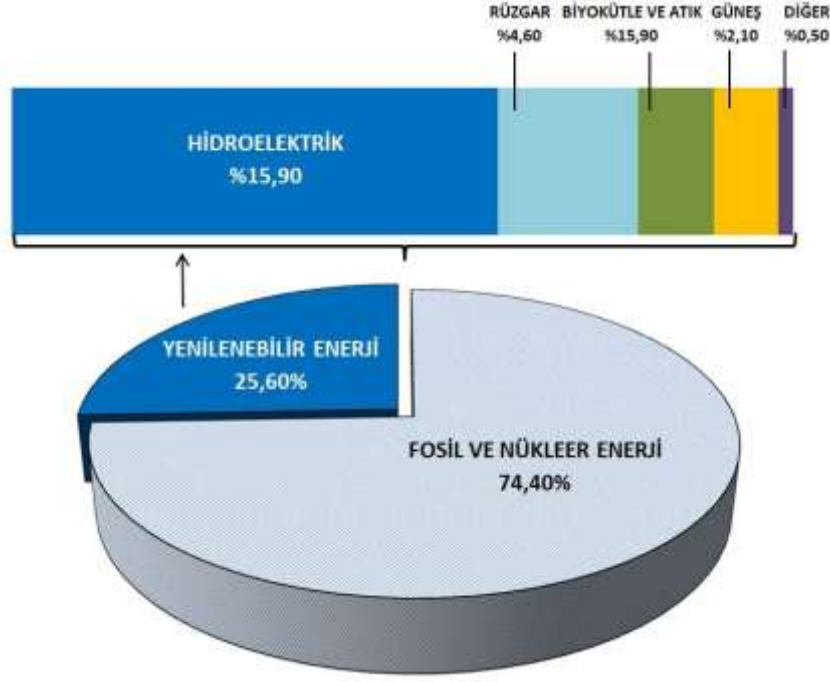
Atmosferin bir diğer büyük kirleticisi küldür. Kül genellikle zararlı partikül maddeler ve ağır metaller içerir. Külün birden fazla etkisi olabilir; düştüğü her yerde su yollarına ve toprağa girebilir (yerel çevre olması gerekmez). Bu durum toprağın veya suyun alkalinitesini değiştirerek toprağı tarımsal amaçlarla kullanılamaz hale getirebilir. Ayrıca su içilmez hale gelebilir.

## 1.2. Hidroelektrik enerjinin karbon emisyonu üzerindeki etkileri

Hidrolik enerji, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde teknolojik gelişim açısından en ileri düzeyde olan enerji kaynağıdır. Suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesiyle elde edilen bu enerji türü, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük paya sahiptir (Şekil 2). Hidroelektrik enerji düşük karbon emisyonlu bir teknoloji olarak, dünyanın yenilenebilir enerji üretiminin yaklaşık üçte ikisini karşılamaktadır.

Hidroelektrik santrallerinin oluşturdukları az miktardaki sera gazı emisyonları rezervuarlarındaki su bitkileri ve alg biokütlelerinin ürettiği organik maddelerin ayrışması sonucu oluşmaktadır. Termik santrallerde ise sera gazı salınımının en önemli nedenlerinden biri fosil kaynağın yakılması işlemidir. Yanma işlemi atmosfere büyük miktarda CO<sub>2</sub> salınımı yaptığından, termik santrallerin hidroelektrik enerji santrallerine göre kıyaslanmayacak kadar büyük miktarlarda karbon salınımı meydana getirdiği bilinmektedir.

Hidroelektrik enerji projeleri, Paris Anlaşması ve sürdürülebilir kalkınma hedefleri çerçevesinde ülkelere iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden (taşkın ve kuraklık) korunmasını sağlar. Hidroelektrik enerji diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslandığında kilovat saat başına en düşük sera gazı (GHG)(GreenHouseGases) salınımına sahip olduğu bilinmektedir. Bir kömür santralinin ortalama yaşam döngüsü karbon eşdeğeri yoğunluğu 820 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh iken bir hidroelektrik santralin 18.5 gCO<sub>2</sub>-eq/kWh olduğu söylenmektedir. Bu durum hidroelektrik santrallerin kömür santrallerine göre %97.7 oranında sera gazı emisyonunu azalttığını göstermektedir. Hidroelektrik enerji kilovat saat başına doğalgaza göre %96.2, biokütleyle göre %92, solar PV'ye göre %61.5, jeotermale göre %51.3 sera gazı emisyonunu azaltmaktadır. Rüzgâr enerjisi ise hidroelektriğe göre sera gazı salınımında %40.5 oranında avantaj sağlamaktadır. Tüm bu değerler göz önüne alındığında eşdeğer bir enerji üretiminde bir hidroelektrik santralin yerine kömür santrali kullanıldığında atmosfere yılda 4 milyar ton fazladan sera gazı salınımı olacağı tahmin edilmektedir. Enerji üretiminde kömür gibi bir fosil yakıtı göre sudan faydalanmak atmosfere bırakılan 148 milyon ton partikül, 62 milyon ton sülfür dioksit ve 8 milyon ton nitrojen oksitinin de önüne geçmek anlamına gelmektedir.



Şekil 2. Yenilenebilir enerjide hidroelektriğin rolü [10]

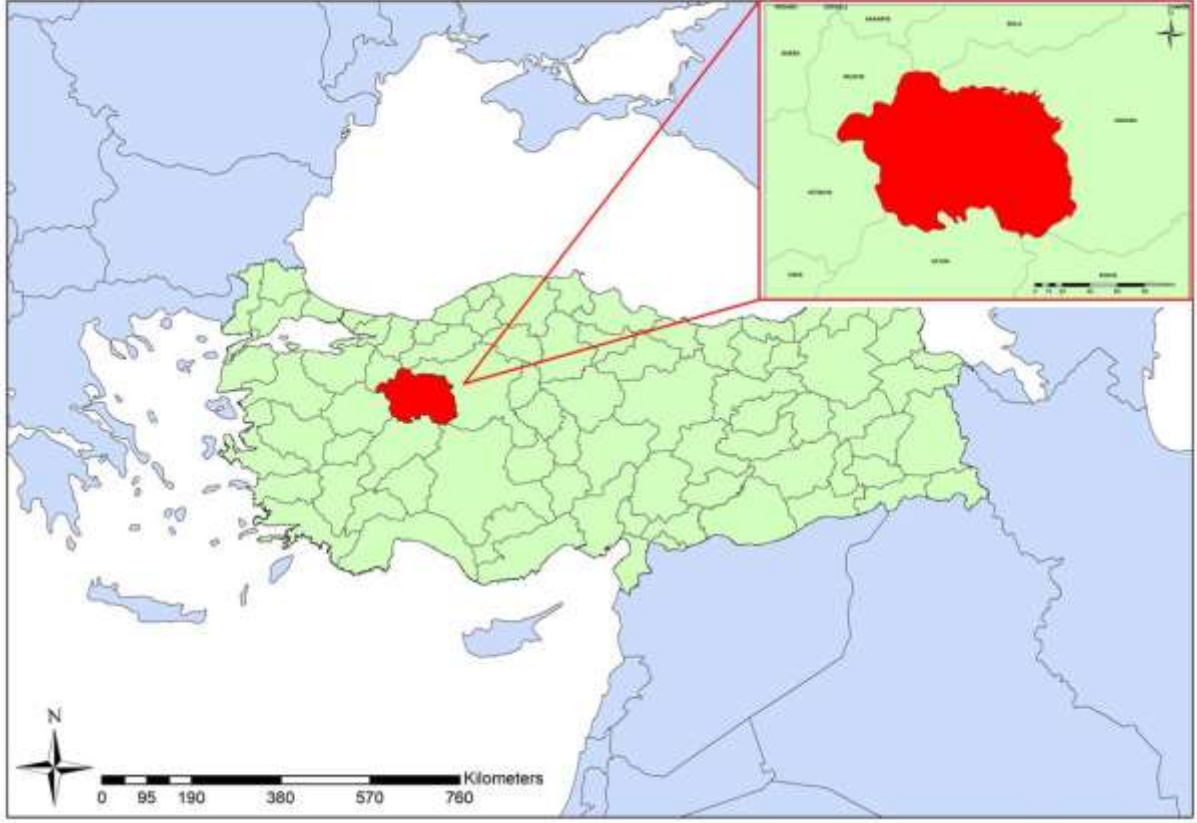
## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan verileri üç ana başlık altında toplamak mümkündür. Bunlardan ilki hidrolojik verilerdir. Hidrolojik veriler bölgeye ait akarsulardaki akım gözlem istasyonlarından elde edilen debi değerleridir. Bu veriler Eskişehir’de bulunan Devlet Su İşleri 3. Bölge Müdürlüğü’nden elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan bir diğer veri tipi ise çalışma bölgesindeki elektrik santrallerine ait enerji ve karbon salınımları verileridir. Bu veriler Türkiye İstatistik Kurumu ve T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerinden elde edilmiştir. Ayrıca çalışma alanı olarak seçilen Eskişehir bölgesinde konumsal analizlerin yapılabilmesi için bölgeye ait sayısal haritalar Harita Genel Komutanlığı’ndan elde edilmiştir.

### 2.1. Çalışma Alanı

Hidroelektrik ve termik enerji santrallerinin karbon salınımına etkisini ortaya koymak için inceleme bölgesi olarak Eskişehir ili seçilmiştir (Şekil 3). Eskişehir, Türkiye’nin İç Anadolu Bölgesinde bulunan 2020 yılı itibariyle 887,475 nüfusa sahip bir şehirdir. Şehirde sanayi son yıllarda oldukça gelişmiştir. Bu durum bölgenin elektrik enerjisine olan ihtiyacın da son yıllarda sanayi ve nüfustaki gelişmeyle birlikte doğru orantılı olarak artmaktadır.

Eskişehir’de toplam 17 adet elektrik enerji santrali bulunmaktadır (Tablo 1). Bunlardan 1’i biyogaz, 2’si hidroelektrik, 3’ü termik ve doğalgaz, 8’i ise güneş enerji santrallerinden oluşmaktadır [11]. Bu santrallerin konumları ve il sınırlarındaki kurulu güç dağılımları Şekil 4.a’da gösterilmiştir. Bu santrallerin il genelinde toplam 558 MW kurulu gücü bulunmaktadır. Toplam kurulu gücün %54,61’ini yenilenebilir enerji kaynakları oluştururken %45,39’unu yenilenemeyen enerji kaynakları oluşturmaktadır. Bu santraller atmosfere yılda ortalama 1 GWh başına toplam 215 ton CO<sub>2</sub> sera gazı salınımı yapmaktadır. Santrallerin il sınırları genelindeki dağılımları Şekil 4.b’de gösterilmiştir.

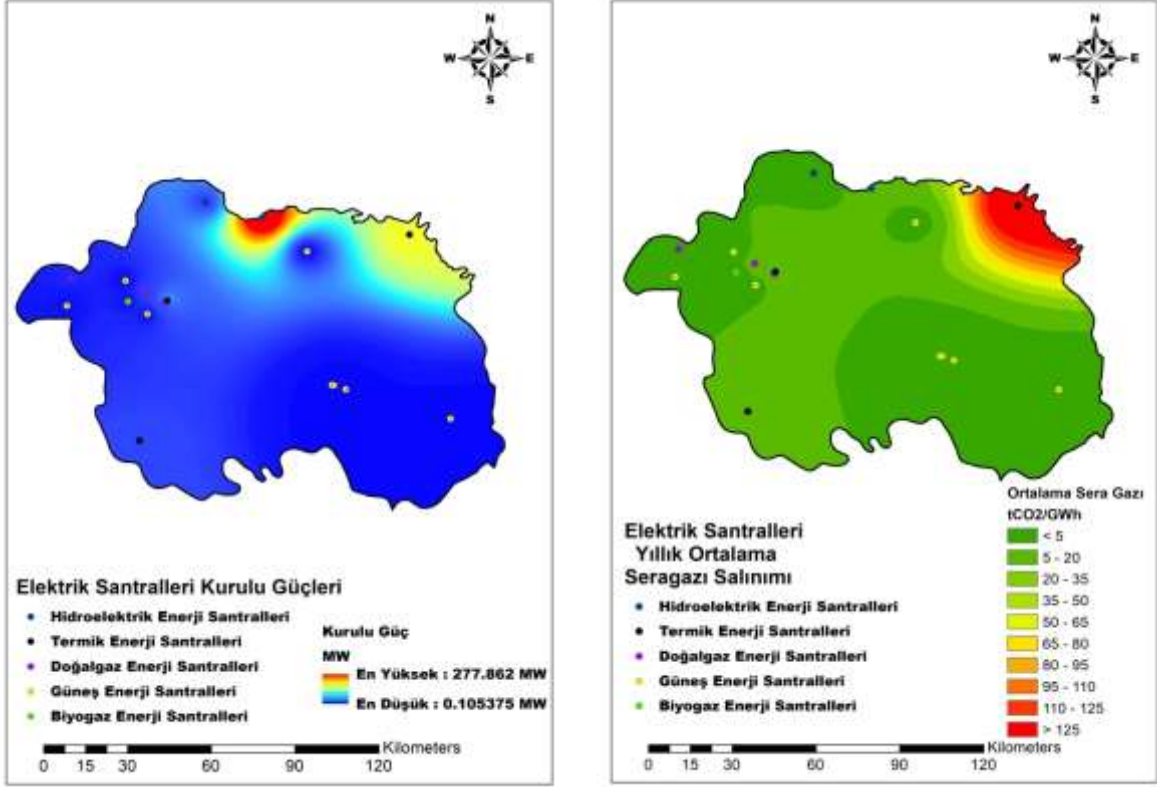


Şekil 3. Çalışma alanının konumu

Tablo 1. Eskişehir ilindeki elektrik enerjisi üreten santraller [11]

Koordinat		Santral İsmi	Kurulu Güç (MW)	Ortalama Sera Gazı Salınımı (tCO <sub>2</sub> )
x (m)	y (m)			
330771	4433315	Gökçekaya HES	278	6.394
383372	4426858	Yunus Emre Termik Santrali	145	152.830
296630	4402909	Eskişehir OSB Termik Santrali	59	29.441
286633	4351880	Kırka Bor Termik Santrali	18	11.088
310267	4438842	Beyköy HES	17	0.442
289148	4406011	Şeker Fabrikası Doğalgaz Santrali	16	7.984
261989	4411097	İnönü Kojenerasyon Tesisi	6.92	3.453
295988	4402213	*Doğalgaz Santrali	6.31	3.149
282487	4402522	*Biyogaz Santrali	2.04	0.053
356207	4372053	Çayören GES	2	0.046
355494	4372105	*GES1	2	0.046
260651	4401020	*GES2	1.82	0.042
398038	4359835	Günyüzü GES	1.76	0.041
360473	4370539	Söğütlüözü GES	1	0.023
289439	4398035	*GES3	0.97	0.022
281606	4410076	Tepebaşı Belediyesi GES	0.097	0.002
346669	4420766	Beylikova Belediyesi GES	0.071	0.002

**Not:** Yukarıdaki tabloda isimleri verilen bazı tesislerin özel firmalara ait olması sebebiyle ismi açıklanmayıp \* ile gösterilmiştir.



**Şekil 4. a)** Eskişehir ili elektrik santrallerin kurulu güçleri (MW) **b)** Eskişehir ili elektrik santrallerinin yıllık ortalama sera gazı salınımları (tCO<sub>2</sub>/GWh)

Yıllık ortalama toplam sera gazı salınımlarının sadece %3.28'i yenilenebilir enerji kaynaklarından %96.72'sinin ise yenilenemeyen enerji kaynaklarından olduğu göz önüne alındığında küresel ısınma ve hava kirliliği problemlerinin ortaya çıkmasında Eskişehir'in de payı olduğu açıktır. Tükenebilir enerji kaynaklarında %96.72'lik sera gazı salınım payı içerisinde termik santrallerin yeri %89.91 ile ilk sıradadır.

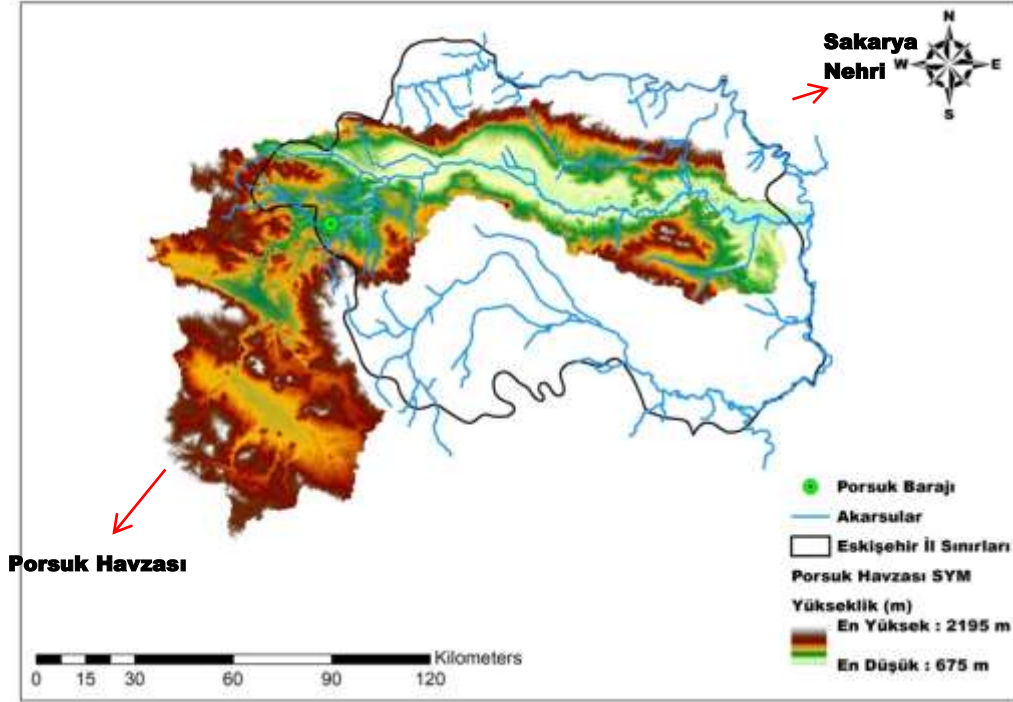
Bu çalışmada Eskişehir ilinde yıllardır taşkın, sulama ve içme-kullanma suyu olarak faydalanılan Porsuk barajının bir HES'e dönüştürülmesi sonucu beklenen kurulu güç ve sera gazı azaltımı incelenerek belli bir kurulu güçteki bir HES'in ne kadarlık bir sera gazı salınımı azaltımı yapılacağı araştırılmıştır.

## 2.2. Metot

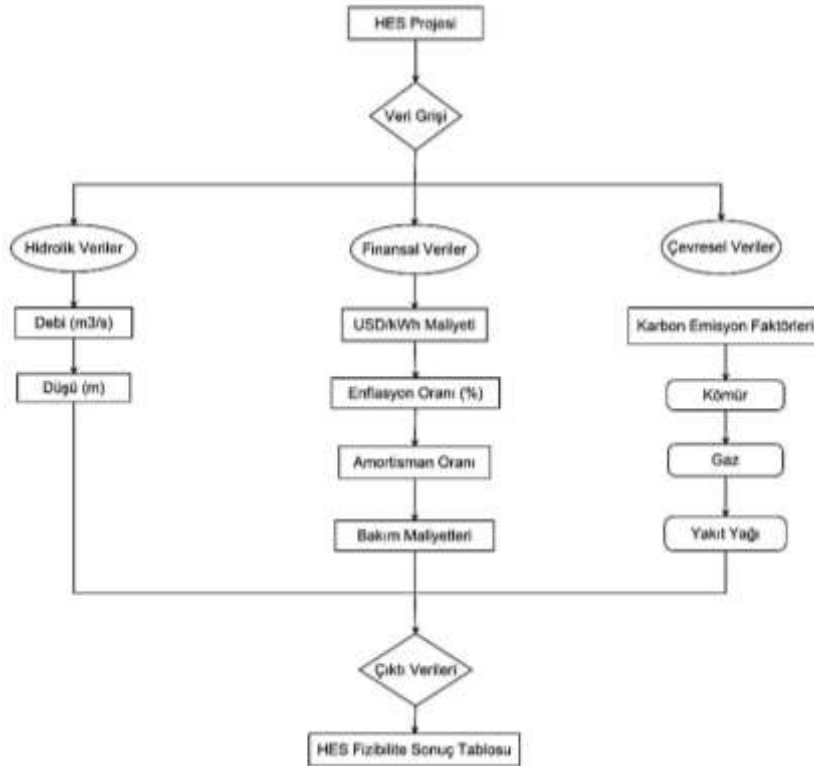
Eskişehir ilinde bulunan su kaynakları incelendiğinde birçok küçük ölçekli HES planlaması yapılabileceği görülmüştür. Bununla ilgili yapılan bir çalışmada toplam 6.30 MW kurulu güçte bir planlama yapılabileceğini ortaya koyulmuştur [12]. Bölgedeki en büyük ve en önemli barajlardan birisi Porsuk barajıdır. Barajın konumu Şekil 5'te verilmiştir. Porsuk barajı 1972 yılından beri bölgede taşkın, sulama ve içme-kullanma suyu amaçlı çalışan bir barajdır. Bu barajdan elde edilecek elektrik enerjisi ve barajın toplam kurulu gücü bu çalışma kapsamında diğer çalışmalardan farklı olarak sera gazı azaltımı açısından da değerlendirilmektedir. Bu amaç için SIMAHPP 5 Professional paket programı kullanılmıştır [13].

SIMAHPP5 Professional, hidrolik, finansal ve çevresel parametreleri kullanarak hidroelektrik enerji santrali projelerinin simülasyonu ve değerlendirmesini yapmak için kullanılan bir ön fizibilite analiz programıdır. Yazılım Windows işletim sistemi tabanlı özel bir şirkete ait bir programdır. SIMAHPP 5, uluslararası alanda danışmanlar, araştırmacılar ve türbin üreticileri tarafından kabul görmüş ve sıklıkla kullanılan profesyonel bir yazılımdır.





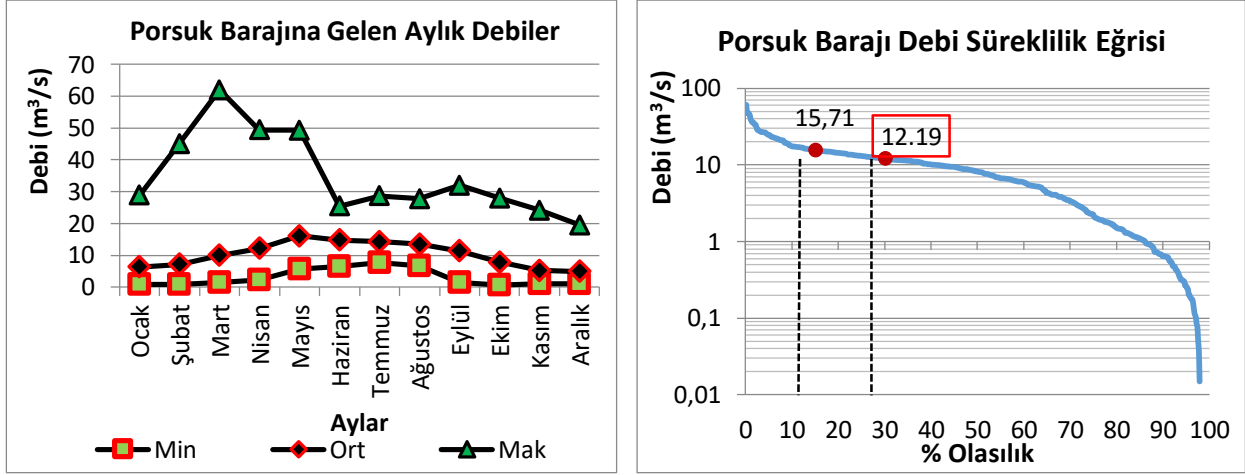
Şekil 5. Porsuk barajının il sınırlarındaki konumu



Şekil 6. SIMAHPP 5 Professional akış diyagramı [14]

SIMAHPP Professional, dizayn akışını belirlemek ve uygun hidro türbinleri seçmek, yıllık enerji üretimini en üst düzeye çıkarmak, enerji gelirini belirlemek, yatırım ve bakım maliyetlerini tahmin etmek, amortisman oranlarını belirlemek, bir yıl içinde çalışma süresini optimize etmek, Net Bugünkü Değer (NPV), İç Verim Oranı (IRR), geri ödeme süreleri ve projenin karbon emisyonunun azaltılmasının yanı sıra planlanan hidroelektrik projesi faaliyete geçerse karbon piyasası geliri potansiyeli gibi bir çok yönü bulunan çok opsiyonlu bir simülatördür (www.hydroxpert.com). Yazılım,

birden fazla Hidroelektrik santrali projesini analiz edebilecek kapasitededir. Yazılım analizlerini yapabilmesi için analiz, 3 farklı veri girişine ihtiyaç duymaktadır. Bu parametreler hidrolik, finansal ve çevresel parametrelerdir (Şekil 6). Yazılımda ilk veri girişi Hidrolik parametrelerdir. Bu parametreler baraj sahasına gelen günlük, aylık veya yıllık debi değerleri olarak girilebilmektedir. Yazılıma günlük debi değeri girilecekse, 365 değer, aylık debi değerleri girilecekse, 12 debi değeri, yıllık debi değeri girilecekse sadece 1 debi değeri girilmesi yeterlidir. Bu çalışmada Porsuk barajına gelen aylık ortalama debiler hidrolik parametre olarak girilmiştir (Şekil 7). Literatürde, hidroelektrik enerji hesaplarında, kurulu güç için  $Q_{50}$  ve maksimum tasarım debisi  $Q_{15}$  olarak verilmiştir. Başlangıç tasarım debisi, zamanın %15-%30'a karşı gelen değer olarak alınabileceği ifade edilmektedir [15-17]. Bu çalışmada dizayn debisi  $12.19 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. Porsuk barajına gelen aylık ortalama debiler

Ayrıca bu bölümde suyun düşeceği net yükseklik Porsuk barajı için 40 metre olarak girilmiştir. SIMAHPP 5 programının hidroelektrik güç üretimi Denklem 1'de verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P = \eta * g * Q * H_{net} \quad (1)$$

Burada;

$P$ : Hidroelektrik güç üretimi (kW)

$\eta$ : Toplam verim katsayısı (%90)

$g$ : Yer çekimi ivmesi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ )

$Q$ : Dizayn debisi ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$H_{net}$ : Net düşü yüksekliği (yersel ve sürekli enerji kayıpları ihmal edilmiştir)

Yazılıma ikinci veri girişi olarak finansal parametreler girilir. Bu bölümde kWh başına yatırım maliyetleri, yıllık veya aylık amortisman planı gibi veriler girilmektedir. Bu baraj Türkiye'de bulunduğu için ülkenin finansal parametreleri göz önünde bulundurularak değerler girilmiştir [18]. Son olarak, çevresel parametreler bölümünde karbon emisyonu Hidroelektrik enerji için diğer kaynaklara kıyasla karbon emisyonu azaltma potansiyelinin hesaplanması için oranlar girilmiştir. Bu oranlar doğal gaz için  $0.5 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ , kömür için  $0.9 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$ , petrol için  $0.65 \text{ kgCO}_2/\text{kWh}$  olarak yazılıma girilmiştir [19]. Bu veriler girildikten sonra analiz tamamlanır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Porsuk barajının HES'e dönüştürülmesi durumunda üreteceği enerji SIMAHPP 5 Professional yazılımı ile analiz edilerek karbon emisyon salınımına etkisi araştırılmıştır. Porsuk barajının yıllık üreteceği elektrik miktarı, kurulu güç, türbin tasarım akışı, enerji üretimi, enerji üretimi,

yatırım ve geri ödeme süresi gibi hesaplanan veriler Tablo 2.'de verilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlarda Porsuk barajının toplam yatırım maliyeti  $11.81 \times 10^6$  USD olduğu tahmin edilmiştir. Ayrıca 12.19 m<sup>3</sup>/s'lik bir dizayn debisinde 4.31 MW kurulu güce sahip olacağı bulunmuştur. Bu değer Porsuk HES projesi için DSİ planlamalarında yer alan 4.61 MW kurulu güce yakın çıktığı görülmüştür. Barajın yıllık enerji getirisi  $1.024 \times 10^6$  USD olduğundan kendi maliyetini geri ödeme süresi barajların uzun ekonomik ömürlerinin yanında 14 yıl gibi kısa bir süre olarak ortaya çıkmıştır.

**Tablo 2.** SIMAHPP 5 Professional yazılımına göre Porsuk Hidroelektrik Santralının proje karakteristikleri

Project karakteristikleri	Porsuk HES
Net düşü (m)	40.000
Dizayn debisi (m <sup>3</sup> /s)	12.19
Tasarım çalışma süresi (%)	40
Güç üretimi (kW)	4,305.020
Enerji üretimi (kWh/year)	597,853,969.200
Enerji geliri (USD/year)	1,024,739.96
<b>Emisyon azaltımı (tCO<sub>2</sub>/year-Coal)</b>	<b>9,050.874</b>
<b>Emisyon azaltımı (tCO<sub>2</sub>/year-Gas)</b>	<b>3,016.958</b>
<b>Emisyon azaltımı (tCO<sub>2</sub>/year-Fuel)</b>	<b>4,827.133</b>
Ortalama Karbon piyasa değeri (USD/year)	34,146.614
Yatırım maliyeti (USD)	11,814,170.51
kW başına yatırım maliyeti (USD/kW)	2,744.277
kWh başına yatırım maliyeti (USD/kWh)	0.784
Bakım ve işletme giderleri (USD/year)	141,770.046
Net bugünkü değer (USD)	1,105,535.764
İç verim oranı (%)	6
Geri ödeme süresi (years)	14
Amortisman planı (yearly)	80,757.795
Önerilen türbin tipi	Francis
Kur oranı (17.02.2020) 1 EUR/USD	1.11

Türkiye'nin 1990 yılından bu yana karbon emisyonlarını %110 oranında arttırdığı belirtilmektedir [20]. Birleşmiş Milletlere sunulan raporda bu artışın hızlanarak devam etmesi öngörülmektedir [21]. Ancak Türkiye ve Sabancı Üniversitesi İstanbul Politikalar Merkezinin hazırladığı raporda ülkemizin ekonomik büyümeyi sürdürerek karbon emisyonlarını azaltabileceği belirtilmiştir [22]. Bu bağlamda hidrolik enerji gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanarak hem ekonomik büyüme sürdürülebilir hem de karbon emisyonu azaltılabilir. Bu nedenle burada yapılan çalışmada ele alındığı gibi hidroelektrik enerji santrallerinin enerji ve ekonomi politikalarına Bu çalışmada yapılan analizler sonucunda yıllık 597 GWh'lık bir enerji üretiminin termik santraller yerine bir hidroelektrik enerji santralinden üretilmesi durumunda ne kadarlık bir emisyon azaltımı yapacağı ortaya konulmuştur. Aynı miktarda enerji üretimi için çalışmada incelenen Porsuk barajı kömür yakıtlı santrallere göre 9,050.874 tCO<sub>2</sub>/yıl, doğalgaz yakıtlı santrallere göre 3,016.958 tCO<sub>2</sub>/yıl, petrol yakıtlı santrallere göre ise 4,827.133 tCO<sub>2</sub>/yıl emisyon azaltımı yaptığı görülmektedir (Tablo 2). Türkiye dünya karbon piyasalarında yer almamasına rağmen içerisinde oluşturmuş olduğu gönüllü karbon piyasalarında 2011 yılı itibariyle 95 milyon ton CO<sub>2</sub> hacminin değeri 576 milyon dolar olarak belirtilmektedir [23]. Türkiye'de gönüllü karbon piyasalarında geliştirilen projeler ve emisyon azaltımları incelendiğinde 2018 yılına kadar 159 hidroelektrik projesinden 8,747,634 ton CO<sub>2</sub>/yıl sera gazı azaltımı olmuştur [24]. Bu çalışmada Porsuk barajından sağlanan emisyon azaltımının gönüllü karbon piyasasındaki ortalama değeri 34,146 USD/yıl olacaktır. Bu durum sürdürülebilir ekonomi ve çevre politikaları açısından ülkemize değer kazandıracaktır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Türkiye'de son yıllarda yerli turizmin gözde şehirlerinden olan Eskişehir ilinin elektrik enerji santrallerinin durumu ortaya konmuştur. Yapılan araştırmada mevcut durumda Eskişehir ilinde

toplam 558 MW kurulu gücün %54.61'ini yenilenebilir enerji kaynakları, %45.39'unu ise tüketilebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır. Buna rağmen yıllık ortalama sera gazı salınımlarının sadece %3.28'i yenilenebilir enerji kaynakları kullanımından geri kalanı ise yenilemeyen enerji kaynakları kullanımından kaynaklandığı görülmüştür. Bu durum yenilenebilir enerji kaynaklarının özellikle çevreci yönüyle öne çıktığı sonucunu getirmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri de hidroelektrik enerji santralleridir. Çalışmada, araştırma yapısı olarak seçilen Porsuk barajının hidroelektrik enerji üretiminin yanı sıra karbon emisyonu azaltımına etkisi detaylı olarak incelenmiştir. SIMAHPP 5 Professional yazılımı yardımıyla yapılan analizlerde 4.31 MW'lık bir kurulu güce sahip Porsuk barajının ürettiği enerjinin kömür, gaz ve petrol gibi fosil kaynakları kullanan bir termik santralden üretilmesi durumunda ortalama 5,5631.55 tCO<sub>2</sub>/yıl karbon emisyonu azaltımı sağlayacağı görülmüştür. Ayrıca çalışmanın ekonomik boyutu değerlendirildiğinde barajdan üretilen enerjinin sağladığı karbon salınımı azaltımından 34,146 USD/yıl değerinde bir karbon piyasa değeri olacaktır. Böylelikle bu çalışmayla birlikte hidroelektrik santrallerin termik santrallere kıyasla küresel ısınmanın önlenmesi konusunda çevreye ve ülke ekonomisine yaptığı katkı tartışmasız bir şekilde ortaya konulmuştur.

### **Yazarların Katkısı**

Bu makaledeki tüm katkı yazara aittir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Bayraç H.N. 2009. Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğalgaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma. Eskisehir Osmangazi University, Journal of Social Sciences, 10 (1): 116-142.
- [2] ExxonMobil. 2019. Outlook for Energy: A Perspective to 2040.
- [3] Liu F., Duncan B.N., Krotkov N.A., Lamsal L.N., Beirle S., Griffin D., McLinden C.A., Goldberg D.L., Lu Z. 2019. A methodology 1 to constrain carbon dioxide emissions from coal-fired power plants using satellite observations of co-emitted nitrogen dioxide. Atmospheric Chemistry and Physics: Discussions., <https://doi.org/10.5194/acp-2019-521>.
- [4] Gai Z., Zhao J., Zhang G. 2018. Typical calculation and analysis of carbon emissions in thermal power plants. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 128 (2018): 012176.
- [5] Mozazzem S., Rasul M.G., Khan M.M.K. 2012. A Review on Technologies for Reducing CO<sub>2</sub> Emission from Coal Fired Power Plants. Thermal Power Plants Book. Intechopen, DOI: 10.5772/31876.
- [6] WCA (World Coal Association). 2020. Coal's role in the electricity generation worldwide. (Erişim Tarihi: 11.02.2020).
- [7] ALA (American Lung Association). 2011. Toxic Air: The Case for Cleaning Up Coal-Fired Power Plants. Report.
- [8] Janssens-Maenhout G., Crippa M., Guizzardi D., Muntean M., Schaaf E., Dentener F., Bergamaschi P., Pagliari V., Olivier J.G.J., Peters J.A.H.W., van Aardenne J.A., Monni S., Doering U., Petrescu A.M.R. 2017. EDGAR v4.3.2 global atlas of the three major greenhouse gas emissions for the period 1970–2012. Earth Syst. Sci. Data Discuss., doi: 10.5194/essd-2017-79.
- [9] Shindell D., Faluvegi G. 2010. The net climate impact of coal-fired power plant emissions. Atmos. Chem. Phys., 10, 3247-3260.

- [10] International Hydropower Association (IHA). 2019. Hydropower Status Report: Sector Trends and Insights, <https://www.hydropower.org/download/file/nojs/21571>. (Erişim Tarihi: 20.02.2020).
- [11] Enerji Atlası. 2020. Eskişehir Elektrik Santralleri. <https://www.enerjiatlası.com/sehir/eskisehir/> (Erişim Tarihi: 15.02.2020).
- [12] Bakış R., Bilgin M., Tuncan A., Altan M. 2009. Porsuk Havzasındaki Çok Amaçlı Barajlardan Elektrik Üretiminin Araştırılması. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. XXII: 2.
- [13] Hydro Xpert Technology. 2019. SIMAHPP 5 Professional- Windows Based Software.
- [14] Koç C., Bayazıt Y., Bakış R. 2016. A Study on Determining the Hydropower Potential of Çine Dam in Turkey. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 5: 79-85.
- [15] Bayazıt M. 1985. Hidroloji, ITU, İstanbul.
- [16] Yanmaz A.M. 2006. Applied Water Resources Engineering. METU, Ankara, 1-606.
- [17] Gupta R.S. 2001. Hydrology and Hydraulic Systems. Second Edition, University, Bristol, 1- 867.
- [18] EPİAŞ, 2020. Genel Raporlar, Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (Erişim Tarihi: 16.01.2020).
- [19] Parliamentary Office of Science and Technology (POST) 2019. Carbon footprint of electricity generation, 268. <https://www.parliament.uk/documents/post/postpn268.pdf> (Erişim Tarihi: 20.07.2019).
- [20] INDC. 2020. Intended Nationally Determined Contributions, United Nations Convention on Climate Change. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/nationally-determined-contributions-ndcs/nationally-determined-contributions-ndcs> (Erişim Tarihi: 27.01.2021).
- [21] WWF. 2020. Türkiye Sera Gazı Emisyonlarını Azaltarak da Büyümeye Devam Edebilir, <https://www.wwf.org.tr/?4620> (Erişim Tarihi: 27.01.2020).
- [22] WWF-İPM. 2015. Türkiye için Düşük Karbonlu Kalkınma Yolları ve Öncelikleri. Rapor, İstanbul. [http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/20151007\\_turkiye\\_icin\\_duuk\\_karbonlu\\_kalknma\\_yollar\\_ve\\_öncelikleri\\_rapor.pdf](http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/20151007_turkiye_icin_duuk_karbonlu_kalknma_yollar_ve_öncelikleri_rapor.pdf) (Erişim tarihi: 27.01.2021).
- [23] Republic of Turkey: Ministry of Environment and Urban. 2012. Carbon Markets in Turkey. [http://www.yegm.gov.tr/iklim\\_deg/document/karbon\\_piyasasi.pdf](http://www.yegm.gov.tr/iklim_deg/document/karbon_piyasasi.pdf) (Erişim Tarihi: 16.01.2020)
- [24] Gurbuz C., Karatas O.N., Bekci I. 2019. A Research on Carbon Trade and Carbon Accounting Applications in the World and Turkey. Mehmet Akif Ersoy Journal of Social Sciences Institute, 11 (28): 424-438.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Yumurta Kabuğu Takviyeli Polimer Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi**

Mehmet Emin DENİZ<sup>1\*</sup>, Abdurrahim GÜNEŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Batman Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 72100, Batman, Türkiye

<sup>2</sup>Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 72100, Batman, Türkiye  
(ORCID: 0000-0003-1898-1161) (ORCID: 0000-0003-4653-8888)

---

### **Öz**

Bu çalışmada, RTV 2 (İki Kimyasal Bileşenli, Oda Sıcaklığında Donan) silikon kalıplara döküm yoluyla üretilmiş yumurta kabuğu takviyeli epoksi esaslı kompozit numunelerin mekanik davranışları incelenmiştir. Test numuneleri, saf epoksi ve epoksi reçineye ağırlık oranının %5, %10, %20, %30 ve %40 yumurta kabuğu tozu takviye edilerek ASTM-D638 ve ASTM-D790 standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Daha sonra bu kompozit numuneler, çekme ve üç nokta eğilme testlerine maruz bırakılmıştır. Yapılan testler sonucunda en iyi çekme mukavemeti yumurta kabuğu tozunun ağırlık oranının %5 takviyesinde elde edilmiştir. Takviye elemanın ağırlık oranı %5'ten %40'a artırılırken çekme mukavemetinde çok ciddi düşüşler gözlemlenmiştir. Eğilme davranışı için yapılan üç nokta eğilme testlerinde ise yumurta kabuğu tozunun ağırlıkça %20 takviye oranında kullanılması ile en yüksek mukavemet elde edilmiştir. Takviye elemanının ağırlık oranı %20'den fazla eklendiğinde kompozit numunenin eğilme mukavemetinde düşüşler meydana gelmiştir. Sonuç olarak yumurta kabuğu takviyeli polimer esaslı kompozit numunelerin çekme ve eğilme davranışlarının ağırlıkça takviye oranına göre önemli şekilde değiştiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Çekme testi, Epoksi reçine, Üç nokta eğilme testi, Yumurta kabuğu.

---

## **Investigation of Mechanical Behavior of Egg Shell Reinforced Polymer Composites**

---

### **Abstract**

In this study, mechanical behavior of eggshell reinforced composite specimens which is produced by casting into RTV 2 (Two Chemical Component Room Temperature Vulcanizing) silicone molds based on epoxy was investigated. Test specimens were prepared by reinforcing 5%, 10%, 20%, 30% and 40% eggshell powder by weight to epoxy and pure epoxy resin according to ASTM-D638 and ASTM-D790 standards. After that these composite specimens were subjected to tensile and three-point bending tests. In the results of the tests, the best tensile strength was obtained by reinforcing 5% of the weight ratio of eggshell powder. But, increasing the weight ratio from 5% to 40% very significant reductions in tensile strength were observed. In the three-point bending tests for the bending behavior, the highest strength was obtained in 20% by weight reinforcement of eggshell powder. Adding more than 20% of the weight ratio of the reinforcing element, the bending strength of the composite specimens has been decreased. As a result, it has been observed that the tensile and bending behavior of eggshell reinforced composite specimens based on polymer have been significantly changed according to the reinforcement ratio by weight.

**Keywords:** Tensile test, Epoxy resin, Three-point bending test, Eggshell.

---

### **1. Giriş**

Günümüzde gelişen teknoloji ve endüstriden kaynaklanan rekabet ve yeryüzü kaynaklarının hızlı tüketilmesi sonucu olarak alternatif malzemelere yönelme ihtiyacı doğmuştur. Atık malzemelerin geri dönüşümü veya bir amaç doğrultusunda istenilen özellikleri kazandırmak için farklı malzemelerin bir

---

\*Sorumlu yazar: [mehmetemin.deniz@batman.edu.tr](mailto:mehmetemin.deniz@batman.edu.tr)  
Geliş Tarihi: 06.12.2020, Kabul Tarihi: 19.04.2021

araya getirilmesiyle yeni malzemeler oluşturulmak gibi yollara başvurulmuştur [1]. Bu çalışmalar neticesinde atık malzemelerin geri dönüşümü ve kompozit malzemeler imalat sektöründe oldukça önemli bir yer tutmaktadır. İki veya daha fazla malzemenin bir araya getirilmesi sonucu istenilen özelliklere ve mekanik dayanıma sahip malzemelerin üretilmesi amaçlanmıştır. Ülke genelinde her yıl yaklaşık 16 milyar tane yumurta tüketilmektedir. Yumurta kabuğunun ortalama ağırlığı 6 gr ve buna bağlı olarak tonlarca çevreyi kirletici yumurta kabuğu atığı oluşmaktadır. Oluşan bu yumurta kabuğu atıkları zamanla çevreyi kirletici ve tehlikeli bir madde haline gelmektedir. Aynı zamanda rahatsız edici kokular da yaymakla beraber doğada yok olma süreleri oldukça zaman almakta ve yaşam alanlarımız için tehdit haline gelebilmektedir. Yumurta zarının içerisinde bulunan yüksek miktardaki protein çürüyerek zehirli hale gelmekte ve etrafa kötü kokular yaymaktadır. İnsan sağlığını tehdit eden bu atıkları bertaraf etmek oldukça zor ve maliyetli olduğundan değerlendirilmesi gereken bir kaynak malzemesi haline gelmiştir. Günümüzde birçok ülkede yumurta kabuğu atığı ve yumurta kabuğunun içerisindeki protein içerikli ince zar ile kozmetik ve gıda alanında kullanılan ürünler üretilmektedir. Ve böylelikle doğal kaynaklar korunup atık miktarı azaltılabilir. Ayrıca enerji tasarrufu ve ekonomik fayda sağlanmış olur. Mevcut çalışmanın önemine odaklanmak amacıyla konuyla ilgili daha önce yapılmış bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Kompozit malzemelerin dolguları genellikle katı halde bulunur ve polimer matrisi ile karışmaz. Dolgu maddeleri, polimerlerin mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için farklı oranlarda kullanılmaktadır. Dolgu maddeleri, lifli ve levha benzeri şekillerde düzensiz malzemeler olarak tanımlanabilir [2]. Günümüzde dolgu maddeleri esas olarak, termal stabilite, alev geciktirici ve dayanım gibi çeşitli polimerlerin özelliklerini geliştirmek için kullanılmaktadır [3]. İnorganik dolgular (oksitler, hidroksitler, tuzlar, silikatlar ve madenler) polimerlerin termal genleşme ve kalıp büzülmesini azaltırken lifli dolgular (grafit ve karbon, doğal ve sentetik polimerler) ise polimerin erime viskozitesini azaltmaktadır. Organik dolgu maddeleri, bitki ve hayvanlardan elde edilen atık maddelerin geri dönüşümü ile üretilir. Organik dolgu maddeleri genel olarak düşük yoğunluk ve düşük maliyetli olduklarından polimer esaslı kompozit malzemeler için kullanılmaya uygundur. Nawang ve ark. [4] tarafından nişasta dolgulu polietilen kompozit malzemelerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Artan nişasta oranına bağlı olarak kopma mukavemeti ve kopma uzaması değerlerinin azaldığı ifade edilmiştir. İnorganik dolgu maddesi olarak kullanılan mineral dolgular, genel olarak belirli parçacık boyutlarına göre öğütülerek kullanılmaktadır. Yaygın bir şekilde kullanılan kalsiyum karbonat, çeşitli polimer reçinelerle uyumlu ve ekonomiktir. Adeosun ve ark. [5] farklı oranlarda kalsiyum karbonat dolgu parçacıkların ilavesinde polietilen esaslı kompozit malzemelerin mekanik ve fiziksel etkisini araştırmıştır. Kalsiyum karbonat yüzdesinin artırılmasıyla eğilme gerilmesinin de arttığı görülmüştür. Polimer esaslı kompozit malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi için en yaygın kullanılan inorganik dolgu maddeleri cam, alüminyum oksit ( $Al_2O_3$ ), magnezyum hidroksit ( $Mg(OH)_2$ ), kalsiyum karbonat ( $CaCO_3$ ) parçacıkları ve tabakalı silikatlardır. Kalsiyum karbonat parçacıklarıyla doldurulmuş epoksi reçinenin daha yüksek stabilite ve mekanik dayanıma sahip olduğu He ve ark. [6] tarafından tespit edilmiştir. Yumurta kabuğunun çevre kirliliği üzerinde oluşturduğu etkiyi azaltmak için çeşitli uygulamalar geliştirilmiştir. Genellikle toz haline getirilerek kullanılan yumurta kabuğu iyi bir doğal kalsiyum kaynağı olabilir. Günümüzde yumurta kabuğu, çeşitli uygulamalarda katkı maddesi veya hammadde olarak kullanılmaktadır. Yumurta kabuğunun kullanım alanları özellikle tıbbi ve kozmetik sektörleridir. Sınırlı kemik kusurlarının doldurulması ve kemik büyüme işlemleri için yumurta kabuğu tozu, iyi bir katkı maddesi olarak tercih edilmektedir. Hayvan yemi için katkı maddesi olarak kullanıldığını ifade eden Yoo ve ark. [7], ayrıca yüksek kalsiyum, magnezyum ve fosfor içeriğine sahip yumurta kabuğu, gübre olarak kullanılabileceğini de ifade etmiştir. Mohammadi ve ark. [8], yumurta kabuğu kemik onarımı ve organ nüfuzunda kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Kalsiyum bakımından zengin olan yumurta kabuğu tozu, insan vücudunun kalsiyum ihtiyacını karşılamak için belirli oranlarda un ilave edilerek ekmeğin üretiminde kullanılabilir. Yumurta kabuğu tozu ekmeğin sertlik değerini düşürdüğü ve ekmeğin hacminde artışa neden olduğu görülmüştür [9].

Atık ofis kâğıtları ve yumurta kabuklarından elde edilen kalsiyum karbonat ile yazı tabı kâğıdı üretimi Kılı ve ark. [10] tarafından çalışılmıştır. Piyasada üretilen yazı kâğıdı tabı ile aynı optik özelliklerde ve yırtılma indeksinin daha yüksek olduğu belirtilmektedir. Ve maden kaynaklarından elde edilen kalsiyum karbonata göre çok daha az maliyetle imal edilebildiği görülmüştür. Wei ve ark. [11], biyo-dizel üretimi için katı katalizör üzerine yaptıkları çalışmada, düşük maliyetli katalizör olarak yumurta kabuğu atığını kullanmıştır. Yumurta kabuğu kalsinasyonu ile yüksek aktivite elde etmişlerdir.

Biyo-dizel üretiminde katı katalizör olarak yumurta kabuğunun kullanılması, geri dönüşüm için maliyet ve çevresel etkileri önemli ölçüde azaltacağına yer verilmiştir. Yumurta kabuğunun düşük maliyetli sorbent bileşenine emdirilmesi üzerine Chojnacka [12] yaptığı araştırmada, ezilmiş yumurta kabuklarının diğer emici maddelerle karşılaştırıldığında iyi emilim kapasitesine sahip olduğunu görmüştür.

Kompozit malzeme üretiminde yumurta kabuğu tozu çeşitli amaçlar doğrultusunda, matris malzemesine ilave edilmesi üzerine araştırmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda, yumurta kabuğu tozu kompozit malzeme üzerinde mekanik dayanım, ısı ve elektriksel yalıtım, yanma ve tutuşma hızı, su alma oranı, yüzey pürüzlülüğü gibi parametrelerin incelenmesi hedeflenmiştir. Yumurta kabuğu tozu ilavesinde, kompozit malzemenin ateşe karşı direncinin arttığı, yanma ve tutuşma hızı ise düşmüştür. Kompozit malzemenin su alma özelliği de azalmıştır. Kompozit malzemede, yumurta kabuğu tozu oranının artırılmasıyla çekme dayanımının arttığı ve belirli bir orandan sonra çekme dayanımı da azalmıştır. Ayrıca kopma uzama değeri ve eğilme direnci değerinde de azalmaya neden olmaktadır. Kompozit malzemede yumurta kabuğu tozu oranı arttıkça sertlik değerinin arttığı görülmüştür [13]. Farklı oranlarda eklenen yumurta kabuğu takviyeli epoksi matris ile üretilmiş, kompozit malzemelerin mekanik özellikleri Shashir ve ark. [14] tarafından araştırılmıştır. Bu araştırmada yumurta kabuğunun %20 oranında eklenmesi ile yapılan deneylerde maksimum eğilme dayanımı ve sertliğin elde edildiği belirlenmiştir. Yumurta kabuğu tozu, silisyum karbür ve alüminyum oksit takviyeli, alüminyum matrise sahip kompozit malzemelerin dayanımı incelenmiştir. Yapılan çalışmada, yazarlar takviye elemanlarının ağırlıkça yüzde oranında eklenmesiyle çekme ve akma gerilmesinin belirli bir orana kadar arttığını ve daha sonra azaldığını belirtmektedirler. Yumurta kabuğu tozunun, alüminyum oksit ve silisyum karbürü nazaran çekme ve akma gerilmelerinde daha az etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir [15]. Poliüretan köpük malzemesine farklı oranlarda yumurta kabuğu tozu eklenerek ısı iletim katsayısı ve basma dayanımı Gürlek ve ark. [16] tarafından incelenmiştir. Poliüretan köpük malzemesine farklı oranlarda eklenen yumurta kabuğu tozu, basma dayanımını aşamalı artırdığını ve ısı iletim katsayısını çok az artırdığını tespit etmişlerdir. Düşük yoğunluklu polietilen/yumurta kabuğu tozu kompozit malzemelerin mekanik özelliklerine kimyasal modifikasyonun izohtalik asit ve yumurta kabuğu tozunun %5-25 oranlarında katılması araştırılmıştır [17]. Kompozit malzemenin, yumurta kabuğu tozu içeriğinin artmasıyla kopma uzaması ve mukavemetinin düştüğü görülmüştür. Yazarlar, düşük yoğunluklu polietilen matrisi ile yumurta kabuğu tozu parçacıkların zayıf yapışma durumu oluşturduğunu savunmuşlardır. Raghavendra ve ark. [18] tarafından yumurta kabuğu nano partikülleri takviyelendirilmiş epoksi esaslı biyo kompozitlerin mekanik ve tribolojik özellikleri çalışmıştır. Yazarlar, kabuğun epoksi polimerlerin çekme dayanımında %117, eğilme dayanımında %87 ve erozyon direncinde %67.58 oranında artırdığını belirlemiştir. Polimer kompozit malzemelerin bazı özelliklerini iyileştirmek için düşük maliyetli biyo-fiberler kullanılmaktadır. 100 µm parçacık boyutuna sahip yumurta kabuğunun %5'ten %20' ye kadar artırımı şeklinde epoksi reçineye eklenmesi ile elde edilen numuneler sertlik, darbe, basma, çekme ve eğilme testlerine maruz bırakılmıştır [19]. Özellikle yumurta kabuğunun geleneksel takviye elemanlarına alternatif olarak kullanılabilmesi görülmüştür. Yapılan testler sonucunda elde edilen maksimum dayanım değerleri çekme için %5, eğilme için %15, basma için %20, darbe için %5 ve sertlik direnci için %20 ağırlık oranında yumurta kabuğu kullanılarak elde edilmiştir. Asha ve Sekhar [20] yaptıkları çalışmada, daha iyi basma, darbe ve çekme dayanımları elde etmek için yumurta kabuğu, poliamid ve naylon bileşenlerini kullanmıştır. Bu bileşenlerin farklı oranlarda kullanımı ile elde edilen kompozitler çeşitli otomotiv parçalarının üretiminde kullanılmaktadır. Yumurta kabuğunun ağırlıkça oranı artırıldıkça çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve darbe dayanımı artmıştır. 100 µm ve 150 µm parçacık boyutunda hazırlanmış yumurta kabuklarının %10-40 ağırlık oranlarında cam/epoksi kompozitler için takviyelendirici olarak kullanılması ile elde edilen numuneler çekme ve basma testlerine maruz bırakılmıştır [21]. Yumurta kabuğunun 100 µm parçacık boyutunda %10 ağırlık oranında kullanımı ile numunelerin çekme dayanımında %18 ve basma dayanımında ise %30 iyileştirme gözlemlenmiştir. Golakiya [22] çalışmasında, yumurta kabuğu ağırlık oranı %5'ten %20'e artırıldığında çekme ve eğilme dayanımlarının düştüğünü görmüştür. Genel olarak 20µm parçacık boyutlu kompozit numunelerin 32µm parçacık boyutlu olanlardan daha iyi mekanik özellikler gösterdiği belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda organik ve inorganik dolgu malzemelerinin polimer matrislerin içine katılarak çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilmesini ve bu şekilde çevre temizliğine katkı sağlanabileceği görülmüştür. Bu çalışmalara katkı sunmak ve literatür genişliği sağlamak amacı ile bu

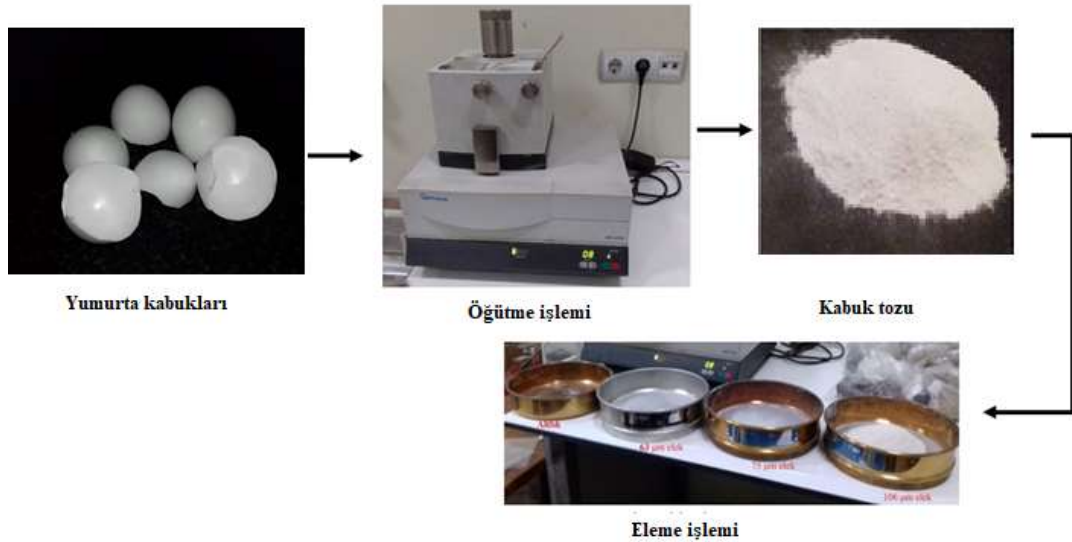


makale hazırlanmıştır. Çalışmada, farklı mikro parçacık boyutlarındaki yumurta kabuğu tozu farklı ağırlık oranlarında epoksi reçineye ilave edilmiştir. Daha sonra hazırlanan numuneler çekme ve üç nokta eğilme testlerine maruz bırakılmıştır. Böylece epoksi reçinenin çekme ve eğilme mekanik özellikleri üzerine kabuk tozu boyutu ve ağırlık oranının etkisi incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yumurta Kabuğunun Elde Edilmesi

Tavuk yumurtasının ortalama ağırlığı 60-80 gr gelmekte ve bu ağırlığın yaklaşık olarak % 6-8'ini oluşturan yumurta kabuğu 0.2 mm-0.4 mm kalınlığında olup oldukça sert bir yapıya sahiptir. Bir tavuğun yumurta kabuğunun ağırlığı 3-6 gr arasında gelmektedir. Marketlerde satılan fabrikasyonla elde edilmiş yumurtaların kabukları suda yüzdürme metodu ile yumurta zarı ve diğer maddelerden arındırılarak 72 saat güneşte kurutulmaya bırakılmıştır. Daha sonrasında Şekil 1'de verilen şematik gösterime göre numune üretimi için kullanılacak olan yumurta kabuklarının mikro parçacık seviyede parçalanma işlemi Retsch RM200 marka küçük taş öğütücü cihazı kullanıldı. Elle küçük parçalara ayrılmış yumurta kabuğu, öğütücüye eklenerek sabit devirde 10 dakika boyunca öğütüldü. Gerekli mikro parçacık boyutlarında kabuk tozlarını temin etmek için Şekil 1'de verilen 63 $\mu$ m, 75 $\mu$ m ve 106 $\mu$ m delik boyutlu elekler kullanıldı. İstenilen boyut için gerekli toz miktarı temin edilinceye kadar işlemler tekrarlandı.



Şekil 1. Yumurta kabuğu elde edilme işleminin safhaları

ASTM-D638 ve ASTM-D790 standartlarına uygun olarak üretilen numuneler için 339.27 gr yumurta kabuğu tozu kullanılmıştır. Yumurta kabuk tozları 106 $\mu$ m, 75 $\mu$ m ve 63 $\mu$ m parçacık boyut parametreleri dikkate alınarak ihtiyaç duyulan kabuk tozu miktarları hesaplanmıştır. Her bir parametreye bağlı kullanılan yumurta kabuğu tozları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Üç nokta eğilme ve çekme testleri için gerekli yumurta kabuk tozu miktarları

Test Boyut	Çekme test numuneleri	Üç nokta eğilme test numuneleri
106 $\mu$ m	45.36 gr	67.73 gr
75 $\mu$ m	45.36 gr	67.73 gr
75 $\mu$ m	45.36 gr	67.73 gr
<b>Toplam</b>	<b>136.08 gr</b>	<b>203.19 gr</b>

## 2.2. Epoksi Reçine ve Sertleştirici

Bu çalışmada, kompozit numune üretiminde, LR300 PROPOX epoksi reçine ve LH300 PROPOX sertleştirici kullanılmıştır. Üretimi gerçekleştirilen bütün numuneler için sertleştirici ve epoksi oranı 1/3 olarak seçilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen kompozit numuneler için kullanılan epoksi+sertleştirici seti Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Epoksi reçine ve sertleştirici

Kompozit numuneleri üretmek için hazırlanan yumurta kabuğu tozu ile epoksi+sertleştirici seti karışımına sabit oranlarda eklenip homojen bir yapı oluşması için tahta bir karıştırıcı yardımıyla karıştırıldı. Daha sonra karışım silikon kalıba dökülerek oda sıcaklığında 5 saat süre ile katılaşması (kürleşme) için bekletildi.

## 2.3. Numuneler İçin Silikon Kalıp Hazırlama

ASTM-D638 ve ASTM-D790 standartlarına uygun olarak üretilecek numuneler için RTV 2 kalıp oluşturma silikonu kullanıldı. Yumuşak ve esnek olması, içerisinde bulunan numuneyi çıkarmaya kolaylık ve tekrar kullanmaya olanak sağladığı için tercih edildi. Ayrıca pürüzsüz yüzeyler ve yumuşak olmasından kaynaklı kullanım kolaylığı sağladığından dolayı bu kalıplama yöntemi tercih edildi. Çekme ve üç nokta eğilme testleri için oluşturulan modeller, 170x20x30 mm boyutlarında bir kaba sabitlendi. Silikonun modellere yapışmasını engellemek için yüzeylerine silikon ayırıcı sprey sürülmüştür. Daha sonra sıvı halde bulunan RTV 2 kalıp silikonuna katalizör eklenerek iyice karıştırılıp, kapta bulunan modellerin üzerine döküldü. Reçine/yumurta kabuğu karışımının kalıp içerisine dökülmesi esnasında numunede oluşabilecek hava boşluklarını önlemek için iki taraftan yolluk açıklığı kalıplarda oluşturuldu. Hazırlanan silikon kalıplar Şekil 3’te gösterilmiştir.



Şekil 3. RTV 2 silikon kalıpları

## 2.4. Kompozit Numunelerin Hazırlanması

Epoksi ile sertleştirici oranı bütün numuneler için sabit tutularak ağırlıkça belirlenen %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında ve 106 $\mu$ m, 75 $\mu$ m, 63 $\mu$ m parçacık boyutlarında yumurta kabuğu tozu eklenmiş karışımlar oluşturulmuştur. Saf reçine ile üretilen, çekme testlerinde kullanılacak olan, köpek kemiği şeklindeki numunenin ağırlığı 14.4 gram ve üç nokta eğilme için dikdörtgen numunelerin ağırlığı ise 21.5 gram olarak ölçüldü. Bu numunelerin ağırlıklarının %5, %10, %20, %30 ve %40 kadar yumurta kabuk tozu kullanılarak çekme ve üç nokta eğilme testlerinde kullanılan birer adet numunenin, ağırlıkça yüzdesine bağlı yumurta kabuğu tozu ilavesinin gramajları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Her bir numune için gerekli olan yumurta kabuğu tozu miktarları

Testler Oranlar	Çekme test numunesi	Üç nokta eğilme test numunesi
%0	-	-
%5	0.72 gr	1.07 gr
%10	1.44 gr	2.15 gr
%20	2.88 gr	4.30 gr
%30	4.32 gr	6.45 gr
%40	5.76 gr	8.60 gr
	<b>Toplam = 15.12 gr</b>	<b>Toplam = 22.57 gr</b>

İlk olarak 106 $\mu$ m parçacık boyutlu yumurta kabuğu tozu kullanılarak matris malzemesine ağırlıkça %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yumurta kabuğu tozu ilave edilmiş karışımlar oluşturulmuştur. Oluşturulan bu karışımın, homojen bir karışım olması için ortalama 6 dakika boyunca tahta kaşık yardımıyla karıştırılmıştır. Karışımda oluşan hava kabarcıklarını, en aza indirmek için 5 dakika bekletilmiştir. RTV 2 silikon kalıpların içine, elde edilen karışımın yapışmasını engellemek ve rahat bir şekilde numunenin çıkartılması için kalıp ayırıcı sprey sürülmüştür. Daha sonra hava kabarcıklarını azaltmak için dinlenmeye bırakılan karışım, RTV 2 silikon kalıplara dökülmüştür. Karışımın küllenmesi için 6-8 saat bekletilmiştir ve daha sonra kalıplardan çıkartılan numunelerin sertleşmesi için en az 72 saat bekletilmiştir.

Şekil 4’te 106 $\mu$ m parçacık boyutundaki, yumurta kabuğu tozu ilave edilmiş ve saf epoksi ile hazırlanmış kompozit numunelerin bazıları verilmiştir. Diğer parçacık boyutları için aynı işlemler tekrarlanmıştır. Daha sağlıklı değerler elde etmek için çekme ve üç nokta eğilme testlerinde kullanmak üzere üçer adet numune üretilmiştir.



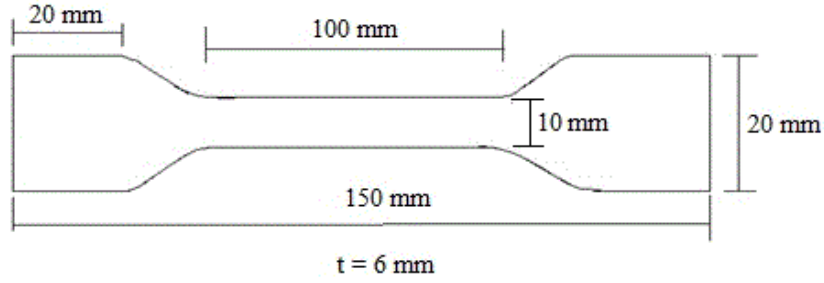
**Şekil 4.** Çekme ve üç nokta eğilme testleri için üretilen bazı numuneler

## 2.5. Deneysel Prosedür

Epoksi reçineye 106 $\mu$ m, 75 $\mu$ m, 63 $\mu$ m parçacık boyutunda, yumurta kabuğu tozu ağırlıkça %0, %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında eklenerek kompozit test numuneleri üretilmiştir. Üretilen numuneler üç nokta eğilme ve çekme testlerine maruz bırakılarak mekanik özellikleri incelendi. Daha sağlıklı sonuçlar elde etmek adına her bir parametreye ait üçer adet numune üretilip test edildi. Test edilen her üç numunenin ortalama değerleri hesaplandı. Maksimum çekme kuvveti, çekme gerilmesi değerleri, eğilme kuvveti ve eğilme gerilmesi değerleri belirlendi.

### 2.5.1. Çekme Testi

Çekme testleri, ASTM-D638 standardına göre gerçekleştirilmiştir. En yaygın kullanılan köpek kemiğine benzer numunelerinin boyutu ve geometrisi Şekil 5'te verilmiştir. RTV 2 silikon kalıplara dökümle elde edilen numunenin uzunluğu (L) 150 mm, kalınlığı (t) ise 6 mm olarak ölçüldü. Üretilen numunelerin bazıları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 5. Çekme test numunesinin geometrisi

Üretimi gerçekleştirilen numunelerin çekme testleri, Şekil 6'da gösterilen 5 kN yük hücreli Shimadzu Marka Üniversal Çekme Test Cihazı kullanılarak 0.5 mm/dak. cihaz çene hızında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Üniversal çekme cihazı ve numune

Çekme testleri sonrasında numunelerin gerilme ( $\sigma_{çekme}$ ) değerleri denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır.

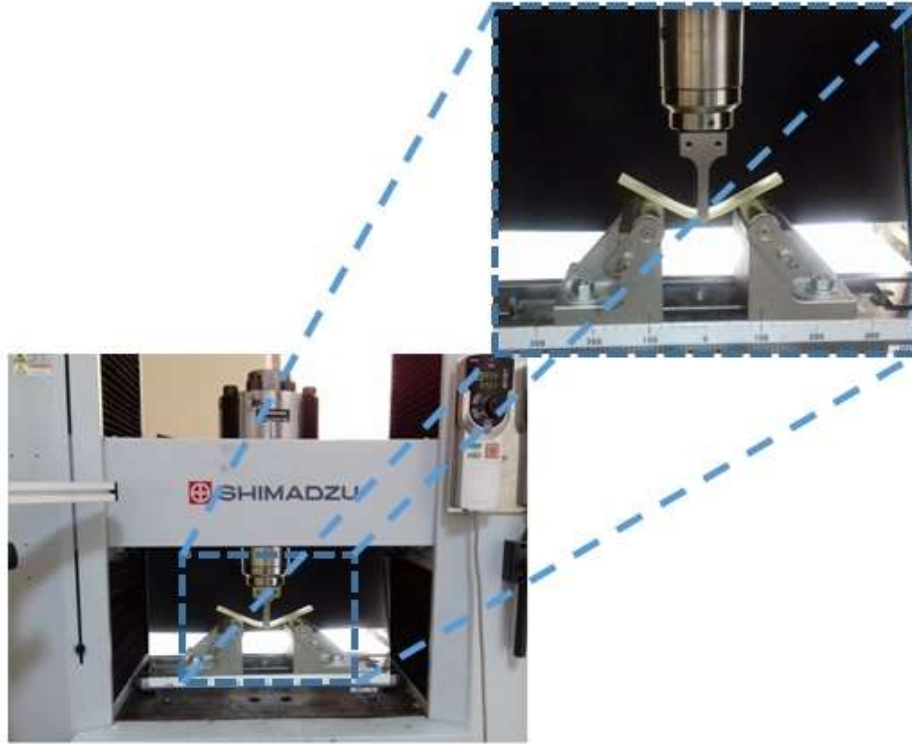
$$\sigma_{çekme} = \frac{F}{A} \quad 1$$

$F$  maksimum kuvvet ve  $A$  kesit alanıdır.

### 2.5.2. Üç Nokta Eğilme Testi

Üç nokta eğilme testleri, ASTM-D790 standardına uygun olarak Shimadzu marka universal test cihazında gerçekleştirildi. Üç nokta eğilme testi için 150x20x6 mm boyutlarında, saf reçine (epoksi+sertleştirici) ve farklı oranlarda yumurta kabuğu tozu ile reçine karışımdan elde edilen kompozit numunelerin bazıları Şekil 4’te verilmiştir.

Eğilme testleri, 0.5 mm/dak. cihaz çene hızında gerçekleştirildi (Şekil 7). Üç nokta eğilme testlerini gerçekleştirmek için test aparatının iki destek arası açıklığı 100 mm olarak ayarlandı. Daha sonra test numunesi iki destek üzerine ortalanarak yerleştirildi. Alt çeneye yerleştirilen dikdörtgen numuneye ortasından eğilme kuvveti uygulandı. Uygulanan kuvvetin etkisi altında numunede eğilme meydana gelmiştir. Eğilmeye başlayan kompozit numune, maksimum eğilme değerine ulaştığında kopma gerçekleşmiştir. Her bir test parametresi için üç numune üretilip test edildi. Test edilen üç numunenin maksimum eğilme kuvvetlerin ortalaması hesaplandı.



Şekil 7. Universal üç nokta eğilme aparatı ve test numunesi

Üç nokta eğilme testlerinde eğilme gerilme ( $\sigma_{eğilme}$ ) değerleri denklem 2 kullanılarak bulunmuştur.

$$\sigma_{eğilme} = \frac{3FL}{2bt^2} \quad 2$$

Bu denklemde  $F$  maksimum kuvvet,  $L$  alt destekler arasındaki mesafe,  $b$  numune genişliği,  $t$  ise kalınlığıdır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

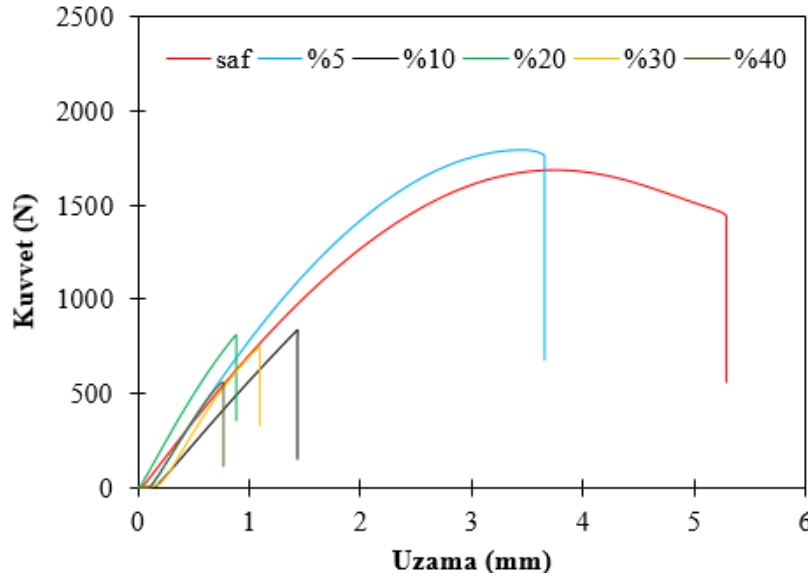
Bu çalışmada, epoksi reçineye ağırlıkça %0, %5, %10, %20, %30, %40 oranlarında 106 $\mu$ m, 75 $\mu$ m ve 63 $\mu$ m parçacık boyutunda yumurta kabuğu tozu takviyeli kompozit numuneler üretilip, test edilmiştir. İlk olarak, sade (%0 katkı oranı) reçine numunelerin testleri daha sonra diğer numunelerin testleri gerçekleştirilmiştir. Burada parçacık takviyeli polimer esaslı numunelerin mekanik davranışını incelemek için çekme ve üç nokta eğilme testleri yapılmıştır. Böylece iki farklı uygulaması olan test yöntemleri ile numunelerin davranışları belirlenmeye çalışılmıştır.

#### 3.1. Çekme Testleri

Sağlıklı sonuçlar elde etmek için her bir parametreye bağlı deney setinde kullanılmak üzere üç numune üretildi. Testlere tabi tutulan kabuk tozu takviyeli kompozit numuneler, kopma işlemi gerçekleşene kadar yüklemeye maruz bırakıldı. Her bir parametreye bağlı üretilen numunelerin test sonucu elde edilen maksimum çekme kuvvet ve gerilmeleri belirlendi.

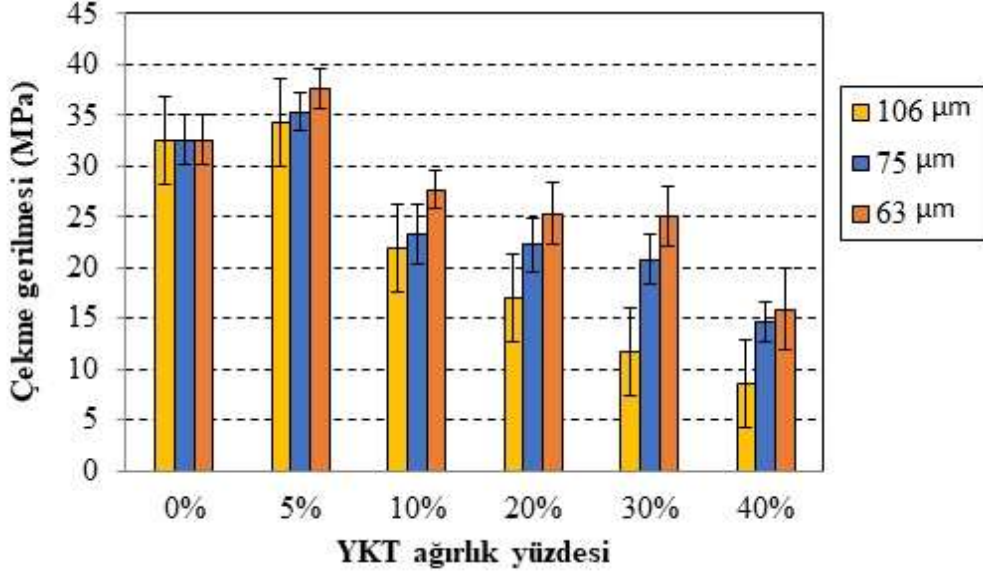
##### 3.1.1. Yumurta Kabuğu Tozunun (YKT) Ağırlık Oranlarının İncelenmesi

Reçineye 106 $\mu$ m, 75 $\mu$ m ve 63 $\mu$ m parçacık boyutlarındaki yumurta kabuğu tozunun %0, %5, %10, %20, %30 ve %40 ağırlık oranlarında eklenmesi ile hazırlanan numuneler çekme testlerine maruz bırakılarak sabit parçacık boyutunda ilave edilen kabuk tozunun yüzde ağırlık etkisi incelenmiştir. Örnek olarak 106 $\mu$ m parçacık takviyeli numunelerin çekme kuvveti-uzama eğrileri Şekil 8’ de verilmiştir. Eğriler incelendiğinde, ağırlıkça %5 oranı ile yumurta kabuğu tozu ilave edilerek hazırlanan kompozit numunelerde maksimum kuvvet ve gerilme değerleri tespit edilmiştir. En düşük değerler ise %40 ağırlık oranı ile üretilen numuneler için elde edilmiştir.



Şekil 8. 106 $\mu$ m YKT ağırlık yüzdesine bağlı kuvvet-uzama eğrileri

Elde edilen test sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi için Şekil 9 ve Şekil 10’da verilen grafikler oluşturulmuştur. Ağırlık yüzdesine bağlı ilave edilen kabuk tozu oranı %0’dan %5’e artırılırken, çekme gerilmesi değerlerinde artış görülmektedir. Ancak yumurta kabuğu tozu oranı %5’ten %40’a doğru artırıldığında çekme gerilmesi değerlerinde kademeli olarak düşüşler olmuştur. Benzer sonuçlar Nawang ve ark. [4] tarafından yapılan çalışmada takviye elemanı olarak kullanılan artan nişasta oranında mekanik özelliklerin düştüğü görülmüştür. Ayrıca Ateş ve Tok [15], takviye elemanlarının ağırlıkça yüzde oranında eklenmesiyle çekme ve akma gerilmesinin belirli bir orana kadar arttığını ve daha sonra azaldığı belirlenmiştir. Benzer sonuçlar Shuhadah ve Supri [17] çalışmasında da elde edilmiştir. Yumurta kabuğu tozunun ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerlerindeki değişim Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. YKT ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerleri

İlave edilen YKT oranı %5'ten fazla eklendiğinde kompozit numunelerde gevrek bir yapı oluşmasına neden olmuştur. Bundan dolayı saf epoksi ile üretilip test edilen numunelerin çekme gerilme değerlerinden daha düşük çekme gerilme değerleri gözlemlenmiştir. Maksimum çekme kuvvetlerindeki bu değişim, epoksi ile yumurta kabuk tozunu bir arada tutan bağlayıcı kuvvetin, artan yumurta kabuk tozu ile zayıf kalmasından kaynaklanmaktadır. Hazırlanan 75µm parçacık boyutundaki YKT takviyeli kompozit numunelerin çekme test sonuçlarında maksimum çekme kuvveti ve gerilme değeri, YKT %5 ağırlık takviyesi oranında ve maksimum çekme kuvveti 1905 N, maksimum çekme gerilme değeri 37.35 MPa elde edildi. 63µm yumurta kabuğu tozunun ağırlık yüzdesine bağlı çekme gerilme değerlerindeki değişimi yorumlandığında, maksimum çekme kuvveti 1918.36 N, maksimum çekme gerilme değeri 37.61 MPa olarak, yumurta kabuk tozunun 63µm boyutunda ve %5 ağırlık takviyesinde elde edildi.

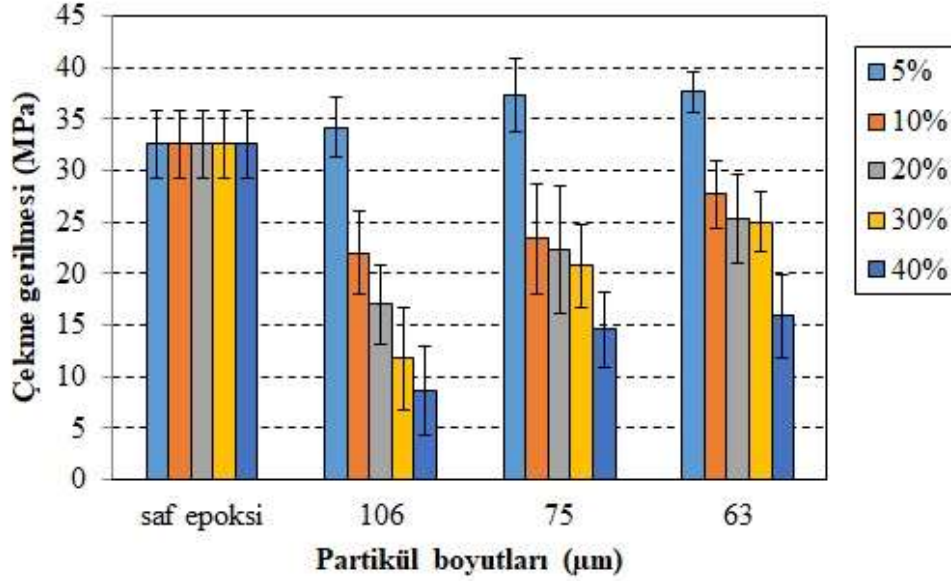
Epoksi reçineye 106µm, 75µm ve 63µm parçacık boyutlarındaki YKT takviyesinin ağırlık oranlarının etkisi incelendi. Yapılan çekme test sonuçlarına göre, üç farklı parçacık boyutundaki numunelerin maksimum çekme kuvveti ve gerilme değerleri, YKT %5 ağırlık oranında ilavesinde elde edilmiştir. Epoksi reçineye 100 µm parçacık boyutuna sahip yumurta kabuğunun ağırlıkça %5 eklenmesi ile maksimum çekme dayanım değerleri elde edilmiştir[19]. Shin ve ark. [21], yumurta kabuğunun 100 µm parçacık boyutunda %10 ağırlık oranında kullanımı ile numunelerin çekme dayanımında %18 iyileştirme yaptığını gözlemlemiştir. Benzer sonuçlar Golakiya [22] tarafından da bulunmuştur. Daha küçük partiküllerin daha geniş spesifik yüzey alanlarından dolayı polimer zincirleriyle maksimum ara yüzey temasına sahip olduğu ve böylece daha yüksek mekanik özellikler gösterebilmektedir.

### 3.1.2. Yumurta Kabuğu Tozunun Parçacık Boyutunun İncelenmesi

Kompozit numunelerin maksimum çekme gerilme değerlerini, daha önce yumurta kabuk tozunun %5 ağırlık oranında ilavesinde elde edilmişti. Burada yumurta kabuk tozunun ağırlık yüzdesi sabit tutularak, mikron metre seviyesindeki boyutları incelenmiştir. Epoksi reçineye, ağırlıkça %5 oranında 106µm, 75µm ve 63µm parçacık boyutlarındaki yumurta kabuğu tozu eklenen numuneler karşılaştırılmıştır.

Yapılan çekme testlerinde maksimum gerilme değerleri, yumurta kabuğu tozunun, %5 ağırlık ilavesi ve 63µm boyuta sahip olan numunelerde elde edildiği Şekil 10'da gösterilmiştir. Ayrıca kabuk tozunun boyutu küçüldükçe gerilme değerlerinin kademeli olarak artış gösterdiği görülmüştür. Tüm kabuk tozu boyutlarında %5 ağırlık oranında üretilen numunelerin testi sonrasında elde edilen gerilme değerlerinin saf epoksi reçine kullanılarak üretilen numunelerin test sonuçlarından daha yüksek elde edildiği görülmüştür. Ağırlıkça %5 yumurta kabuğunun epoksi reçine içerisinde iyi bir şekilde dağılması ve daha iyi bir bağlanma sağlaması nedeniyle gerilme mukavemetinde iyileşme meydana getirmiştir. Parçacık boyutu 100 µm olan kabuğun ağırlıkça %5 ile takviyelendirilmesi ile hazırlanan numunelerin

daha yüksek çekme gerilme değerleri Hameed ve Jassim [19] tarafından yapılan çalışmada da tespit edilmiştir. Yumurta kabuk oranı ağırlıkça %10'dan %25'e artırılması ile çekme gerilme değerleri düşmüştür. Yumurta kabuğunun %10 ağırlık oranında kullanımı ile numunelerin çekme gerilme değerleri %18 artmıştır [21].



Şekil 10. YKT boyutuna bağlı çekme gerilme değerleri

Yumurta kabuğu tozu takviyeli kompozit numunelerde, parçacık boyutunun küçülmesi, epoksi reçine ile yumurta kabuk tozu arasında daha iyi bir ara yüz oluşturmasına ve kavramasına olanak sağlamıştır. Tüm yumurta kabuk tozu boyutları kullanılarak üretilen numunelerin testi sonrasında elde edilen çekme gerilme değerlerinin, saf epoksi reçine kullanılarak üretilen numunelerin test sonuçlarından daha yüksek elde edildiği görülmüştür. Farklı ağırlık yüzdelerinde YKT ile güçlendirilmiş kompozit numunelerin tümünde, yumurta kabuk tozunun parçacık boyutu küçüldükçe çekme gerilme değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Shin ve ark. [21] tarafından yapılan çalışmada 100µm ve 150µm parçacık boyutlarının çekme gerilmelerine etkisi incelendiğinde, 100µm boyutunda daha yüksek gerilme değerleri tespit edilmiştir. Bunun sebebi daha küçük partikül boyutların maksimum yüzey alanlarının reçine polimer tarafından daha iyi ara yüzey teması sağlamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

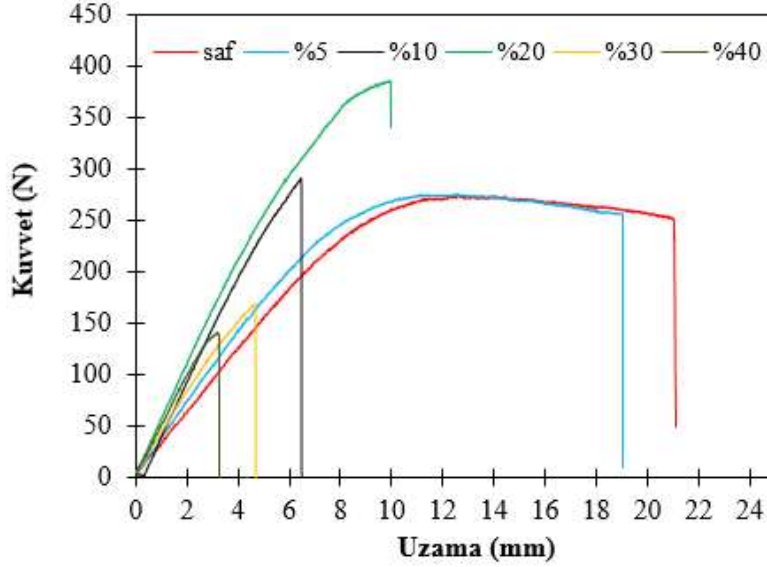
### 3.2. Üç Nokta Eğilme Testi

Eğilme gerilmelerini hesaplamak için ASTM-D790 standardına uygun üretilen numuneler üç nokta eğilme testlerine tabi tutulup, maksimum kuvvet değerleri elde edildi. Öncelikle yumurta kabuk tozunun parçacık boyutu sabit tutularak, kompozit numuneye yumurta kabuk tozunun ağırlıkça yüzde ilavesi etkisi incelendi. Daha sonra maksimum eğilme gerilmesinin elde edildiği YKT takviye yüzdesi sabit tutularak, eklenen YKT boyutu etkisi incelendi.

#### 3.2.1. Yumurta Kabuğu Tozunun Ağırlık Oranının İncelenmesi

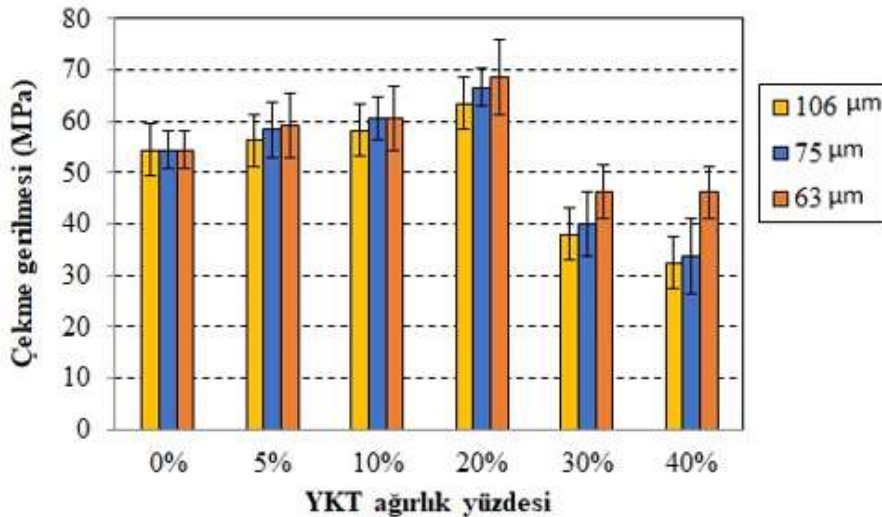
Testlere tabi tutulan kompozit numunelerin, takviye edilen yumurta kabuk tozunun boyutu sabit tutuldu. Kompozit numuneye ilave edilen yumurta kabuk tozunun ağırlık yüzdesi araştırıldı. Saf epoksi ile üretilen numunelerin test sonuçlarıyla karşılaştırıldı. Epoksi reçineye, 106µm boyutundaki yumurta kabuğu tozu ağırlıkça %0, %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında ilave edilerek üç nokta eğilme testlerine ait kuvvet-uzama eğrileri Şekil 11'de verilmiştir.





Şekil 11. 106µm YKT ağırlık yüzdesine bağlı kuvvet-uzama eğrileri

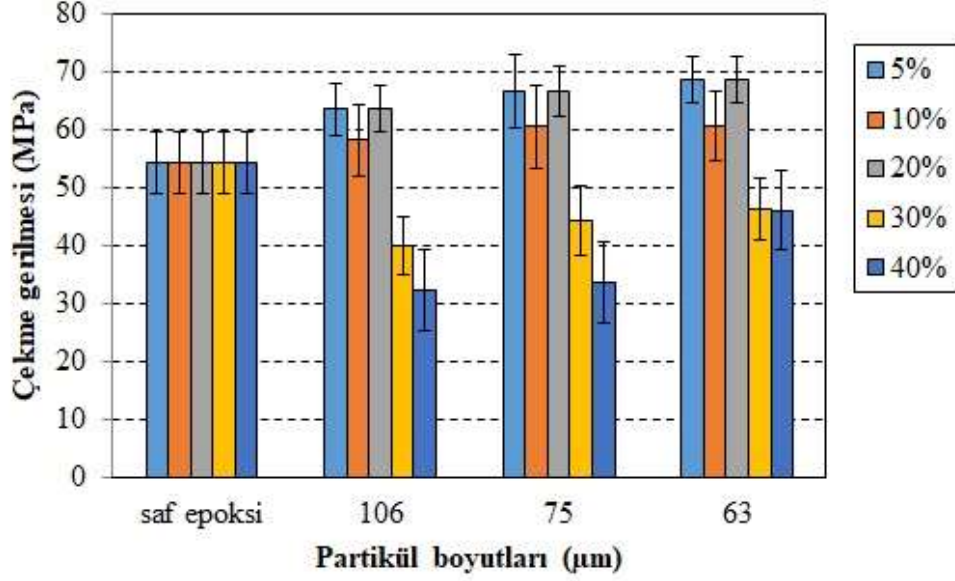
Testler sonucunda, maksimum eğilme kuvveti ve eğilme dayanımı, ağırlıkça %20 oranında yumurta kabuğu tozu takviyeli kompozit numunelerde elde edilmiştir. Shashir ve ark. [14] çalışmalarında, yumurta kabuğunun %20 oranında epoksi reçineye ilavesinde üretilen numunelerde maksimum eğilme dayanımı ve sertliği elde etmişlerdir. Yumurta kabuğu tozunun numune üretiminde ağırlıkça kullanımı eğilme dayanımını artırdığı görülmüştür. Fakat kabuk tozunun %30 ve %40 ağırlık oranlarında kullanımı durumunda numunelerin eğilme dayanımında azalma tespit edilmiştir. Şekil 12'de görüldüğü gibi kabuk tozunun kullanımı belli bir orana (%20) kadar kompozit numunelerin eğilme dayanımını artırdığını söyleyebiliriz. En düşük kuvvet değeri %40 oranı için elde edilmiştir. Adeosun ve ark. [5] farklı oranlarda kalsiyum karbonat dolgu parçacıkları ilave ederek ürettikleri polietilen esaslı kompozit numunelerde kalsiyum karbonat yüzdesinin artırılmasıyla eğilme gerilmesinin de arttığını tespit etmişlerdir. Şekil 12 incelendiğinde, kompozit numuneye 63µm boyutunda ve %20 ağırlık oranında YKT takviyesinde, maksimum eğilme gerilme dayanımı 68.60 MPa ve en düşük eğilme gerilme dayanımı ise %40 takviyesinde 46.15 MPa olarak elde edildi. Kompozit numuneye 75 µm boyutunda ve %20 ağırlık oranında YKT takviyesinde, maksimum eğilme gerilmesi 66.70 MPa ve en düşük eğilme gerilmesi ise %40 takviyesinde 33.57 MPa olarak elde edildi. 106 µm boyutu ve %20 ağırlık oranında YKT takviyesinde, maksimum eğilme gerilmesi 63.54 MPa ve en düşük eğilme gerilmesi ise %40 takviyesinde 32.45 MPa'dır. Polimer matrise eklenen yumurta kabuğunun ağırlık oranının %5'ten %15'e artırılması ile eğilme gerilme değerlerinin arttığı ve %15'ten daha fazla eklenmesi ile düştüğü görülmüştür [19].



Şekil 12. YKT ağırlık yüzdesine bağlı eğilme gerilme değerleri

### 3.2.2. Yumurta Kabuğu Tozunun Parçacık Boyutunun İncelenmesi

Kompozit numunelerin maksimum eğilme değerlerini, yumurta kabuk tozunun %20 ağırlık oranında ilavesinde elde edilmişti. Burada yumurta kabuk tozunun takviye yüzdesi oranı sabit tutularak, mikron metre seviyesindeki boyutları incelenmiştir. Kompozit numuneye ilave edilen YKT parçacık boyutunun küçülmesiyle, maksimum eğilme değerlerindeki değişim Şekil 13'te verilmiştir. Kompozit numunelerin maksimum eğilme kuvveti ve eğilme gerilme değeri, 63µm boyutundaki yumurta kabuk tozu takviyeli numunelerde elde edildi. Maksimum eğilme kuvveti 329.30 N ve eğilme gerilme değeri 68.60 MPa olarak ölçüldü. En düşük gerilme değeri ise 106µm boyutundaki kabuk tozunun %40 ağırlık oranında ilave edilmiş numunelerde elde edilmiştir.



Şekil 13. YKT boyutuna bağlı eğilme gerilme değerleri

Numunelere ilave edilen YKT parçacık boyutunun küçülmesiyle, epoksi ile yumurta kabuk tozu arasında daha iyi kavrama ve yapışma sağlanmıştır. Böylelikle daha iyi bir ara yüzey oluşturulmuştur. Buna bağlı olarak kompozit malzemede eğilme kuvveti ve eğilme gerilmesinde artışlar görülmüştür. Kompozit numuneye %5 ve %20 ağırlık oranında ve 63µm YKT takviyesinde maksimum eğilme gerilme dayanımı 68.60 MPa olarak elde edildi. Kompozit numuneye %10 ağırlık oranında YKT takviyesinde maksimum eğilme gerilme dayanımı 60,68 MPa olarak elde edildi. Bütün YKT parçacık boyutları için, %30 ve %40 ağırlık oranında takviye edildiğinde, numunelerin dayanımında ciddi azalmalar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ve saf epoksi reçine ile üretilen numunelerin eğilme dayanımından çok daha düşük olduğu görülmektedir. Çünkü artan takviye oranındaki YKT epoksi esaslı numunelerin eğilme direncini düşürmüştür. Benzer sonuçlar Adal [9] tarafından yapılan çalışmada, artan yumurta kabuğu tozu miktarı ile ekmeklerin sertlik değerinde düşüşe neden olduğu görülmüştür.

### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Mevcut çalışma yumurta kabuğu tozu takviyeli epoksi esaslı kompozit malzemenin, geleneksel malzemelere oranla daha ekonomik ve imalat kolaylığı sağladığını ortaya koymuştur. Böylece yumurta kabuk atığının değerlendirilmesi için farklı bir alternatif sunmaktadır. Epoksi reçineye, yumurta kabuğu tozu ilave edilerek elde edilen kompozit numunelerin mekanik davranışı incelenmiş olup ve aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:

- YKT ile güçlendirilmiş yeni bir epoksi esaslı kompozit malzeme başarılı bir şekilde üretilmiştir.
- YKT takviye oranının artırılmasıyla kompozit malzemenin eğilme ve çekme mukavemetlerinin belirli bir orana kadar arttığı belirlenmiştir.

- c) Kompozit malzeme üretiminde kullanılan YKT oranının daha fazla artırılması, epoksi ile YKT bir arada tutan bağlayıcı kuvvetin zayıf kalmasına neden olmuştur. Buna bağlı olarak çekme ve eğilme mukavemetinin olumsuz etkilendiği görülmüştür.
- d) Kompozit numunelerde maksimum eğilme mukavemeti, takviye edilmiş yumurta kabuk tozunun %20 ağırlık oranında olduğu gözlemlenmiştir.
- e) Maksimum çekme mukavemeti ise yumurta kabuk tozunun %5 ağırlık oranında meydana gelmiştir.
- f) Yumurta kabuğu boyutunun kompozitin mekanik davranışını etkilediği görülmüştür. En yüksek gerilme değerleri 63µm boyutlarında elde edilmiştir. Çünkü yumurta kabuk boyutu azaldıkça matris tarafından maksimum temas yüzey alanı oluşmaktadır. Böylece daha iyi matris ve takviye elemanı ara yüzey kuvveti gerçekleşmektedir.

### **Yazarların Katkısı**

Bu çalışma, Doç. Dr. Mehmet Emin DENİZ danışmanlığında Abdurrahim GÜNEŞ tarafından yapılan “Yumurta Kabuğu Takviyeli Polimer Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi” başlıklı Yüksek Lisans Tez çalışmasından üretilmiştir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Güneş A. 2019. Yumurta Kabuğu Takviyeli Polimer Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- [2] Xanthos M. 2010. Polymers and Polymer Composites. Weinheim: Wiley-VCH, 4-16.
- [3] Leong C. 2016. Development Polypropylene (PP)-Modified Chicken Eggshell Composites. Faculty of Engineering and Green Technology Universiti Tunku Abdul Rahman, 10-15.
- [4] Nawang R., Danjaji I., Ishiaku U., Ismail H., Mohd Ishak Z. 2001. Mechanical properties of sago starch-filled linear low density polyethylene (LLDPE) composites. Polymer Testing, 20 (2): 167-172.
- [5] Adeosun S., Usman M., Akpan E., Dibia W. 2014. Characterization of LDPE Reinforced with Calcium Carbonate Fly Ash Hybrid Filler. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering, 2 (4): 334-345.
- [6] He H., Li K., Wang J., Sun G., Li Y., Wang J. 2011. Study on thermal and mechanical properties of nano-calcium carbonate/epoxy composites. Materials Design, 32 (8-9): 4521-4527.
- [7] Yoo S., Hsieh J., Zou P., Kokoszka J. 2009. Utilization of calcium carbonate particles from eggshell waste as coating pigments for ink-jet printing paper. Bioresource Technology, 100 (24): 6416-6421.
- [8] Mohammadi M., Lahijani P., Mohamed A. 2014. Refractory dopant-incorporated CaO from waste eggshell as sustainable sorbent for CO<sub>2</sub> capture: Experimental and kinetic studies. Chemical Engineering Journal, 243: 455-464.
- [9] Adal S. 2018. Yumurta Kabuğu Tozu Kullanılarak Mineral Madde Bakımından Zenginleştirilen Ekmeklerin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [10] Kılıç U., Tutuş A., Çiçekler M., Özdemir F. 2017. Atık ofis kâğıtları ve yumurta kabuklarından yazı-tabı kâğıdı üretimi. Harran 1. Uluslararası Ar-Ge Proje Pazarı, Şanlıurfa.
- [11] Wei H., Shen Q., Zhao Y., Zhou Y., Wang D., Xu, D. 2005. On the crystallization of calcium carbonate modulated by anionic surfactants. Journal of Crystal Growth, 279 (3-4): 439-446.

- [12] Chojnacka K. 2005. Biosorption of Cr(III) ions by eggshells. *Journal of Hazardous Materials*. 121 (1-3): 167-173.
- [13] Özğan A.O. 2019. Plastik Kompozit Üretiminde Odun ve Yumurta Kabuğu Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [14] Shashir S.K., Apsarraj A.D., Shashidhar A.L., Basavaroodh A.B. 2017. Experimental investigation of mechanical properties of egg shell powder reinforced with epoxy. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 4 (7): 157-160.
- [15] Tok A., Ateş S. 2017. Yumurta Kabuğu Tozu, SiC ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Takviyeli Al6061 matrisli hibrit kompozitlerin gerilme dayanımlarının incelenmesi. I. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimleri Kongresi, Antalya.
- [16] Gürlek G., Oğuroğlu H., Erden S. 2015. Kapalı kalıpta üretilen poliüretan köpük malzemesine yumurta kabuğu tozu ilavesinin ısı iletim katsayısına ve basma dayanımına etkisi. 3.Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu, İzmir.
- [17] Shuhadah S., Supri A.G. 2009. LDPE-isophthalic acid-modified eggshell powder composites (LDPE/ESPI). *Journal of Physical Science*, 20 (1): 87-98.
- [18] Panchal M., Raghavendra G., Rahul Reddy A., Omprakash M., Ojha S. 2020. Experimental investigation of mechanical and erosion behavior of eggshell nanoparticulate epoxy biocomposite. *Polymers and Polymer Composites*, 1-12.
- [19] Hameed H.K., Jassim W.H. 2019. Improvement of some mechanical properties of epoxy using uncarbonized and carbonized eggshell powder. *AIP Conference Proceedings*, 2190, 020026, 1-8.
- [20] Asha A., Sekhar V.C. 2014. Investigation on the mechanical properties of egg shell powder reinforced polymeric composites. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3 (12): 288-291.
- [21] Shin L.J., Barathi Dassan E.G., Shukur Zainol Abidin M., Anjang A. 2020. Tensile and Compressive Properties of Glass Fiber-Reinforced Polymer Hybrid Composite with Eggshell Powder. *Arabian Journal for Science and Engineering*, <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04561-z>.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## 5G Haberleşme İçin Geniş bant Mikroşerit Anten Tasarımı ve Alttaşı Kalınlığının Anten Performansına Etkisinin İncelenmesi

Bilal TÜTÜNCÜ, Mahmut KÖSEM\*

*Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Van, Türkiye  
(ORCID: 0000-0002-7439-268X) (ORCID: 0000-0003-0343-5504)*

---

### Öz

5G teknolojisinde kullanılacak yüksek frekanslı mikroşerit antenlerin kazanç, verimlilik ve bant genişliği gibi performans kriterlerinin dielektrik alttaşı fiziksel ve elektriksel parametrelerine bağımlılığı, düşük frekanslı antenlerden çok daha hassastır. Bu nedenle, 5G haberleşmede kullanılacak milimetre dalga antenler için en uygun boyuta ve karakteristiğe sahip bir alttaşı seçimi anten performansı açısından çok önemlidir. Bu çalışmada 5G haberleşme için yeni bir mikroşerit anten tasarımı, simülasyonu ve alttaşı kalınlığına bağlı performans analizi yapılmıştır. Önerilen bu anten için kullanılan Arlon AD300C alttaşının fiziksel boyutlarının anten performansına etkileri 4 farklı alttaşı kalınlığı kullanılarak incelenmiştir. Optimum kalınlık değerini elde etmek için sonuçlar bant genişliği, geri dönüş kaybı, kazanç, gibi kriterler açısından ayrı ayrı analiz edilmiştir. Sonuç olarak 5G haberleşme için 5.65 GHz çalışma frekansında önerilen bu mikroşerit yama antende kullanılan Arlon AD300C alttaşının en yüksek performansı kalınlık 1.2 mm iken 7.5 dBi'lık kazanç ve 140 MHz'lik bant genişliği olarak elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** 5G, mikroşerit anten, dielektrik malzeme.

---

## Wideband Microstrip Antenna Design and Investigation of the Effect of the Substrate Thickness On Antenna Performance for 5G Communication

---

### Abstract

The dependence of performance criteria such as gain, efficiency and bandwidth of high frequency microstrip antennas to be used in 5G technology on the physical and electrical parameters of the dielectric substrate is much more sensitive than low frequency antennas. Hence, deciding a substrate with the most suitable size and characteristic for mm-wave antennas for 5G communication is very important in terms of antenna performance. In this study, a new microstrip antenna for 5G communication was designed and simulated and performance analysis was performed according to substrate thickness. The effects of the physical dimensions of the proposed antenna substrate (Arlon AD300C) on antenna performance were investigated using 4 different substrate thicknesses. In order to obtain the optimum thickness value, the results were analyzed in terms of criteria such as bandwidth, return loss and gain. Consequently, the highest performance of the proposed antenna for 5G communication at 5.65 MHz operating frequency was achieved at a thickness of 1.2 mm, with a gain of 7.5 dBi and a bandwidth of 140 MHz.

**Keywords:** 5G, microstrip antenna, dielectric material.

---

### 1. Giriş

Günümüzde özellikle Covid-19 pandemisinden sonra, ticaretten eğitime kadar birçok ihtiyacın internet ile sanal ortama taşınmasıyla veri hızına olan ihtiyaç ve talep artmış ve mevcut en hızlı 4G LTE standardından 100 kat daha hızlı olacak şekilde her ülke kendi 5G kablosuz haberleşme standartlarını belirlemiştir. Ayrıca cep telefonları için yeni uygulamaların geliştirilmesi, daha büyük bant genişliği ve daha hızlı veri aktarımına olan ihtiyacı daha da artırmıştır. Geçtiğimiz son 5 yıl içerisinde 5G haberleşme için birçok farklı mikroşerit anten tasarımı yapılmıştır. Tüm bu çalışmalarda anten performans kriterleri çeşitli parametrelerle ele alınıp analiz edilmiş ve yeni nesil 5G Haberleşme için birçok farklı anten tipleri

---

\*Sorumlu yazar: [mahmutt.kosem@gmail.com](mailto:mahmutt.kosem@gmail.com)

Geliş Tarihi: 28.12.2020, Kabul Tarihi: 01.05.2021

literatüre kazandırılmıştır [1-5]. Örneğin Mak ve ark. [6] çalışmalarında, yeni bir dairesel polarize yama anteni, 5G teknolojisi için uygun çalışma frekansı, polarizasyon, üretim maliyeti ve anten boyutu gibi parametreleri dikkate alarak analiz edilmişlerdir. Çalışmalarında özellikle huzme-genişliğini iyileştirmeye ve anten profilini küçültmeye odaklanmışlardır. Bu nedenle çalışmada, dörtlü dairesel şekilli katlanır tip anten ve antenin boyutunu küçültmek için 8 yuva eklemiştir. Sonuç olarak yama antenin huzme genişliğinin iki teknikle artırılması kanısı ortaya çıkmıştır. Birinci yöntem, antenin dielektrik alıtış ile çevrili olması, ikinci yöntem ise antenin arka tarafına metalik blok eklenmesi olmuştur. Böylelikle yama antenin minyatürleştirilmesi ve aynı zamanda huzme genişliğinin artırılması için yeni bir yöntem önermişlerdir. Gaid ve ark. [7] ise çalışmalarında 5G kablosuz iletişim için iki kompakt ve çoklu-bant dikdörtgen mikroşerit yama anten önermişlerdir. İlk önerilen anten,  $7,68 \times 9,18 \times 0,78 \text{ mm}^3$  boyutuna sahip çift bantlı bir yapıdır. Bu anten, 28 GHz / 38 GHz'de sırasıyla yaklaşık 2,086 GHz / 7,143 GHz bant genişliği sunmakta ve yine sırasıyla 8.13 dBi / 6.33 dBi maksimum kazanç sağlamaktadır. Bu çalışmada önerilen ikinci anten ise, 28 GHz, 45 GHz ve 60 GHz'de rezonansa giren bir üçlü-bant antendir. Bu antenin boyutu  $7,2 \times 8,8 \times 0,78 \text{ mm}^3$ 'dür. Birinci bant aralığı 3.543 GHz genişliğindedir ve elde edilen maksimum kazanç 5,19 dBi'dir. İkinci bant 4,687 GHz genişliğinde ve maksimum kazancı 5.85 dBi'dir. Bant genişliği 5.926 GHz olan üçüncü bantta ise maksimum 6.07 dBi kazanç elde edilmiştir. Önerilen antenler düşük profilli ve el tipi mobil birimlere entegre edilecek kadar kompakttır. Ayrıca antenler, mm-dalga 5G kablosuz sistemlerin gerektirdiği kadar yeterli bant genişliği (%5 BG) sağlamakta ve kabul edilebilir bir kazanç sunmaktadırlar.

Chauhan ve ark. [8] ise çalışmalarında, 5G mobil iletişim için 9,0583 dB'lik yüksek kazanç ve %83.308 verimlilik sağlayan tek katmanlı RT / Duroid 5880 alıtış kullanan iki dikdörtgen yama elemanından oluşan bir anten modelleyip simüle etmişlerdir. Sunulan anten merkez frekansı 38 GHz'de, kazanç, yönlülük, geri dönüş kayıpları, Duran Dalga Oranı (DDO), karakteristik empedans, bant genişliği ve verimlilik açısından iyi bir performansa sahiptir. Gaikwad ve Chougale [9] yapmış oldukları çalışmada, 5G hücresel haberleşme için 3,73 GHz, 5,56 GHz ve 8,4 GHz rezonans frekanslarında eşdüzlemsel dalga kılavuzu (CPW) beslemeli anten çalışmışlardır. Ayrıca önerilen bu antenin WLAN, WI-FI ve Hiperlan gibi alanlar için uygunluğunu göstermişlerdir. Çalışmalarında 5G için önerdikleri mikroşerit anteni, HFSS (High Frequency Structure Simulator) yazılımını kullanarak tasarlamışlar ve bu antenin; bant genişliği, akım dağılımı, ışınma örüntüsü, kazanç ve geri dönüş kaybı gibi parametreler açısından iyi bir performansa sahip olduğunu göstermişlerdir. Atima ve Sweta ise yapmış oldukları çalışmada [10], 5G iletişimi için aşamalı dizi anten paketinin yeni bir tasarımını sunmuşlardır. Önerdikleri anten üç alt diziden oluşmakta olup her bir alt dizi tarama alanının bir bölümünü kapsamaktadır. Ana tasarımdaki zorluk, yüksek kazançlı 5G cep telefonları için radyasyon ışınma alanının en az yarısını kapsamaktadır. Bu özelliği elde etmek için üç doğrusal alt yama anten dizisi tasarlamışlardır. Sonuç olarak her dizide 13 dBi'lik bir kazanç elde etmişlerdir. Bir başka çalışmada ise Amrutha ve Sudha [11] 5G uygulamalarına uyumlu mm dalga frekansı bandında (30 GHz-300 GHz) çalışır kompakt üçlü bant (26,92 GHz, 35,08 GHz ve 54,74 GHz) mikroşerit yama anteni sunmuşlardır. Anten, 54,74GHz'de % 13.92 bant genişliği ve 6,36 dB kazanç ile -52.87dB'lik bir geri dönüş kaybı göstermektedir.

Bu çalışmada ise 5G haberleşme için yeni bir mikroşerit anten tasarımı ve simülasyonu yapılmış ve bu antenin alıtış kalınlığına bağlı performans analizi yapılmıştır. Anten tasarım ve simülasyon çalışmaları CST Microwave Studio programı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Önerilen bu anten için kullanılacak alıtışın fiziksel boyutlarının anten performansına etkileri 4 farklı alıtış kalınlık değeri baz alınarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar bant genişliği, kazanç, verimlilik gibi kriterler açısından analiz edilmiştir. Neticede 5G frekans bandında 5,65 GHz çalışma frekansı için optimum alıtış kalınlık değeri elde edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. 5.65 GHz çalışma frekansında mikroşerit yama anten tasarımı

5G haberleşme için mikroşerit anten tasarımında kullanılacak olan ve Tablo 1'de verilen; alıtış çeşidi, alıtış dielektrik sabiti, alıtış kalınlığı, rezonans frekans değerler için yamanın genişlik ve uzunluk değerleri Denklem (1-4) kullanılarak mm cinsinden elde edilmiştir. Formülde bulunan  $fc$  merkez

frekansı,  $c$  ışık hızı,  $\epsilon_r$  yalıtkan malzemenin dielektrik katsayısı,  $\epsilon_e$  etkin dielektrik katsayısı,  $\Delta l$  besleme hat genişliği ve  $h$  alttaş kalınlığını göstermektedir [12,13].

**Tablo 1.** Mikroşerit Anten Parametreleri

<b>Dielektrik malzeme</b>	Arlon AD 300C
<b>Dielektrik Sabiti (<math>\epsilon_r</math>)</b>	2,98
<b>Kayıp Tanjant (<math>\tan(\delta)</math>)</b>	0.002
<b>Dielektrik malzeme (alttaş) kalınlığı (h)</b>	12 mm
<b>Çalışma frekansı</b>	5,65 GHz

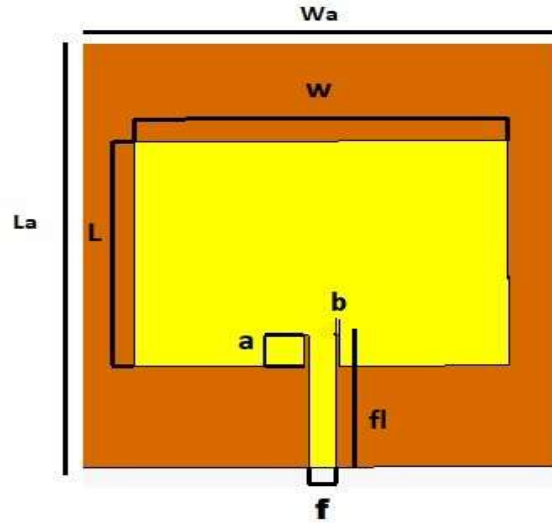
$$W = \frac{c}{2f_c} \left( \frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + \frac{12h}{W} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

$$\Delta l = 0.412h \frac{(\epsilon_e + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_e - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

$$L = \frac{c}{2f_c \sqrt{\epsilon_e}} - 2\Delta l \quad (4)$$

Seçilen değerler doğrultusunda yamanın genişliği (W) 28 mm, yamanın uzunluğu (L) 20 mm olarak elde edilmiştir. Burada daha büyük ebatlarda alttaş kullanılması mikroşerit anten verimliliğini arttırsa bile parazitlenme gibi olumsuz etkileri doğurabilmektedir [14]. 5,65 GHz çalışma frekansı için yukarıdaki eşitliklerden ve CST STUDIO yardımıyla optimize edilen anten şekli ve boyut parametreleri Şekil 1’de verilmiştir. Ayrıca bu parametrelerin ebatları Tablo 2’de görülmektedir.



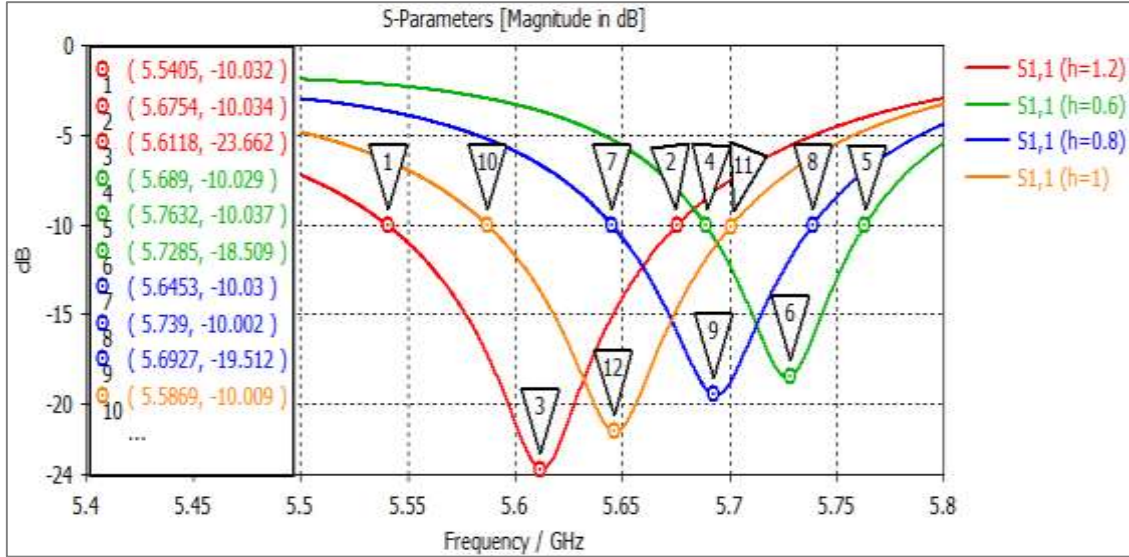
**Şekil 1.** 5.65 GHz çalışma frekansı için optimize edilen anten modeli.

**Tablo 2.** 5.65 GHz çalışma frekansı için optimize edilen anten parametreleri

<b>Alttaş kalınlık (h)</b>	1,2 mm
<b>Alttaş genişlik (Wa)</b>	52,92 mm
<b>Alttaş uzunluk (La)</b>	55,56 mm
<b>Besleme giriş genişliği (f)</b>	2,94 mm
<b>Besleme mikroşerit uzunluğu (fl)</b>	13,23 mm
<b>Yama iletken kalınlığı</b>	0,035 mm
<b>Yama genişliği (W)</b>	41,16 mm
<b>Yama uzunluğu (L)</b>	29,40 mm
<b>Besleme oyuk genişliği (b)</b>	0,5 mm
<b>Besleme oyuk uzunluğu (a)</b>	4 mm

## 2.2. Alttaş Kalınlığının Anten Performansına Etkisi

Bu bölümde, bir önceki bölümde 5,65 GHz için optimize edilen anten parametreleri sabit tutulup sadece alttaş kalınlığı 4 farklı değerde değiştirilerek, alttaş kalınlığının anten performansını nasıl etkilediği incelenmiştir. Alttaş malzemesi Arlon AD 300C için dört farklı alttaş kalınlık değeri (h) seçilerek dielektrik malzeme kalınlığının bant genişliği, kazanç ve geri dönüş kaybı gibi anten performansına etkileri incelenmiştir. Böylece 5,65 GHz merkez frekansında bir mikroşerit anten için optimum alttaş kalınlığı durumu tespit edilmiştir. Şekil 2’de frekansa bağlı olarak 4 farklı kalınlık için geri dönüş kaybı yani  $S_{11}$  grafiği verilmiştir.



Şekil 2. Dört farklı alttaş kalınlığında elde edilen  $S_{11}$  grafiği.

Şekil 2’den görüldüğü üzere Arlon AD 300C alttaşının kalınlığı her adımda 0,2 mm artacak şekilde sırasıyla 0,6 mm, 0,8 mm, 1 mm ve 1,2 mm olarak alınmıştır. Her bir alttaş kalınlık değeri için; üst ve alt frekans değerleri bulunup bant genişliği, kazanç, merkez frekans ve geri yansıma değerleri ayrı ayrı elde edilmiştir. Böylece tasarlanacak olan mikroşerit yama antende kullanılacak optimum alttaş kalınlığı elde edilmiş olacaktır.

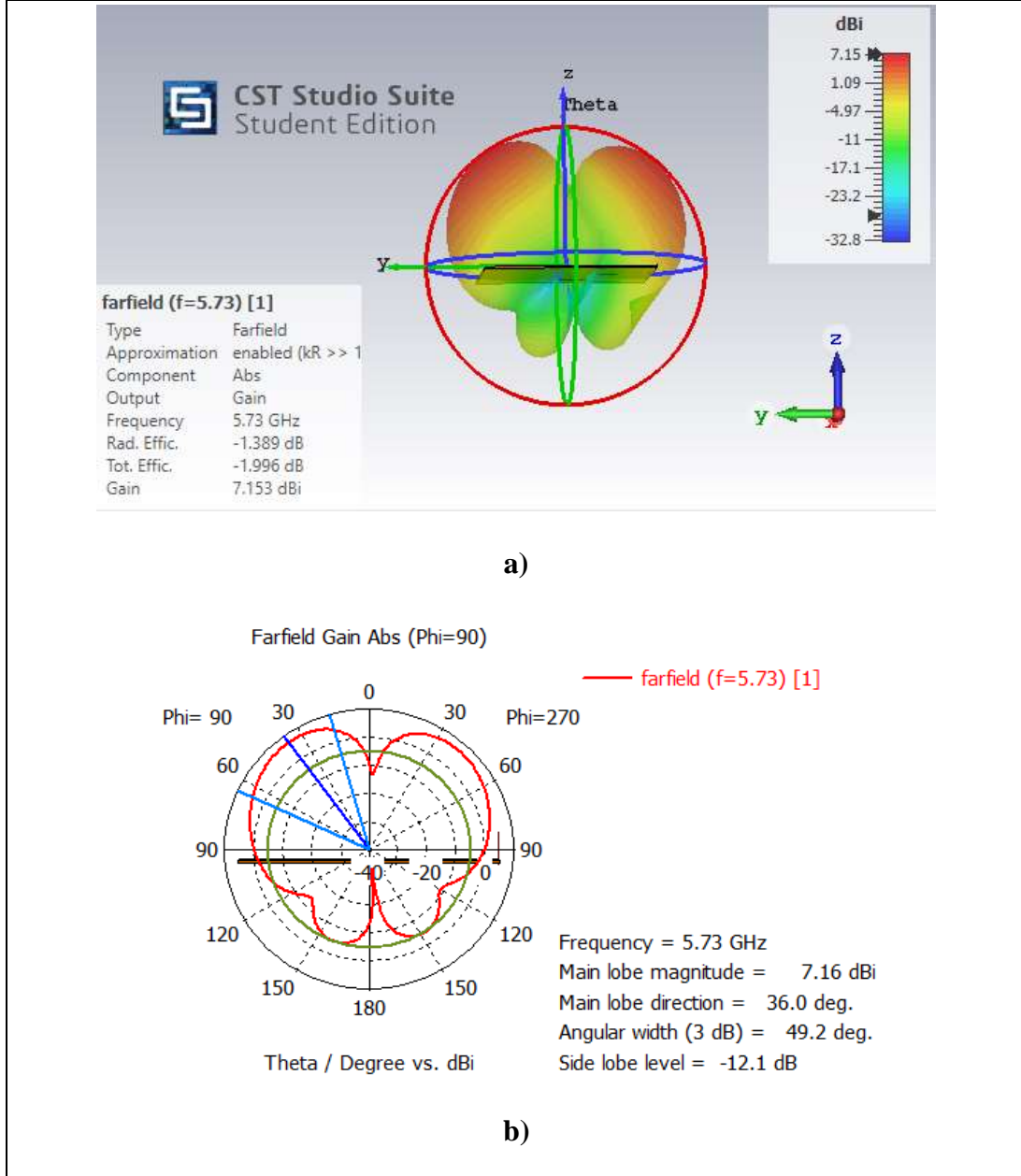
### 2.2.1. h=0,6 mm için performans analizi

İlk etapta kalınlık h=0,6 mm alındığında; geri dönüş kaybı  $S_{11}=-18,51$  dB, çalışma frekansı  $f_c=5,73$  GHz, üst frekans değeri  $f_{\bar{u}}=5,76$  GHz, alt frekans değeri  $f_a = 5,69$  GHz olarak hesaplanmıştır. Elde edilen parametreler dikkate alınarak bant genişliği (BG) Denklem 5’den 70 MHz olarak hesaplanmıştır.

$$BG = f_{\bar{u}} - f_a \quad (5)$$

Merkez frekans 5,73 GHz için elde edilen ışınma örüntüsü hem 3D, hem polar düzlemde olacak şekilde Şekil 3’de verilmiştir. Alttaş kalınlığı 0,6 mm için hesaplanan uzak alan kazanç grafiğinden görüldüğü üzere maksimum kazanç 7.15 dBi’dir.

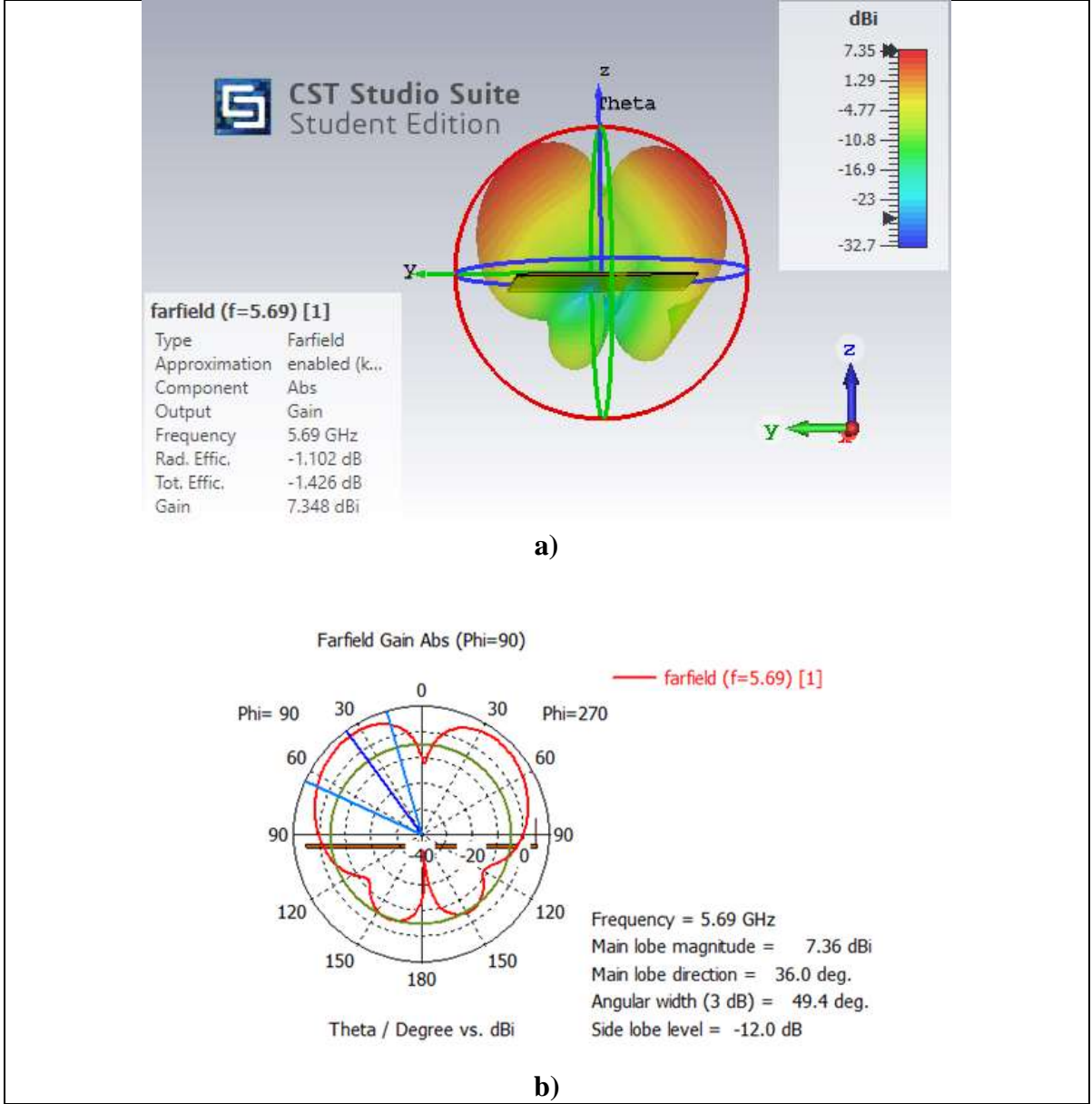




Şekil 3.  $h=0.6$  mm için 5.73 GHz’de ışıma örüntüsü, a) 3D görünüm, b) Polar görünüm.

### 2.2.2. $h=0,8$ mm için performans analizi

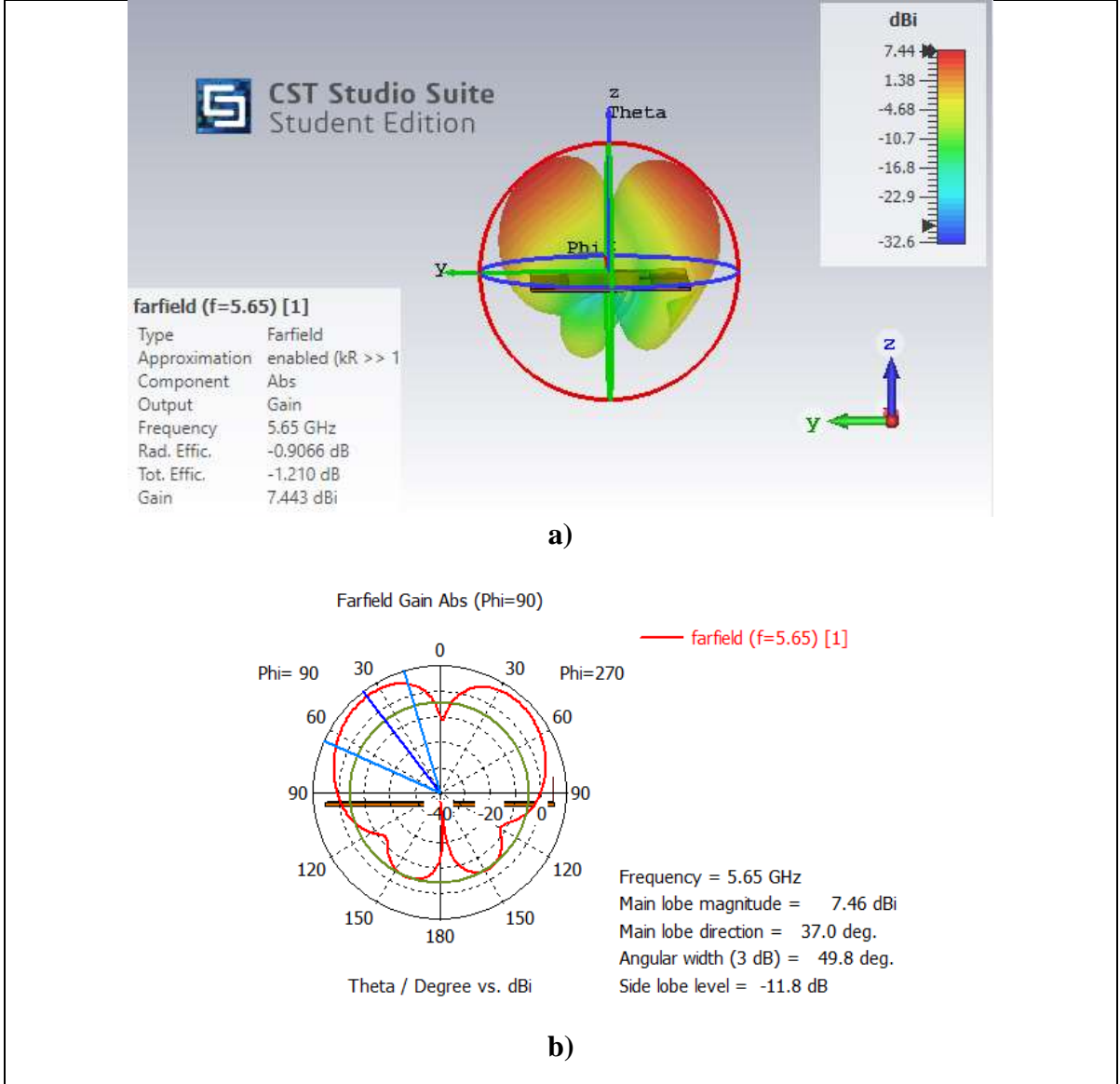
Altaş kalınlığı  $h = 0,8$  mm alındığında; geri dönüş kaybı = -19,51 dB, çalışma frekansı  $f_c = 5,69$  GHz, üst frekans değeri  $f_{\bar{u}} = 5,74$  GHz, alt frekans değeri  $f_a = 5,65$  GHz olarak bulunmuştur. Elde edilen bu parametreler dikkate alınarak bant genişliği Denklem 5’den 90 MHz olarak hesaplanmıştır. 5,69 GHz çalışma frekansında elde edilen ışıma örüntüsü Şekil 4’de verilmiştir. Kazanç grafiğinden görüldüğü üzere altaş kalınlığı 0,8 mm olduğu zaman maksimum kazanç 7,35 dBi olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.  $h=0,8$  mm için 5,69 GHz’de uzak alan ışınma örüntüsü a) 3D görünüm, b) Polar görünüm.

### 2.2.3. $h=1$ mm için performans analizi

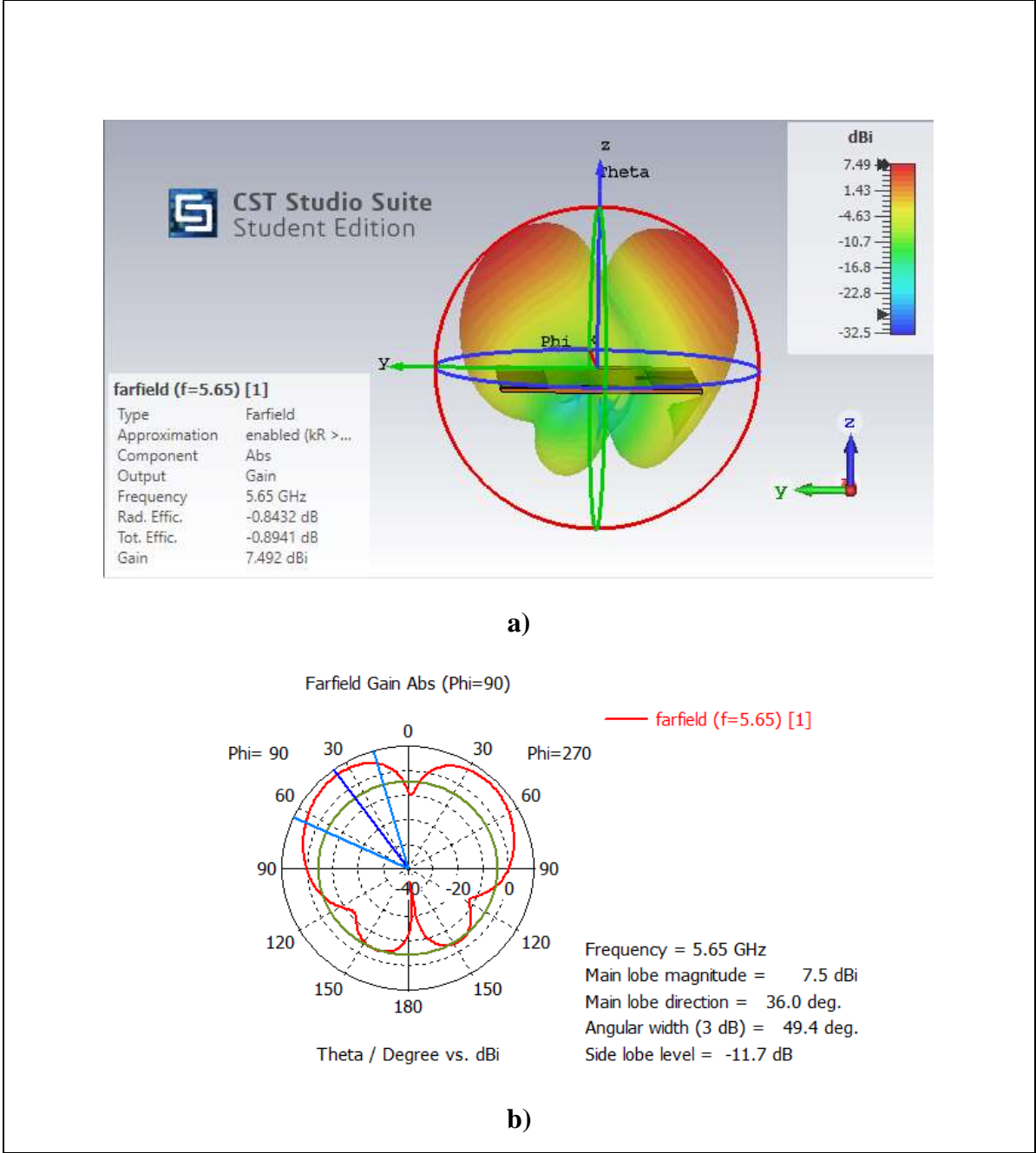
$h=1$  mm için; geri dönüş kaybı  $S_{11}=-21,54$  dB, çalışma frekansı  $f_c=5,65$  GHz, üst frekans değeri  $f_u=5,70$  GHz, alt frekans değeri  $f_a=5,59$  GHz’dir. Elde edilen bu parametreler dikkate alınarak bant genişliği (BG) değeri 110 MHz olarak hesaplanmıştır. 5,65 GHz merkez frekansında 1 mm alttaş kalınlığında elde edilen uzak alan ışınma örüntüsü Şekil 5’te verilmiştir. Görüldüğü üzere maksimum kazanç anten merkezinden  $37^\circ$ ’lik sapma ile 7,46 dBi olarak elde edilmiştir.



Şekil 5.  $h=1$  mm için 5,65 GHz 'de uzak alan ışınma örüntüsü a) 3D görünüm, b) Polar görünüm.

#### 2.2.4. $h=1.2$ mm için performans analizi

Son olarak alttaş kalınlığı  $h = 1,2$  mm alındığında geri dönüş kaybı  $S_{11} = -23,66$  dB, çalışma frekansı  $f_c = 5,65$  GHz, üst frekans değeri  $f_{\bar{u}} = 5,68$  GHz, alt frekans değeri  $f_a = 5,54$  GHz olarak bulunmuştur. Elde edilen bu yeni parametreler dikkate alınarak bant genişliği (BG) 140 MHz olarak hesaplanmıştır. 5.65 GHz çalışma frekansında 1,2 mm alttaş kalınlığında elde edilen uzak alan ışınma örüntüsü Şekil 6'da gösterilmiştir. Grafikten görüldüğü üzere maksimum kazanç 7,5 dBi olarak bulunmuştur.



Şekil 6.  $h=1.2$  mm için 5.65GHz’de uzak alan ışıma örüntüsü a) 3D görünüm, b) Polar görünüm.

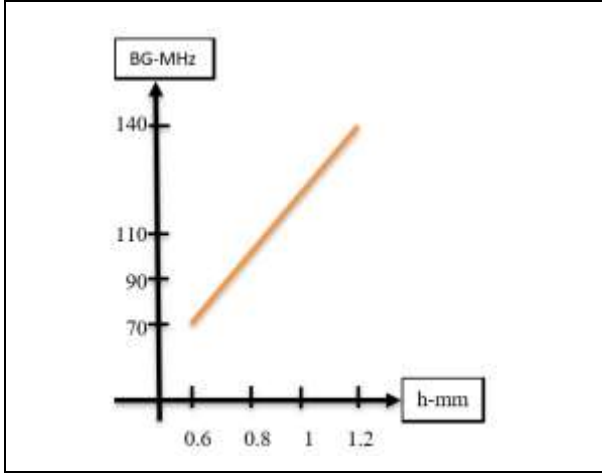
### 3. Bulgular ve Tartışma

Buraya kadar yapılan hesaplamalardan görüldüğü üzere Tablo 2’de verilen anten boyut parametreleri sabit tutulup alttaş olarak kullanılan Arlon AD 300C’ın kalınlığı ( $h$ ) 0,2 mm adımlarla artırıldığında bant genişliği ve kazanç artarken geri dönüş kaybı da azalmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir.

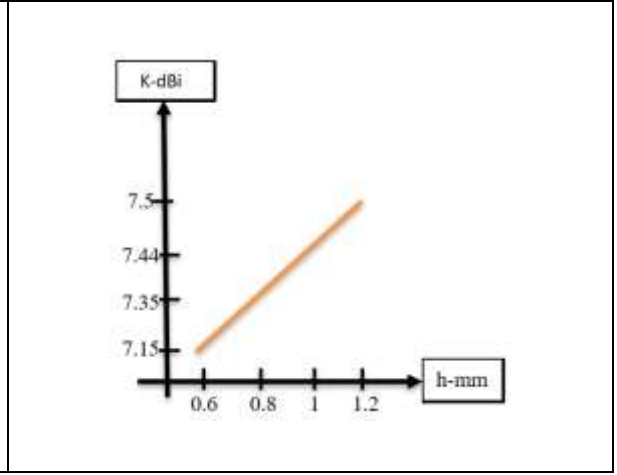
**Tablo 3.** Arlon AD300C nin kalınlık değerleri göre performans

Alttaş Kalınlığı	Bant Genişliği	Kazanç	S11
0.6 mm	70 MHz	7,15 dBi	-18,51dB
0.8 mm	90 MHz	7,35 dBi	-19,51 dB
1 mm	110 MHz	7,46 dBi	-21,54 dB
1.2 mm	140 MHz	7,50 dBi	-23,66 dB

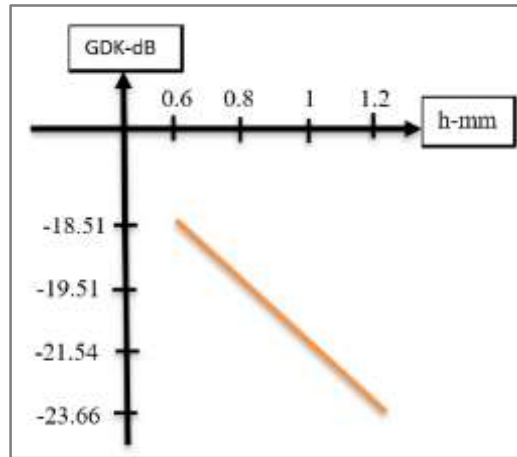
Bir mikroşerit anten için; kazancın ve bant genişliğinin yüksek olması, geri dönüş kaybının ve elektriksel tanjant kaybının küçük olması istenilen bir durumdur [15]. Çünkü daha geniş bant genişliği, daha çok kapsama alanı yani daha çok kullanıcı demektir. Yüksek kazanç ise uzak mesafe haberleşmesi için önem arz etmektedir [16, 17]. Ayrıca kullanılan malzemeden kaynaklanan kayıplar, anten performansını olumsuz yönde etkilediğinden küçük olması istenmektedir. Elde edilen bilgiler ışığında, alttaş kalınlığının belli değerlere kadar artırılmasıyla bant genişliği ve kazancın arttığı ve geri dönüş kaybının ise azaldığı görülmektedir. Ortaya çıkan bu gözlemler, alttaş kalınlığının mikroşerit yama anten performansını önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Dolayısıyla bu çalışmada 5G haberleşmede kullanılmak üzere tasarlanan mikroşerit anten için en yüksek bant genişliği ve en düşük geri dönüş kaybı için alttaş kalınlığı 1,2 mm olduğu gözlemlenmiştir. Alttaş kalınlığı ile birlikte değişim gösteren; bant genişliği grafiği Şekil 7’de, kazanç değer grafiği Şekil 8’de ve geri dönüş kaybı  $S_{11}$  grafiği ise Şekil 9’da gösterilmiştir. Grafiklerden görüldüğü gibi alttaş kalınlığının artmasına karşın; bant genişliği ve kazanç değerleri lineer olarak artmakta, geri dönüş kaybı değerleri ise lineer olarak azalmaktadır.



Şekil 7. Alttaş kalınlığı değişimi ile elde edilen bant genişliği grafiği.



Şekil 8. Alttaş kalınlığı değişimi ile elde edilen kazanç grafiği.



Şekil 9. Alttaş kalınlığı değişimi ile elde edilen geri dönüş kaybı  $S_{11}$  grafiği.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, 5G haberleşme için mikroşerit anten tasarımında Arlon AD300C dielektrik malzemesi kullanılarak bu alttaşın 4 farklı kalınlık değerinin anten performansına etkisi incelenip yorumlanmıştır. İlk olarak bilinen eşitliklerden faydalanılarak mikroşerit antenin yama kısmının genişlik ve uzunluk değerleri 5,65 GHz merkez çalışma frekansı için hesaplanmıştır. Daha sonra bu boyutlara göre CST Studio simülasyon programı yardımıyla anten modellenip optimizasyon sekmesi yardımıyla optimum

yama ve mikroşerit besleme hat boyutları bulunmuştur. Sonra bu yeni mikroşerit yama anten için dört farklı alttaş kalınlığı seçilerek dielektrik malzeme kalınlığının; bant genişliği, kazanç ve geri dönüş kaybı gibi anten performansına etkileri incelenmiştir. Simülasyon çalışmasında dört farklı alttaş kalınlığı seçimi 0.6, 0.8, 1 ve 1.2 olarak mm cinsinden yapılmış olup her değer için  $S_{11}$  grafiği ayrıca elde edilmiştir. Her bir alttaş kalınlığı için; üst ve alt kesim frekans değerleri bulunup buna göre bant genişliği hesaplanmış ve kazanç değerlerinin analizi için de uzak alan ışınma örüntüleri ayrı ayrı çizdirilmiştir. Sonuç olarak 5G haberleşme için 5,65 GHz çalışma frekansında önerilen bu mikroşerit yama antende kullanılan Arlon AD300C alttaşının en yüksek performansı kalınlık 1.2 mm iken 7,5 dBi'lık kazanç ve 140 MHz'lik bant genişliği olarak elde edilmiştir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı tarafından FYL-2020-9265 No'lu proje kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü teşekkürü borç biliriz.

### **Yazarların Katkısı**

Bu çalışma yazarlardan Dr. Öğr. Üyesi Bilal TÜTÜNCÜ'nün danışmanlığında yürütülen Mahmut Kösem'in Yüksek Lisans Tezi'nin bir bölümüdür.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] An W., Li Y., Fu H., Ma J., Chen W., Feng B. 2018. Low-profile and wideband microstrip antenna with stable gain for 5G wireless applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 17 (4): 621-624.
- [2] Genc A., Basyigit I.B., Goksu T., Helhel S. 2017. Investigation of the performances of X-Ku band 3D printing pyramidal horn antennas coated with the different metals. In: 2017 10th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), IEEE, 1012-1016.
- [3] Sandi E., Rusmono A.D., Vinda K. 2020. Ultra-wideband microstrip array antenna for 5G millimeter-wave applications. *Journal of Communications*, 15 (2): 198-204.
- [4] Sarade S.S., Ruikar S.D., Bhaladar H.K. 2020. Design of Microstrip Patch Antenna for 5G Application. In: *Techno-Societal 2018*, Springer, Cham, 253-261.
- [5] Tütüncü B. 2020. Microstrip Antenna for 5G Communication: Design and Performance Analysis. 2020 International Congress on Human-Computer Interaction, Optimization and Robotic Applications (HORA), In: IEEE, 1-4.
- [6] Mak K.M., Lai H.W., Luk K.M., Chan C.H. 2014. Circularly polarized patch antenna for future 5G mobile phones. *IEEE Access*, 2: 1521-1529.
- [7] Gaid A.S., Alhakimi A.M., Alasadee M.S., Ali A.A. 2019. Compact and Bandwidth Efficient Multi-band Microstrip Patch Antennas for 5G Applications. In *International Conference of Reliable Information and Communication Technology*, Springer, Cham, 663-672.
- [8] Chauhan B., Vijay S., Gupta S.C. 2014. Millimeter-wave mobile communications microstrip antenna for 5G-A future antenna. *International Journal of Computer Applications*, 99 (19): 15-18.
- [9] Mohan G.P., Chougale M.S. 2016. CPW Feed Microstrip Patch Antenna Design for Future 5G Communication. *International Journal for Technological Research in Engineering*, 4 (1): 49-51.
- [10] Agarwal A., Agarwal S. 2016. Simulation and Analysis of 5G Mobil Phones Antenna. *International Journal of Electronics and Communication Engineering and Technology (IJECET)*, 7 (5): 7-12.

- [11] Amrutha G.M., Sudha T. 2018. Triple Band Antenna for 5G Applications. In: IEEE, International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 1650-1652.
- [12] Stutzman W.L., Thiele G.A. 2012. Antenna theory and design. John Wiley & Sons.
- [13] Balanis C.A. 2016. Antenna theory: analysis and design. John wiley & Sons.
- [14] Tütüncü B., Torpi H., İmeci Ş.T. 2019. Directivity improvement of microstrip antenna by inverse refraction metamaterial. Journal of Engineering Research, 7 (4): 151-164.
- [15] Tütüncü B. 2020. FSS Wall Design for High Isolation MIMO Antenna Array. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9 (Özel Sayı): 148-151.
- [16] Park J., Jeong M., Hussain N., Rhee S., Park S., Kim N. 2019. A low-profile high-gain filtering antenna for fifth generation systems based on nonuniform metasurface. Microwave and Optical Technology Letters, 61 (11): 2513-2519.
- [17] Basyigit I., Dogan H., Genc A. 2019. Hizmet kalitesi değerlendirmesi: Türkiye'deki mobil ağ operatörlerinin optimizasyon performansı üzerine bir çalışması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 17: 445-453.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

**Analysis of different cross-frame placements to enhance torsional irregular buildings against structural failure under earthquake bidirectional loadings: A case study**

Osman AKYÜREK\*

*Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Faculty of Engineering and Architecture,  
Department of Civil Engineering, Nevşehir, Turkey  
(ORCID: 0000-0001-8161-1775)*

---

**Abstract**

Cross bracing frames (CFs) are employed as traditional passive energy dissipating devices, which are placed into the moment-resisting frames of the Benchmark building picked for analysis purposes. These devices are widely used, easy to construct, and inexpensive to contribute better seismic protection for existing and new buildings than complex control systems like active/passive Tuned Mass Dampers (TMDs) and so on. Therefore, in this research, the best three-predetermined CFs placements are selected. The time history analyses are made under bi-directional seismic loads such as two orthogonal excitations of El Centro in 1940, North-Ridge in 1994, and Kocaeli, Turkey in 1999. In conclusion, obtained results find out that while CFs placements into the structure can be significantly eliminating the eccentricity in the structure plan by dissipating especially torsional responses (approximately between 30% and 50% decrease) with a right engineering design perspective like Case 3, they cannot be successful enough to reduce the torsional responses without the right design vision such as Case 1 and Case 2. Therefore, Integrating CFs placements to the structure for minimizing the structural response is not always comprehensive to make the structure durability against torsional irregularity unless placed with the right engineering decision.

**Keywords:** Torsional Irregularity, Time History Analysis, Performance Evaluation, Cross Frame Placement.

---

**Çift yönlü deprem yüklemeleri altında eksentrik binalar için yapısal hasarlara karşı bina performansını artırmak için farklı çapraz destek profilleri yerleşimlerinin analizi: Bir vaka çalışması**

---

**Öz**

Çapraz Destek Profilleri (ÇDP), günümüzde özellikle eksantrik binaları deprem esnasında burulmaya karşı korumak için kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntem, aktif / pasif Ayarlı Kütle Damperleri (AKD) gibi karmaşık kontrol sistemlerine kıyasla, mevcut ve yeni binalar için daha iyi bir sismik korumaya katkıda bulunmak için yaygın olarak kullanılır. Çünkü yapımı kolaydır ve uygulaması diğer yöntemlere göre daha ucuzdur. Bu nedenle, bu çalışmada, önceden belirlenmiş en iyi üç ÇDP yerleşimleri seçilerek, iki yönlü sismik yükler altında sismik analizleri, 1940'da El Centro, 1994'te North-Ridge ve Kocaeli 1999 deprem dataları altında yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ÇDP'ler yapıya yerleştirilirken Durum 3'teki gibi doğru bir mühendislik tasarım perspektifi ile birlikte yapıda burulma tepkilerini (yaklaşık olarak %30 ile %50 arasında) azaltarak yapı planındaki eksantrikliği önemli ölçüde ortadan kaldırabilirken, doğru tasarım vizyonu ile yerleştirilmeyen ÇDP'ler yani Durum 1 ve Durum 2'da olduğu gibi burulma etkilerini bazı yüklem durumları için azaltacak kadar başarılı olamamışlardır. Bu nedenle, yapısal tepkileri en aza indirmek için ÇDP'leri yapıya entegre etmek, doğru mühendislik perspektifi ile yapılmalıdır. Aksi takdirde ÇDP'ler yapıdaki burulma düzensizliği etkilerini azaltmadığı gibi binada burulmadan dolayı oluşabilecek yapısal hasar olasılığının da artmasına neden olabilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Çapraz Destek Profilleri, Eksentrik Binalar, Performans Analizi.

---

\*Corresponding author: [oakyurek@nevsehir.edu.tr](mailto:oakyurek@nevsehir.edu.tr)

Received: 30.12.2020, Accepted: 08.04.2021

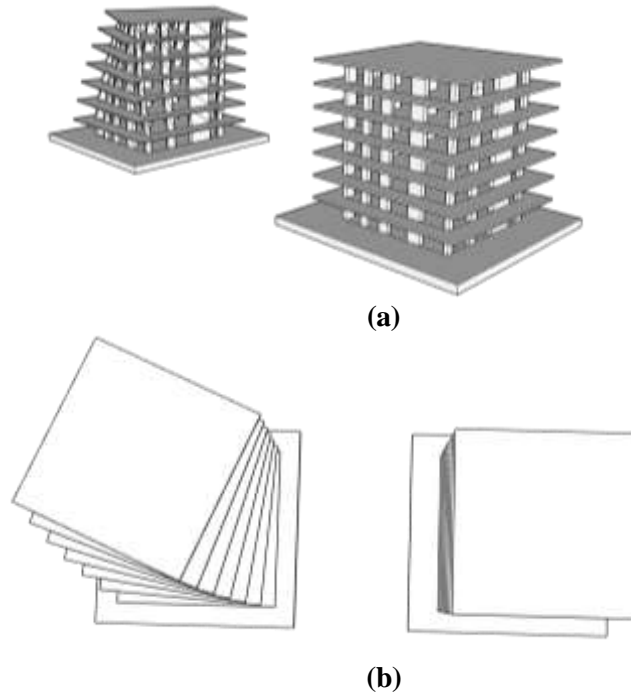


## 1. Introduction

Existing building stock in Turkey mostly has an eccentric plan configuration, called torsional irregularity in the plan, that making the buildings highly vulnerable to strong dynamic excitations caused by severe earthquakes or strong winds. The torsional irregularity is mostly the main failure reason for eccentric buildings during an earthquake, which does not only have devastating effects in the torsional direction but also leads to excessive destructive forces in the lateral directions. Therefore, ignoring such irregularity in the seismic analysis may lead to unexpected damages and losses [1-3].

Seismic risk evaluation is a fundamental necessity in long-term and inclusive seismic codes since population concentration is increasing day by day in earthquake-prone areas. Consequently, understanding earthquake dynamic effects on building stocks is vital to keep the public secure and safe [4-6]. The earthquake dynamic effects on a structure induce horizontal inertia forces acting through the center of mass. At the same time, the vertical members resist these forces through the center of rigidity. In many real-life structures, these reverse forces are predominantly not coincident. The lack of coincidence between the centers of mass and rigidity produces eccentricities, which cause an undesirable torsional response. The term “lateral-torsional coupling effect (LTCE)” is used when the torsional response is coupled with the lateral response [7,8].

Improvements in the structural material with the help of using advanced technologies, modern buildings become taller and taller and get more flexible utilizing innovative materials. This inclination makes the buildings more vulnerable to dynamic excitations, especially for those having torsional irregularities in the plan or elevation when torsion becomes a dominant matter. Torsional irregularity exists due to the lack of coincidence between the center of mass (CM) and rigidity (CR) that is the center for the distributed lateral load-bearing components in a floor [9,10]. Under these circumstances, the buildings have a tendency not only to rotate but also to deflect laterally in two orthogonal directions when going through dynamic loading, see Figure 1.



**Figure 1.** A demonstration of civil structure with its torsional response: (a) elevation and (b) bird's eye view [11]

A lot of modern control systems have been introduced into the literature in the last two decades to keep the structures secure when earthquakes excite them. The most widely preferred and used passive control systems by engineers and designers is a tuned mass damper (TMD) comprised of additional appropriate mass, damping, and stiffness to the primary system, excluding any external power supply [12]. However, it has some drawbacks. First, it is operative only in the fundamental tuning frequency of the structure; thus, it can be valid only in the low-frequency spectrum range. Second, it is not convenient

for all the modes to utilize other than the tuning mode, which is generally is the first-mode of the structure because it does not have significant effects in the case of an earthquake. That is why it is first introduced multi-tuned mass dampers (MTMD) to use for eliminating the drawbacks of employing a single TMD [13]. Owing to the MTMD, it becomes more comprehended as compared to a single TMD by tuning it to different natural frequencies (modes). Therefore, it becomes more serviceable and improves stability at a wide frequency spectrum range [14-16].

Unlike the modern innovative control systems, the CFs behave as the primary members to resist the twist of the structures such as steel buildings and bridges when they are integrated into the load-carrying systems. The bracing system is a natural and essential approach to improve the security and robustness of the buildings having torsionally irregular plan configuration when withstanding against earthquake loadings[17,18]. Because it plays a vital role in an increase not only in the load capacity by laterally and torsionally, but also reduces the absolute distance between the center of mass (CM) and rigidity (CR) when it is placed appropriately in the plan and elevation layout. It might be a v-, inverted v-, k- or x-bracing for steel frames [19-21] or masonry infill-wall for reinforced-concrete structures [22, 23] respectively.

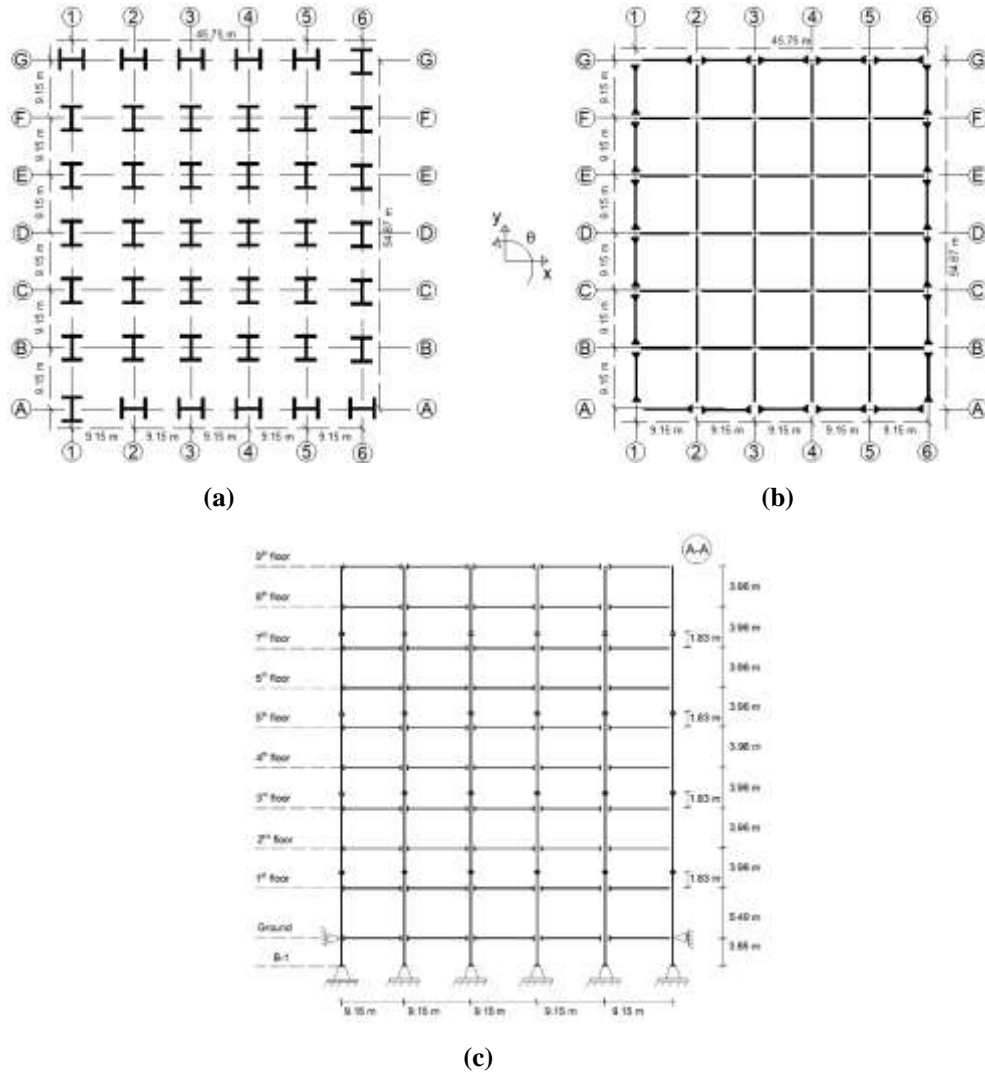
CFs placements as a structural member of the structure are expected to improve lateral load capacity and torsional loading capacity of the structure; however, sometimes they can cause to increase unevenly distributed stiffness and strength in the plan or elevation in the structure. Therefore, the study's scope is to investigate and evaluate the CFs placements, whether designed with or without a good engineering design perspective on structural performance. With this purpose, in this research, the Benchmark 9-story steel building is selected as a model structure for analysis purposes where each floor has three degrees of freedom (two translational and one rotational). There are three cross frames placements into the Benchmark 9-story steel structure's MRFs are pre-determined by the consideration of eliminating eccentricity between CM and CR of each floor. The three pre-determined cross frames (CFs) are determined by eliminating eccentricity and are employed to control undesirable lateral and torsional vibration under selected real saved earthquake ground motions. In conclusion, the research focus is on the performance evaluation of CFs placements and their contribution to the structure's performance. Integrating CFs to the structure for lessening the structural response is not always comprehensive to improve the structural stability against torsional irregularity unless placed with the right engineering decision.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Design Properties of Benchmark Building

It has simply connected-columns to the ground, and they are made of 345 MPa steel. It has the 9.15m long-bays, which are five bays in both orthogonal directions. The columns and beams are comprised of wide-flange shapes, and the columns' orientation in the plan is demonstrated in Figure 2a. Moment frames (MFs) and simple frames (SFs) are assigned see Figure 2b. The interiors bays of the structure are simply connected to the composite floors, which are assigned as rigid diaphragms that provide the same response for each node within a story level during dynamic excitation. The bays and composite floor decks for each level are made of 248 MPa steel, and they are acting together thanks to rigid diaphragms. The lumped mass of the ground level, the first level, the second through eighth levels, and the ninth level are in order  $9.65 \times 10^5$  kg,  $1.01 \times 10^6$  kg,  $9.89 \times 10^5$  kg, and  $1.07 \times 10^6$  kg. The total mass of the whole structure above the ground level is  $9.00 \times 10^6$  kg. A-A axis showing columns-and beams connections is portrayed in Figure 2c. To further the structural design and structural property, the readers refer to [24,25].

It is assumed that each floor has a rigid diaphragm behavior that can provide to transfer all loads directly to the columns. Each node on a floor has the same response employing the diaphragm under earthquake loadings. The structure is simplified and represented by two orthogonal (x and y) and one rotational ( $\theta$ ) degree of freedom in each story. Moreover, a 10% moment reduction at the splices is assigned, and shear deformation in elements is neglected. For moment frames (MFs) and simple frames (CFs), the lateral stiffness capacity is calculated respectively by using Eqs. (1) – (2) [26] and Eq. (3)



**Figure 2.** The structural details of Benchmark buildings modified it from [25]: (a) The orientations of columns in the plan, (b) Beams and columns connection types in the frames, and (c) Elevation-views

$$k = \frac{24 E I_c}{h^3} \frac{12 \rho + 1}{12 \rho + 4} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{I_b}{4I_c} \quad (2)$$

$$k = \frac{3 E I_c}{h^3} \quad (3)$$

where  $k$  is the equivalent stiffness For moment frames (MFs) and simple frames (CFs),  $\rho$  is the beam-to-column stiffness ratio,  $I_c$  and  $I_b$  are the moments of inertia of the beam and columns in a moment frame (MF), and  $h$  and  $E$  are, in order, the floor height and material elasticity. The structural property of the Benchmark building with cross frames is given in Table 1.

**Table 1.** The Benchmark building structural components and steel sections used in the braced frames

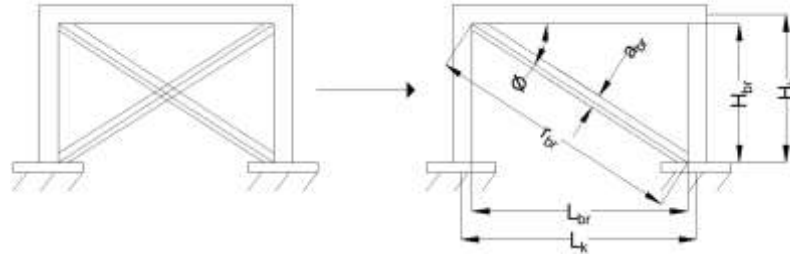
Story no	Heights (m)	Ext. Columns	Int. Columns	Beam	Brace
1	5.49	W14x370	W14x500	W36x160	HSS 14x14x7/8
2	3.96	W14x370	W14x500	W36x160	HSS 14x14x7/8
3	3.96	W14x370	W14x455	W36x135	HSS 12x12x5/8
4	3.96	W14x370	W14x455	W36x135	HSS 12x12x5/8
5	3.96	W14x283	W14x370	W36x135	HSS 12x12x5/8
6	3.96	W14x283	W14x370	W36x135	HSS 12x12x5/8
7	3.96	W14x257	W14x283	W30x99	HSS 10x10x5/8
8	3.96	W14x257	W14x283	W27x84	HSS 10x10x5/8
9	3.96	W14x233	W14x257	W24x68	HSS 8x8x1/2

## 2.2. Cross Bracing Frames into Steel Buildings

Cross frames into moment-resisting-frames (MRFs) of a steel structure can significantly improve the safety and stability of the structure by increasing lateral and torsional load capacity. The effectiveness of the cross frame can be controlled and improved when the cross frame must satisfy the design requirements [27]. In this research, cross frames are employed to control undesirable lateral and torsional vibration under selected real saved earthquake ground motions. For simplicity in the analysis of the Benchmark building with CFs placements, the CFs are idealized by using the equivalent compression strut.

### 2.2.1. Theory of the Equivalent Compression Strut

When computing the torsional stiffness of the cross frame, an elastic truss analysis is often employed [28]. For a tension-only system, the contribution of the compression diagonal is neglected, and the single diagonal model illustrated in Figure 3 is analyzed.



**Figure 3.** Cross frame design in compression

where  $\theta$  is the angle between the height and length of the cross-frame member.  $H_{br}$ ,  $H_k$ , and  $L_{br}$ ,  $L_k$  are respectively the height and length of the equivalent compression strut and frame. The diagonal length of the cross frame is denoted as  $r_{br}$  in compression, the width of the strut is  $a_{br}$ . To determine the diagonal and rotational (according to [28]) stiffness of the cross frame are respectively as:

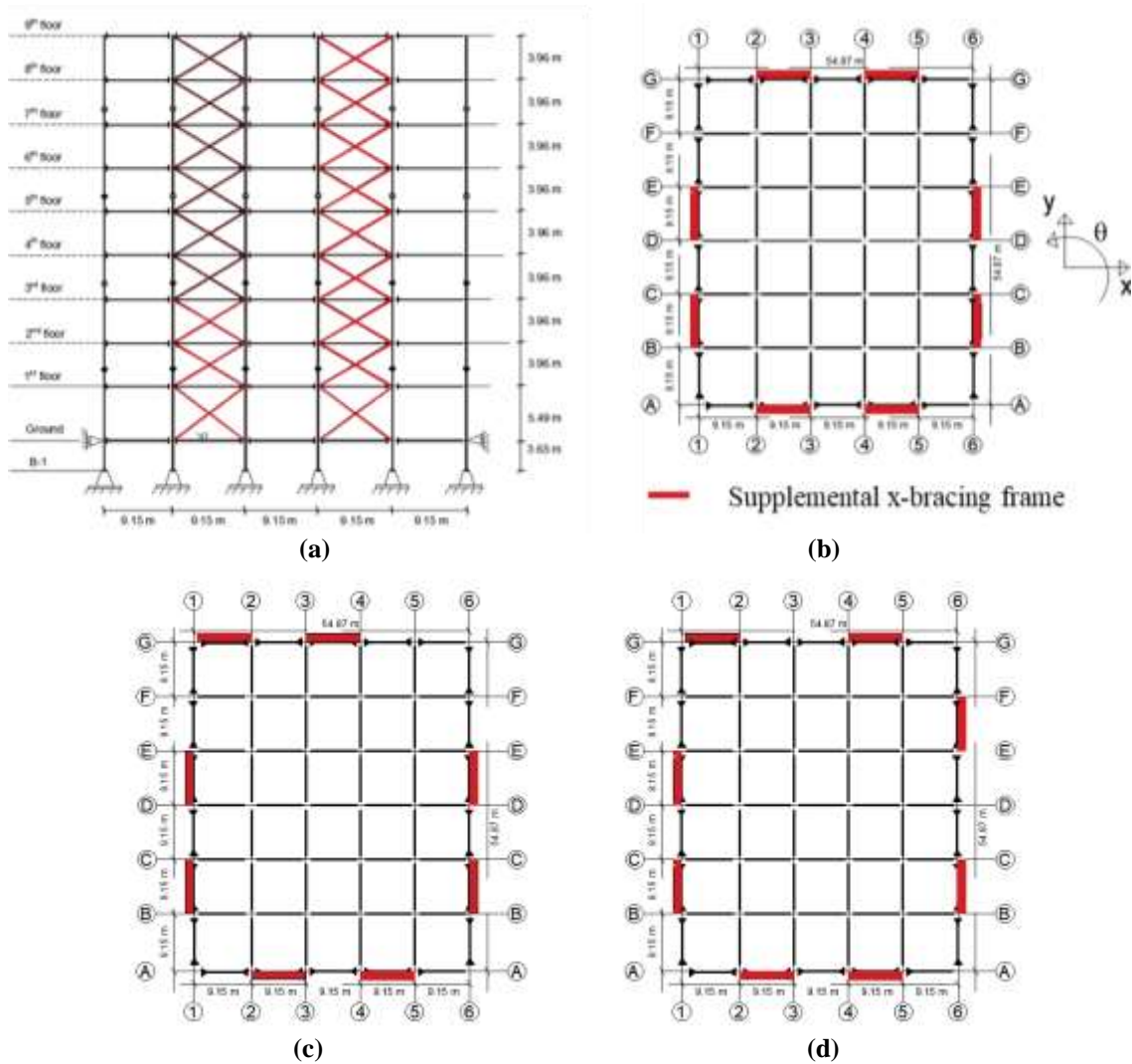
$$k_{br} = \frac{A_{br}E \cos^2(\theta)}{L_{br}} \quad (4)$$

$$\beta_{br} = \frac{EH_{br}^2 L_{br}^2}{\frac{2r_{br}^3}{A_c} + \frac{L_{br}}{A_h}} \quad (5)$$

where  $k_{br}$  and  $\beta_{br}$  are the equivalent diagonal and torsional stiffness calculate when employing the cross frame into the moment frame (MF) considering only the axial stiffness of the members,  $E$  is the modulus of elasticity (200 GPa),  $A_c$  and  $A_h$  are respectively the area of the diagonal member and area of each strut.

### 2.3. The Selections of the CFs Placements in the Benchmark Building

In order to mitigate not only lateral vibrations but also twisting of the structure, there are three cross frames placements into Benchmark 9-story steel structure's MRFs that are pre-determined by the consideration of eliminating eccentricity between CM and CS of each floor. As seen in see Figure 4, the placements of Case 1 in the plan view are illustrated in section a and its corresponding A-A elevation views are provided in section b. Cross frames (CFs) are placed from ground level to the top floor without any discontinuity in the determined frames. For this reason, for Case 2 and Case 3, there are only plan views of the placement of cross frames provided, see Figure 4c and Figure 4d. In addition, the section properties of the Benchmark building structural components and used braced frames for each floor are tabulated in Table 2. For the cross-frame placements, the HSS section is selected with different section properties for each floor. Assuming that each cross-frame strut is connected to the main-frame as a pin connection and its damping ratio is taken by a 100% increase as compared to the Benchmark structure. In this research, three different placements of the x-bracing system, (Case 1, Case 2, and Case 3) will be taken into account of seismic analysis, and the most effective placement will be determined.



**Figure 4.** Different placements of the x-bracing system in moment resisting frames (MRFs): (a) A-A elevation view of Benchmark building, (b) in the plan view for Case 1 and x-bracing placement in the plan view of the Benchmark building for (c) Case 2 and (d) Case 3.

**Table 2.** The geometric property and the contributions of the used cross-frame systems into MRFs

Story no	Brace	Geometric property					Contributions			
		A <sub>c</sub> (m)	A <sub>br</sub> (m)	W (kg/m)	L <sub>br</sub> (m)	r <sub>br</sub> (m)	Angle (Ø)	W (kg)	Lateral Stiff. (N/m)	Torsional stiff. (N/m)
1	HSS 14x14x7/8	0.03	3.13	20.68	2.77	10.67	30	3530.70	1.06E+09	2.18E+10
2	HSS 14x14x7/8	0.03	3.13	20.68	2.77	9.97	23	3298.93	6.95E+08	1.39E+10
3	HSS 12x12x5/8	0.02	2.70	12.90	2.39	9.97	23	2057.84	4.41E+08	8.91E+09
4	HSS 12x12x5/8	0.02	2.70	12.90	2.39	9.97	23	2057.84	4.41E+08	8.91E+09
5	HSS 12x12x5/8	0.02	2.70	12.90	2.39	9.97	23	2057.84	4.41E+08	8.91E+09
6	HSS 12x12x5/8	0.02	2.70	12.90	2.39	9.97	23	2057.84	4.41E+08	8.91E+09
7	HSS 10x10x5/8	0.01	2.26	10.55	2.01	9.97	23	1682.96	3.43E+08	7.01E+09
8	HSS 10x10x5/8	0.01	2.26	10.55	2.01	9.97	23	1682.96	3.43E+08	7.01E+09
9	HSS 8x8x1/2	0.01	1.82	6.75	1.61	9.97	23	1076.78	2.21E+08	4.56E+09

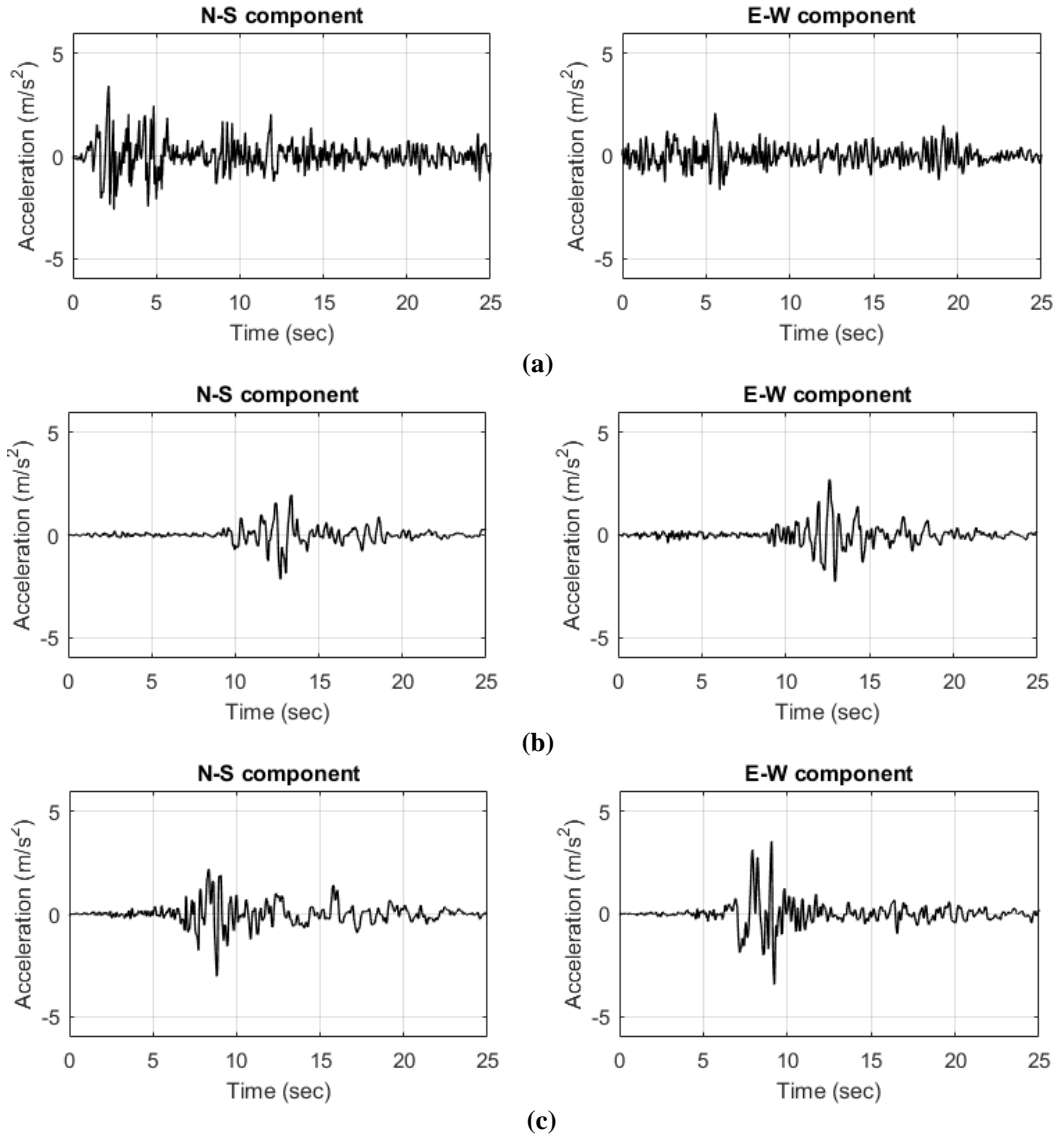
## 2.4. Analysis Method

Time history analysis (THA) is dynamic analysis. Most of the seismic codes [29,30] discourage usage because of the long-time required in the simulation analysis compared to other under-recorded earthquake data. Response spectrum analysis (RSA) is mostly preferred instead of the THA. However, The THA is a more trustworthy analysis method to assess the system dynamic response while others provide just approximate-solution.

Assuming that all structural members perform in the elastic range, and all nonlinearity, including materials or geometric, are not considered for THA analysis. The Benchmark building, including or not CFs placements as a linear time-invariant (LTI) system, is modeled as a state-space method employed in Simulink to compute structural responses easily. The analytical models need to be accurately constructed and coded in the structural analytical program package to perform structural responses in the THA for the structure with or without the different CFs placements. Therefore, the THA simulations were performed in Matlab & Simulink [31] in this study, and the results for each case were obtained and saved for evaluation purposes.

## 2.5. Ground Motion Selections

There are a lot of strong earthquakes that have been occurred in the last century. The performance of the energy dissipating system like cross bracing frames mostly depends upon the earthquake input characteristics. Therefore, in this study, three bidirectional historical earthquakes represent typical x-dominant, y-dominant, and both are determined to test the energy dissipating system, see Figure 5a, Figure 5b, and Figure 5c.



**Figure 5.** Three bidirectional historical real-life earthquakes: (a) El Centro, (b) Loma Prieta, and (c) Kocaeli earthquake

### 3. Results and Discussion

Benchmark 9-story steel structure is acquired as a reference structure, and the time history analyses are made by retrofitting the structure with three different CFs placements. The fundamental modal frequencies for all model structures are obtained and given in Table 4. As understood from it, whereas the contribution of the CFs placement into the lateral bearing system of the Benchmark building increases overall of the natural frequencies, for instance, the first mode is increased by 12% (from 7.71 to 8.69), which generally dominates total response of the structures, see Table 4. Moreover, it increases the load capacity in the lateral and torsional directions. As looking into CFs placements (Case 1; Case 2; and case 3), they all have a slightly different modal frequency in the lateral directions (x- and y-) thanks to HSS selection of the bracing elements. It improves the lateral loading capacity equally in the x- and y- direction; however, the building with Case 3 placement is more restricted against torsional motions. This fact can occur that the CFs placement in Case 3 can eliminate the eccentricity between CM and CS successfully compared to other placements and the bare structure. Therefore, Case 3 has the minimum modal frequency (26.26 rad/s) in the torsional direction.

**Table 3.** Calculated eccentricities in both orthogonal directions for the bare Benchmark building, Case 1, Case 2, and Case 3

The bare Benchmark		Case 1		Case 2		Case 3	
$e_x$ (m)	$e_y$ (m)	$e_x$ (m)	$e_y$ (m)	$e_x$ (m)	$e_y$ (m)	$e_x$ (m)	$e_y$ (m)
6.63	1.76	4.21	-2.58	2.53	-2.58	3.37	-1.01
3.53	1.23	2.58	-1.76	1.34	-1.76	1.96	-0.58
7.67	3.07	6.12	0.12	5.20	0.12	5.66	1.00
6.18	2.38	4.84	-0.52	3.86	-0.52	4.35	0.44
3.32	1.19	2.52	-1.52	1.42	-1.52	1.97	-0.45
2.16	0.75	1.60	-1.92	0.42	-1.92	1.01	-0.77
1.75	0.80	1.27	-1.64	0.01	-1.64	0.64	-0.60
1.58	0.79	1.09	-1.73	-0.31	-1.73	0.39	-0.65
1.21	0.73	0.92	-1.11	-0.20	-1.11	0.36	-0.31

Most of the structure in the real-life is likely to undergo unequally-distributed-eccentricity for each level because of the unequal distribution of structural components like columns, beams, and so on, and material and ground motion uncertainties. With consideration of these facts, three-historical earthquake ground motions are selected, and the size of used cross frames (HSS section) is assigned according to the fact that shear force is decreasing with the height of the structure. The cross frames are only integrated into moment-resisting frames of the Benchmark building, as seen in Figure 4. For all cases (case 1, case 2, and case 3), the eccentricity calculation is made, including the contribution of the simple frames. As seen in Table 3, the eccentricity is not the same throughout structure height. Each floor has a different eccentricity by comparing to one another. The inclusion of cross-frame placements changes the eccentricity location sometimes in the left-hand side and right-hand side from the center of mass (CM). Therefore, some values are shown negative, and some are positive in Table 3, which indicates the relative eccentricity distance according to the CM.

**Table 4.** The fundamental modal properties of the model buildings

Modes (rad/s)	Dominant dir.	Benchmark build.	Cross frame placements		
			Case 1	Case 2	Case 3
1st mode	y lateral	7.71	8.69	8.69	8.69
2nd mode	x lateral	12.87	13.42	13.42	13.43
3rd mode	y lateral	20.88	23.55	23.55	23.55
4th mode	⊖ torsional	26.19	26.28	26.29	26.26
5th mode	x lateral	33.25	34.84	34.84	34.86

After time history analyses are made under three selected real saved earthquake ground motions, the peak responses of the placements of the CFs placements compared with one another, including the bare Benchmark building. The results show that all three cross-frame installations are substantially surpassed the lateral vibrations, and there are slight differences for the peak response of the cross-frame placements. However, for torsional vibration control, only Case 3 is significantly reduced for both tuning and detuning loading scenarios, see Table 5. In the case of the El Centro earthquake, Case 1 (0.132) and Case 2 (0.130) placements even increase the torsional effects in comparison with the bare structure. Moreover, Case 3 gives the best performance with the values (0.08 (32% decrease); 0.071(50% decrease); and 0.133 (31% decrease) for the response reduction in the torsional direction for all earthquake loading cases, besides, the response reduction in the lateral directions.

**Table 5.** The maximum response of the case structures under bidirectional loadings, units; cm and  $10^{-3}$ rad

Structure	El Centro			Loma Prieta			Kocaeli		
	x-	y-	θ-	x-	y-	θ-	x-	y-	θ-
Bare Benchmark	8.24	10.65	0.11	4.38	17.10	0.14	6.29	13.18	0.19
Case 1	6.85	7.46	0.13	3.67	16.82	0.12	5.80	10.37	0.16
Case 2	6.85	7.46	0.13	3.66	16.85	0.08	5.81	10.39	0.14
Case 3	6.87	7.45	0.08	3.67	16.85	0.07	5.82	10.39	0.13



Overall, the CFs placement of Case 3 is so effective, especially in controlling torsional response as compared to other as well as in the lateral directions by significantly eliminating the eccentricity in the plan configuration.

#### 4. Conclusion

Unlike using sophisticated modern control systems, the traditional energy dissipating devices with the right engineering design perspective can be useful as much as the modern control systems. Therefore, this study aims to observe and test the effects of CFs placements when the retrofitted structure is exposed to bidirectional three historical ground motions that might cause either tuning or detuning effects. The conclusions stated below can be figured out from the time history analysis results:

1. The contribution of the CFs placement into the moment resisting frames of the Benchmark building increases overall of the natural frequencies, for instance, the first mode is increased by 12% for all three loading cases, which generally dominates the total response of the structures.
2. The inclusion of cross frames struts into the moment frame in a structure has significant effects on the structural dynamics and stability. When they are integrated into the bare Benchmark building, it changes the eccentricity between the center of mass and stiffness for each floor significantly by increasing the structural lateral and torsional loading capacity effectively. Using them in the design of the structure with no torsional irregularity is not always the right way to follow because it may lead to unevenly distributed stiffness in the plan and elevation. Therefore, it can be convenient to have an engineering investigation on the system dynamic and stability, including additional energy dissipating systems before applying them.
3. All three cross-frame placements are successfully surpassed the lateral vibrations and slightly different for the peak response of the cross frame placements. However, only Case 3 is significantly reduced for both tuning El Centro (32% decrease) and detuning Loma Prieta (50% decrease), and Kocaeli (31% decrease) for torsional vibration control.
4. Overall, the CFs placement of Case 3 is a right engineering design perspective that is so effective, especially in controlling torsional response as compared to others as well as in the lateral directions by significantly eliminating the eccentricity in the plan configuration.

#### Author's Contributions

Corresponding author, OA, has performed and conducted on all stages of this research; the novelty of the research idea, theory, and its application, simulation and results, writing stage, and so forth.

#### Statement of Conflicts of Interest

The author declared no potential conflicts of interest for the research, authorship, and/or publication of this article.

#### Statement of Research and Publication Ethics

It is declared that the author has obeyed the rule(s) of the Research/Publication Ethics.

#### References

- [1] Arslan MH, Korkmaz HH. What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey? *Eng Fail Anal* 2007;14:1–22. doi:10.1016/j.engfailanal.2006.01.003.
- [2] Gokdemir H, Ozbasaran H, Dogan M, Unluoglu E, Albayrak U. Effects of torsional irregularity to structures during earthquakes. *Eng Fail Anal* 2013;35:713–7. doi:10.1016/j.engfailanal.2013.06.028.
- [3] Işık E, Özdemir M, Karaşin İB. Performance Analysis of Steel Structures with A3 Irregularities. *Int J Steel Struct* 2018;18:1083–94. doi:10.1007/s13296-018-0046-6.
- [4] Šipoš TK, Hadzima-Nyarko M. Seismic risk of croatian cities based on building's vulnerability.

- Teh Vjesn 2018;25:1088–94. doi:10.17559/TV-20170708190145.
- [5] Işık E, Işık MF, Bülbül MA. Web based evaluation of earthquake damages for reinforced concrete buildings. *Earthq Struct* 2017;13:387–96. doi:10.12989/eas.2017.13.4.387.
- [6] Güler K, Celep Z. On the general requirements for design of earthquake resistant buildings in the Turkish Building Seismic code of 2018. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 737, Institute of Physics Publishing; 2020, p. 012015. doi:10.1088/1757-899X/737/1/012015.
- [7] Moon DS. *Integrated Seismic Assessment and Design Of Plan-Irregular Structures*. University of Illinois at Urbana-Champaign, 2012.
- [8] Akyürek O. *Lateral and Torsional Seismic Vibration Control for Torsionally Irregular Buildings*. Florida Institute of Technology, 2019.
- [9] Damjan M, Fajfar P. On the inelastic seismic response of asymmetric buildings under bi-axial excitation. *Earthq Eng Struct Dyn* 2005;34:943–63. doi:10.1002/eqe.463.
- [10] Satheesh AJ, Jayalekshmi BR, Venkataramana K. Effect of in-plan eccentricity in vertically mass irregular RC framed buildings under seismic loads. *Asian J Civ Eng* 2019;20:713–26. doi:10.1007/s42107-019-00138-w.
- [11] Akyürek O, Suksawang N, Hiong T. Vibration control for torsionally irregular buildings by integrated control system. *Eng Struct* 2019;201:109775. doi:10.1016/j.engstruct.2019.109775.
- [12] Li C. Performance of multiple tuned mass dampers for attenuating undesirable oscillations of structures under the ground acceleration. *Earthq Eng Struct Dyn* 2000;29:1405–21. doi:10.1002/1096-9845(200009)29:9<1405::AID-EQE976>3.0.CO;2-4.
- [13] Xu K, Igusa T. Dynamic characteristics of multiple substructures with closely spaced frequencies. *Earthq Eng Struct Dyn* 1992;21:1059–70. doi:10.1002/eqe.4290211203.
- [14] Park J, Reed D. Analysis of uniformly and linearly distributed mass dampers under harmonic and earthquake excitation. *Eng Struct* 2001;23:802–14. doi:10.1016/S0141-0296(00)00095-X.
- [15] Lavan O. Multi-objective optimal design of tuned mass dampers. *Struct Control Heal Monit* 2017;24:e2008. doi:10.1002/stc.2008.
- [16] Gill D, Elias S, Steinbrecher A, Schröder C, Matsagar V. Robustness of multi-mode control using tuned mass dampers for seismically excited structures. *Bull Earthq Eng* 2017;15:5579–603. doi:10.1007/s10518-017-0187-6.
- [17] Battistini AD, Wang WH, Helwig TA, Engelhardt MD, Frank KH. 2012. Comparison of the stiffness properties for various cross frame members and connections. *Struct. Stab. Res. Council. Annu. Stab. Conf.*, 244-257.
- [18] Battistini AD. 2014. *Stiffness and Fatigue Behavior of Cross Frames for Steel Bridge Applications*. Doctoral Dissertation, University of Texas at Austin, Texas, USA.
- [19] Emrah Erduran, Ryan KL. Effects of torsion on the behavior of peripheral steel-braced frame systems. *Earthq Eng Struct Dyn* 2010;40:491–507. doi:10.1002/eqe.
- [20] Chen C-H, Lai J-W, Mahin SA. Seismic Performance Assessment of Concentrically Braced Frames. *13 World Conf Earthq Eng* 2004:1–8. doi:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002276.
- [21] Ülker M, Işık E, Ülker M. 2018. The Effect of Centric Steel Braced Frames with High Ductility Level on the Performance of Steel Structures. *Fırat Univ Turkish J Sci Technol.*, 13: 61-64.
- [22] Akyürek O. 2014. *Betonarme Bina Performansına Dolgu Duvarların Etkisi (The effects of infill walls in RC building performance)*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [23] Aksoylu C, Sezer R. Investigation of precast new diagonal concrete panels in strengthened the infilled reinforced concrete frames. *KSCE J Civ Eng* 2018;22:236–46. doi:10.1007/s12205-017-1290-6.
- [24] Ohtori Y, Christenson RE, Spencer BF, Dyke SJ. Benchmark Control Problems for Seismically Excited Nonlinear Buildings. *J Eng Mech* 2004;130:366–85. doi:10.1061/(ASCE)0733-9399(2004)130:4(366).
- [25] Federal Emergency Management Agency (FEMA). FEMA 355F - State of the Art Report on Performance Prediction and Evaluation of Steel Moment-Frame Buildings. *Fema-355F* 2000;1:1–367.
- [26] Chopra AK. *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*. vol. 23. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall; 2000. doi:10.1193/1.1586188.
- [27] Helwig T, Engelhardt MD, Frank KH. Comparison of the Stiffness Properties for Various Cross

- Frame Members and Connections Comparison of the Stiffness Properties for Various Cross Frame Members and Connections 2012.
- [28] Yura JA. Fundamentals of beam bracing. Eng Journal-American Inst Steel Constr 2001;38:11–26.
- [29] Society of Civil Engineers A. ASCE American Society of Civil Engineers Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures This document uses both the International System of Units (SI) and customary units. 2006.
- [30] AFAD ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. vol. 30364. 2018.
- [31] MathWorks, M. A. T. L. A. B. 2016. SIMULINK for technical computing. Available on <https://www.mathworks.com/> 2016.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **A Novel Analog Modulation Classification: Discrete Wavelet Transform-Extreme Learning Machine (DWT-ELM)**

Mehmet USTUNDAG\*

*Malatya Turgut Ozal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,  
Department of Electrical-Electronics Engineering, Turkey  
(ORCID: 0000-0003-4936-7690)*

---

### **Abstract**

The aim of this study is to propose a method using discrete wavelet transform and extreme learning machine (DWT-ELM) in classification of communication signals. Six types of analog modulated signals as “AM”, “DSB”, “USB”, “LSB”, “FM” and “PM” are used for classification and analog modulated signal dataset consists of 1920 signals. These signals are also added white noise. Feature extraction is performed using different DWT filters. The feature vector obtained from DWT is used in classification. ELM is preferred due to its advantages over conventional back-propagation based classification. The feature vector is fed by the inputs of the ELM. The performance of the proposed method is evaluated for different types of DWT filters. In addition, compared results with similar study are presented to be able to determine the success of the proposed method.

**Keywords:** DWT-ELM, ELM classification, Wavelet Transform, Analog modulated signals.

---

## **Yeni Bir Analog Modülasyon Sınıflandırması: Ayrık Dalgacık Dönüşümü-Aşırı Öğrenme Makinesi (ADD-AÖM)**

### **Öz**

Bu çalışma, analog modüle edilmiş iletişim sinyallerinin sınıflandırılması için ayrık dalgacık dönüşümü - aşırı öğrenme makinesine (ADD-AÖM) dayalı yeni bir yöntem önermektedir. Sınıflandırma için AM, DSB, USB, LSB, FM ve PM olmak üzere altı tip analog modüle edilmiş sinyal kullanılır ve analog modüle edilmiş sinyal veri seti 1920 sinyalden oluşur. Bu sinyallere ayrıca beyaz gürültü eklenir. Özellik çıkarma işlemi, farklı ADD filtreleri kullanılarak gerçekleştirilir. ADD'den elde edilen öznelik vektörü sınıflandırmada kullanılır. AÖM, geleneksel geri yayılmaya dayalı sınıflandırmaya göre avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Özellik vektörü, AÖM sınıflandırıcısının girişine beslenir. Önerilen yöntemin performansı, farklı ADD filtreleri için değerlendirilir. Ayrıca, önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için benzer çalışma ile karşılaştırılan sonuçlar sunulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** ADD-AÖM, AÖM sınıflandırma, Dalgacık Dönüşümü, Modüle edilmiş analog sinyaller.

---

### **1. Introduction**

The analog modulated communication signal (AMCS) classification is stage between detection and demodulation of a signal. It is widely used in various fields, such as civil and military applications. In earlier studies on analog modulated communication signal classification, the measured parameters had been interpreted by an expert. The classification of AMCS has been made in three ways: classical methods, semi-automatic methods and automatic methods. In the classic method, spectrum feature, instantaneous amplitude and phase of the signal to be analysed are evaluated by human. The designed demodulator for one of each modulation type was utilized in the semi-automatic methods. Automatic methods for analog modulated communication signal classification automatically decide the modulation

---

\*Corresponding author: [mehmet.ustundag@ozal.edu.tr](mailto:mehmet.ustundag@ozal.edu.tr)

Received: 03.01.2021, Accepted: 19.03.2021

type. Automatic analog modulation classification methods can be divided: “decision-theoretic”, “statistical pattern recognition” approaches and intelligent system based approaches.

There have been existed some studies in literature on automatic classification of the AMCS. Ref. [1] proposes a modulation classifier using instantaneous frequency and amplitude. The proposed method can distinguish between “AM”, “FM” and “DSB” signals. Ref. [2] presented a modulation method based envelope characteristic of the signal for classification of “AM”, “FM”, “DSB” and “SSB” analog modulation types. Ref. [3] a method has been proposed to classify analog radio signals. A method for analog modulation classification is presented to distinguish AM and noisy environment in Ref. [4]. A modulation classifier is presented to distinguish “USB” and “LSB” in Ref. [5]. To recognize the modulation type, the presented method uses instantaneous frequencies of these signals. In Ref. [6], a modulation classifier is proposed for recognition of the modulation kinds such as “AM”, “DSB”, “VSB”, “LSB”, “USB”, “FM” and mixed modulation signals. Ref. [7] suggests a method based on decision theoretic approach. Ref. [8-10] present an automatic method based on ANN for modulation classifier. Ref. [11] proposes a new modulation classification method based on discrete wavelet neural network.

This study proposes a novel automatic analog modulation method based on DWT-ELM for recognition of the six modulation types. The modulation types are “AM”, “DSB”, “USB”, “LSB”, “FM” and “PM”. 1920 AMCS are generated by MATLAB Communication Toolbox and they are used for the training and testing of the proposed method. Performance of the proposed method is evaluated for different wavelet filter families such as “Symlets”, “Daubechies”, “Biorthogonals”, and “Coiflets”. Further, the results of the proposed method are compared with Ref. [11]. The obtained classification results show that the proposed method has better classification performance over previous studies.

This paper: Section 2 explains analog modulated signals, section 3 and section 4 presents DWT and ELM, respectively. The proposed method is given in Section 5. Application of the proposed method and obtained results is presented in Section 6. Finally, shows the results in Section 7.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Analog Modulated Signals (AMS)

An AMS  $f(t)$  can be formulated as follows [11]:

$$f(t) = e_c s(t) \cos(2\pi f_c t + \varphi(t) + \theta_0) \quad (1)$$

Here;  $f_c$  is carrier frequency,  $\varphi(t)$  is phase of signal,  $s(t)$  is signal envelope and  $\theta_0$  is initial phase of signal. It is shown that  $e_c$  controls power of the carrier signal. Six AMS types used in this study is presented as follows [11]:

(Transmission carrier amplitude modulation “AM”); The equation for this signal is shown below:

$$f(t) = 1 + m. f(t). \cos(2\pi f_c t) \quad (2)$$

(Double sideband with suppress carrier AM “DSB”); The equation for this signal is shown below:

$$f(t) = f(t). \cos(2\pi f_c t) \quad (3)$$

(Upper side band modulation “USB”); The equation for this signal is shown below:

$$f(t) = f(t). \cos(2\pi f_c t) - h(t). \sin(2\pi f_c t) \quad (4)$$

(Lower side band modulation “LSB”); The equation for this signal is shown below:

$$f(t) = f(t). \cos(2\pi f_c t) + h(t). \sin(2\pi f_c t) \quad (5)$$

(Frequency modulation “FM”); The equation for this signal is shown below:

$$f(t) = \cos(2\pi f_c t + K_f \int_{-\infty}^t x(\tau) d\tau) \tag{6}$$

(Phase modulation “PM”); The equation for this signal is shown below:

$$f(t) = \cos(2\pi f_c t + 2\pi\varphi(t) + \theta_0) \tag{7}$$

### 2.2. Discrete Wavelet Transform (DWT)

Basic feature extraction constitutes an important step in pattern classification. Time and frequency information of AMS is important. Since the modulated signal may contain different components, it is correct to separate the signal into "detail components" [12]. The DWT analyzes the signal with various resolutions by decomposing the approximate and detailed coefficient signals in various frequency bands, so it is often used in the model classification [12].

The DWT consists of two parts as shown in Figure 1. These are low and high pass filters. After the modulated signal is applied to these filters, approximate and detail coefficients are obtained.

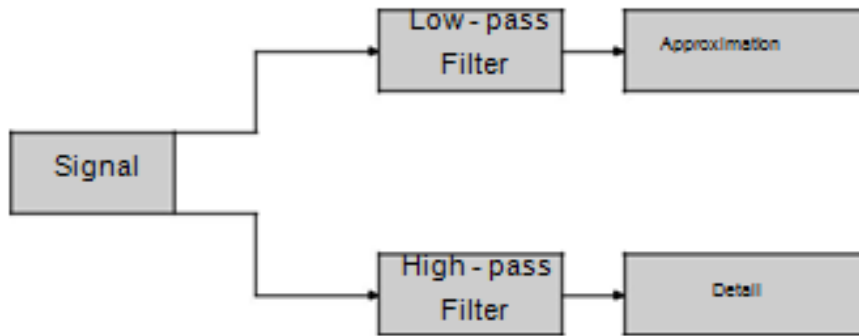


Figure 1. DWT decomposition structure

In the DWT method, when resolving high frequency components in a minor window, they need large time windows to solve low frequency components. Because the signal has low and high frequency components. At the same time, components with high frequency are represented in smaller time intervals, while components with low frequency are represented in larger time intervals. The equality of DWT function is shown below [13]:

$$d_m(t_m) = x(t)\psi_m\left(\frac{t - t_m}{2^m}\right) \tag{8}$$

In this equation, " $\psi_m$ " is the  $m$  level decomposition filter. In DWT transformation, it is divided into its components as  $2^m$  according to the value of  $m$ . Time-frequency coefficients obtained from the signal [14]:

$$d[n] = x[n]h[n], \quad c[n] = x[n]g[n] \tag{9}$$

In Equation 9, " $h[n]$ " is the "impulse response" of the "high-pass filter", " $g[n]$ " is the "impulse response" of the "low-pass filter" [12, 15, 16].

### 2.3. Extreme Learning Machine

ELM can be called a single hidden layer feed forward network without a neuron in its hidden layer [17], [18]. For the ELM method; Output function for "Single Hidden Layer Feed Forward Neural Networks" (SLFN) is given below.

$$f_L(x) = \sum_{i=1}^L \beta_i h_i(x) = h(x)\beta \tag{10}$$

In the equation;  $\beta = [\beta_1, \dots, \beta_L]^T$  is the output weight vector.  $h(x) = (h_1(x), \dots, h_L(x))$  is the feature mapping of the equation ELM. The hidden neurons used in ELM may have different output functions and they may not be unique.

ELM uses two steps when training the SLFN. These are linear parameter decoding and random feature mapping. The ELM uses some nonlinear mapping functions to initialize the hidden layer, thus extracting the feature space for input data. The random feature differs from current learning algorithms, such as deep neural networks [19], that use the mapping phase, SVM, Auto (Encoders/Decoders). The mapping functions used in the ELM method can be nonlinear piecewise continuous functions.

ELM is more efficient than conventional Back-Propagation (BP) neural networks. The reason for this is that hidden node parameters used in ELM are randomly generated. Randomly generated nodes were created according to the probability distribution.

Other than the filter functions listed in Table 2, there are also functions such as fuzzy ELM [20-22] and wavelet ELM [23-26]. In the next step, the weights denoted by and combining the hidden layer and the output layer are solved by reducing the approximate error to the square error.

$$\min_{\beta \in \mathbb{R}^{L \times m}} \|\mathbf{H}\beta - \mathbf{T}\|^2 \tag{11}$$

Here “**H**” is the “hidden layer” output matrix given in the Eq. (12):

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h(x_1) \\ \vdots \\ h(x_N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_1(x_1) & \dots & h_L(x_1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ h_1(x_N) & \vdots & h_L(x_N) \end{bmatrix} \tag{12}$$

This symbol ( $\|\cdot\|$ ) is used to show the Frobenius norm. The most appropriate solution for Eq. (11) is given below:

$$\beta^* = \mathbf{H}^\dagger \mathbf{T} \tag{13}$$

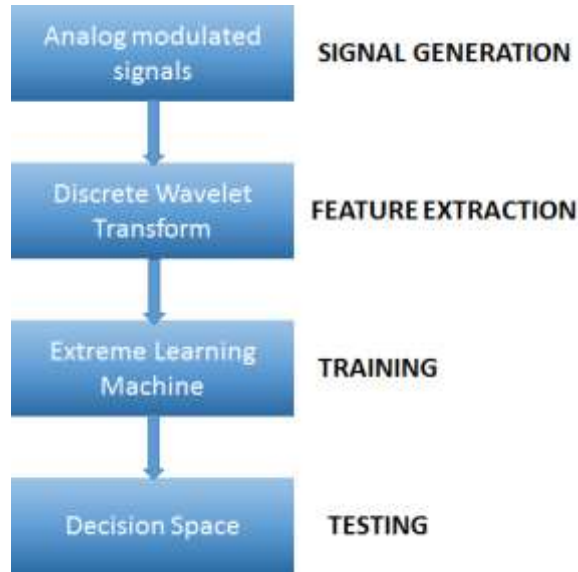
The "H" given here indicates the generalized inverse of the "H" matrix with Moore-Penrose. There are many effective methods to solve the problem given in the above equation, such as “orthogonal projection method”, Gaussian elimination, “iterative method” and “single value decomposition (SVD)” etc. [27].

The difference of “ELM” from traditional learning algorithms is to simultaneously satisfy a few salient targets [28-30]. Generalization performance is not considered in most algorithms when the feedforward neural networks are proposed for the first time.

## 2.4. Proposed Method

In this paper, AMS dataset is created by MATLAB Communication Toolbox. In these signals, “a message signal”, which is a real “voice signal” with band-limited to 4 kHz, is used. Extensive simulation studies are performed to produce analog-modulated signals using different values of signal parameters such as phase, modulation index, “Signal-to-Noise Ratio” (SNR), and frequency deviation in FM, phase deviation in PM. The 320 signals are obtained for each of analog-modulation signals by means of simulation studies. The details of analog modulated signal generation are given in Table 1.

The steps of the proposed method is given in Figure 2. The proposed method can be divided into four steps: signal generation, feature extraction, training and testing.

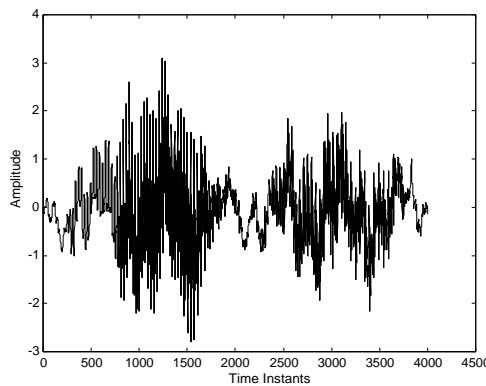


**Figure 2.** Steps of the proposed method

1920 AMS are created by using functions in “MATLAB Communication Toolbox” for “AM”, “DSB”, “USB”, “LSB”, “FM”, and “PM”. In the feature extraction step, the DWT is applied to the AMS. Tree structure with 7-level was used in DWT decomposition. Daubechies wavelets (“db2”, “db3”, “db5”, “db8”, “db10”), “Symlets wavelets” (“sym2”, “sym3”, “sym5”, “sym7”, “sym8”), “Biorthogonal wavelets” (“bior1.3”, “bior2.2”, “bior2.8”, “bior3.5”, “bior6.8”) and “Coiflets wavelets” (“coif1”, “coif2”, “coif3”, “coif4”, and “coif5”) are used in DWT decomposition. Thus, a comparison study is performed by using different wavelet filter type. After the AMS are separated into their components by filters, seven detail coefficients and one approximation coefficient are obtained. Then, the adaptive wavelet norm entropy  $E(s)$  given in Eq.14 is computed for each of “DWT coefficients”.

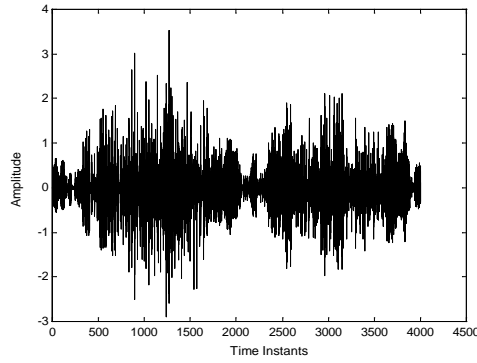
$$E(s) = \frac{\sum_i |s_i|^p}{N} \quad (14)$$

Here,  $s$  is terminal node signal, and  $p$  is power. In this study,  $p$  parameter value is selected between (12) and its value is update by step increments of 0.1. Further,  $p$  parameter is normalized by using its maximum value. The real voice signal used in this study are depicted in Figure 3. “DWT” of an “AM” modulated signal are given in Figure 3 for “db2”, “sym5”, “bior6.8”, and “coif3” wavelet filters.



**Figure 3.** Real voice signal





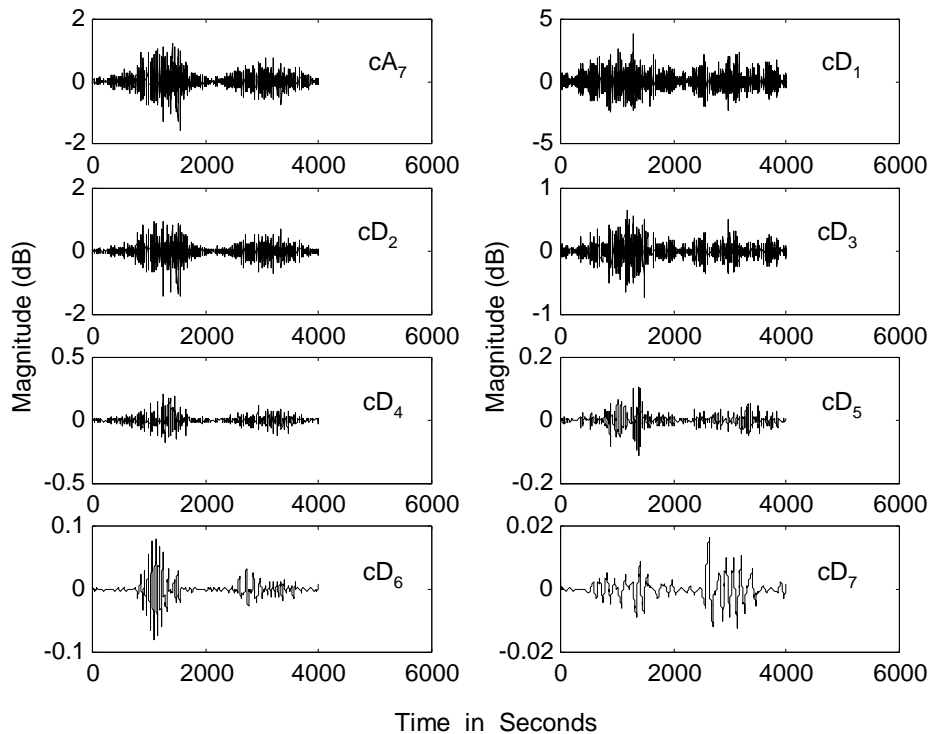
**Figure 4.** AM modulated signal with “ $m = 0.5$ ”, and “ $\theta_0 = 0$ ”

The feature extraction method (FEM) for different wavelet filter types used in this study is given in Table 2.

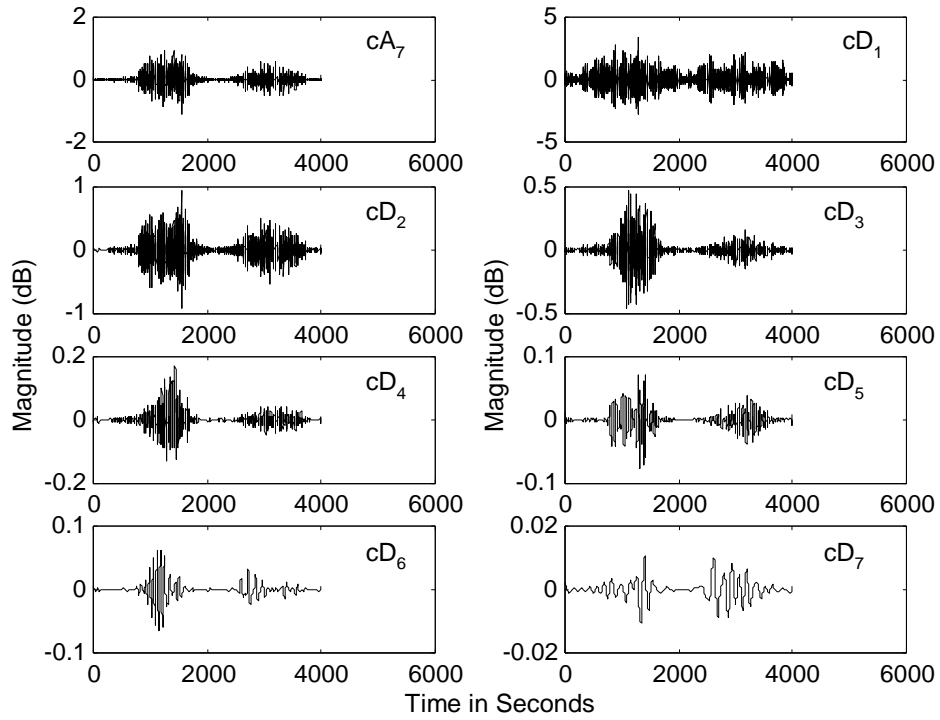
In this study, ELM is preferred as classifier due to its superiority over traditional backpropagation algorithms. Tangent sigmoid is used in the “activation function” preference.

### 3. Results

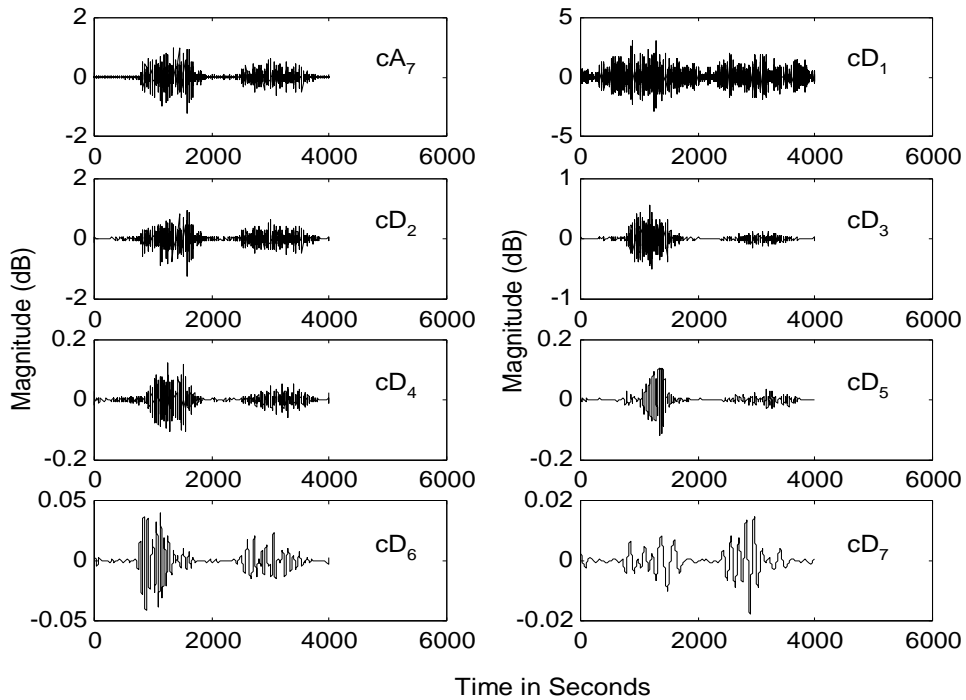
The experiments are performed for classification of the six analog modulated signals. For this aim, 320 signals are generated for each analog modulated signals. 50% of analog modulated signals (960 signals) is used for training of the ELM classifier and remaining signals (960 signals) for testing of the ELM. These training and testing of the classifier are repeated for each of FEMs. In Table 3, the obtained results are given in terms of “training time” and “classification accuracy” for each FEM. This table shows that FEM-18 reaches to “desired error value” in the “shortest time” whereas FEM-17 reaches longest time. FEM-2 has the best training performance among other FEMs and FEM-18 has the worst training performance.  $p$  parameter value is 1 at the end of update for FEM-2. Updated  $p$  parameter value is 1.1 for FEM-18. In Table 3, HNN is hidden neuron number of ELM, TEN is training epoch number, the LVP is last value of  $p$  parameter, MSE is mean square error and TA is percent testing accuracy.



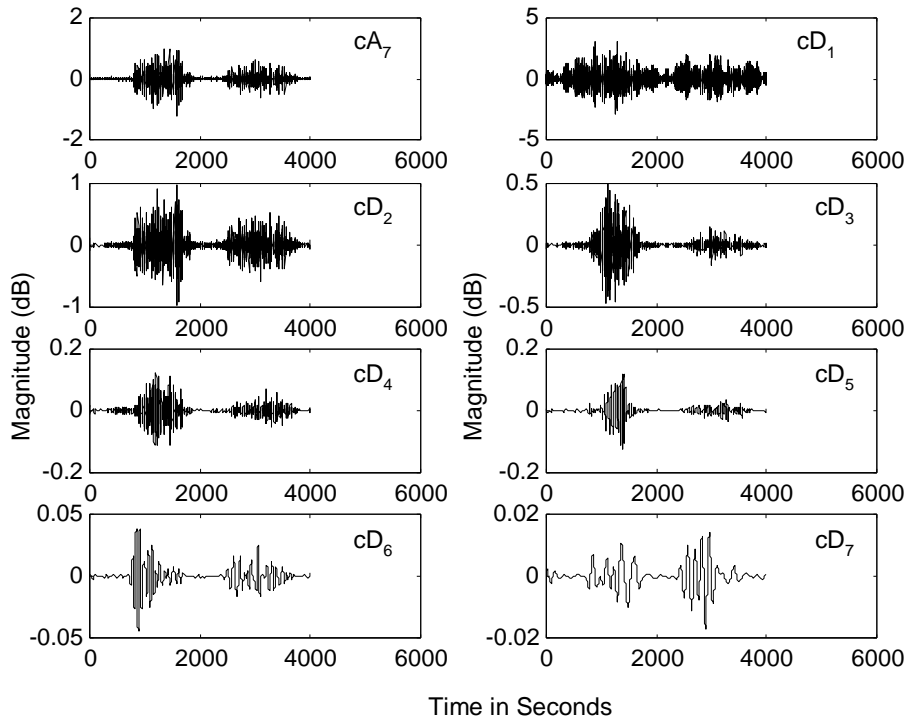
**Figure 5.** Waveforms showing the detail and approximate coefficients of the AM signal up to the 7th level of decomposition (“db2” wavelet filters)



**Figure 6.** Waveforms showing the detail and approximate coefficients of the AM signal up to the 7th level of decomposition (“sym5” wavelet filters)



**Figure 7.** Waveforms showing the detail and approximate coefficients of the AM signal up to the 7th level of decomposition (“bior6.8” wavelet filters)



**Figure 8.** Waveforms showing the detail and approximate coefficients of the AM signal up to the 7th level of decomposition (“coif3” wavelet filters)

**Table 1.** The details of AMS generation

Signal type	Modulation index	White Gaussian noise with SNR	initial phase	Phase deviation	Total
“AM”	0.2, 0.5 and 1	Between 0 - 60 dB	$0, \pi/6, \pi/2$	-	320
“DSB”	-	Between 0 - 60 dB	$0, \pi/6, \pi/2$	-	320
“USB”	-	Between 0 - 60 dB	$0, \pi/6, \pi/2$	-	320
“LSB”	-	Between 0 - 60 dB	$0, \pi/6, \pi/2$	-	320
“FM”	1.5 and 10	Between 0 - 60 dB	$0, \pi/6, \pi/2$	-	320
“PM”	-	Between 0 - 60 dB	$0, \pi/6, \pi/2$	$\pi/9, \pi/12, \pi/18$	320

**Table 2.** FEM for different wavelet filter types used in this study

Wavelet filter type	FEM	Wavelet filter type
“FEM-1”	“db2”	“FEM-11”
“FEM-2”	“db3”	“FEM-12”
“FEM-3”	“db5”	“FEM-13”
“FEM-4”	“db8”	“FEM-14”
“FEM-5”	“db10”	“FEM-15”
“FEM-6”	“sym2”	“FEM-16”
“FEM-7”	“sym3”	“FEM-17”
“FEM-8”	“sym5”	“FEM-18”
“FEM-9”	“sym7”	“FEM-19”
“FEM-10”	“sym8”	“FEM-20”

Table 4 depict the “classification performance” of the FEM-2. As seen clearly from Table 4, two “AM signals” are classified as “LSB” and one “AM” signals as “DSB”. 157 "AM" signals have been correctly classified. The classification performance of other FEMs are illustrated in Tables 5-23.

**Table 3.** Training time and classification accuracy for different FEMs

FEM	HNN	TEN	LVP	MSE	TA
FEM-1	60	781	1.2	0.00000190	96.45
FEM-2	80	142	1	0.00000050	99.27
FEM-3	80	672	1.1	0.00000450	96.66
FEM-4	120	354	1.3	0.00000053	96.14
FEM-5	40	1132	1.5	0.00000153	95.52
FEM-6	60	784	1	0.00000451	95.52
FEM-7	40	537	1	0.00000130	95.93
FEM-8	30	2044	1.3	0.00000530	96.66
FEM-9	60	632	1.2	0.00000826	97.29
FEM-10	80	636	1.1	0.00000637	97.08
FEM-11	50	872	1.3	0.00000536	95.93
FEM-12	60	845	1.3	0.00001638	96.56
FEM-13	80	726	1.2	0.00000647	95.41
FEM-14	60	937	1.1	0.00003256	95.93
FEM-15	30	546	1.1	0.00001738	95.52
FEM-16	40	382	1.2	0.00000345	96.14
FEM-17	100	3163	1.1	0.00000748	95.62
FEM-18	80	76	1.1	0.00001839	95.20
FEM-19	80	373	1.3	0.00002673	96.04
FEM-20	60	537	1	0.00000378	96.56

**Table 4.** Performance of the proposed method for FEM-2

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	159	1	-	-	-	-
“DSB”	1	158	-	1	-	-
“USB”	-	-	160	-	-	-
“LSB”	-	-	-	159	1	-
“FM”	-	-	-	-	160	-
“PM”	-	1	1	1	-	157
Total	160	160	161	161	161	157

**Table 5.** Performance of the proposed method for FEM-1

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	155	2	1	-	2	-
“DSB”	2	150	2	4	1	1
“USB”	-	3	154	1	2	-
“LSB”	1	2	-	155	1	1
“FM”	-	-	3	2	155	-
“PM”	-	2	-	1	-	157
Total	158	159	160	163	161	159

**Table 6.** Performance of the proposed method for FEM-3

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	152	3	2	2	-	1
“DSB”	-	153	2	2	1	2
“USB”	2	-	157	-	-	1
“LSB”	1	2	-	155	1	1
“FM”	2	2	1	1	153	1
“PM”	1	-	-	-	1	158
Total	158	160	161	160	156	164

**Table 7.** Performance of the proposed method for FEM-4

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	155	2	1	-	-	1
“DSB”	-	157	1	2	-	-
“USB”	3	1	149	1	3	3
“LSB”	1	2	-	152	3	2
“FM”	-	-	3	1	154	2
“PM”	-	1	-	-	3	156
Total	159	163	154	156	163	164

**Table 8.** Performance of the proposed method for FEM-5

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	154	1	-	2	1	2
“DSB”	-	155	-	1	2	2
“USB”	2	2	152	3	1	-
“LSB”	-	3	2	152	1	2
“FM”	1	1	-	2	156	-
“PM”	5	3	-	2	2	148
Total	162	165	154	162	163	154

**Table 9.** Performance of the proposed method for FEM-6

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	152	3	-	1	2	2
“DSB”	1	154	-	1	1	3
“USB”	1	3	150	2	2	2
“LSB”	-	2	2	153	1	2
“FM”	2	1	1	2	154	-
“PM”	2	2	1	1	-	154
Total	158	165	154	160	160	163

**Table 10.** Performance of the proposed method for FEM-7

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	153	3	2	-	-	2
“DSB”	1	155	1	2	-	1
“USB”	2	1	152	1	2	2
“LSB”	1	2	-	154	2	1
“FM”	4	-	2	1	151	2
“PM”	1	1	-	-	2	156
Total	162	162	157	158	157	164

**Table 11.** Performance of the proposed method for FEM-8

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	152	3	2	-	1	2
“DSB”	1	153	2	2	1	1
“USB”	1	1	155	1	1	1
“LSB”	1	1	-	156	1	1
“FM”	-	-	-	1	157	2
“PM”	1	1	1	1	1	155
Total	156	159	160	161	162	162

**Table 12.** Performance of the proposed method for FEM-9

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	155	1	1	1	1	1
“DSB”	1	154	-	2	2	1
“USB”	-	-	157	1	-	2
“LSB”	1	1	-	156	1	1
“FM”	-	-	-	1	157	2
“PM”	1	1	1	1	1	155
Total	158	157	159	162	162	162

**Table 13.** Performance of the proposed method for FEM-10

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	152	3	-	1	2	2
“DSB”	-	157	1	2	-	-
“USB”	-	3	154	1	2	-
“LSB”	-	-	-	159	1	-
“FM”	-	-	3	2	155	-
“PM”	1	1	1	1	1	155
Total	153	163	159	166	161	157

**Table 14.** Performance of the proposed method for FEM-11

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	152	3	2	-	1	2
“DSB”	1	154	-	2	2	1
“USB”	2	1	152	1	2	2
“LSB”	-	3	2	152	1	2
“FM”	-	-	3	2	155	-
“PM”	1	1	-	-	2	156
Total	155	162	159	157	163	163

**Table 15.** Performance of the proposed method for FEM-12

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	155	1	1	1	1	1
“DSB”	1	155	1	2	-	1
“USB”	2	1	152	1	2	2
“LSB”	-	2	2	153	1	2
“FM”	1	1	-	2	156	-
“PM”	-	1	-	-	3	156
Total	159	161	156	159	163	162

**Table 16.** Performance of the proposed method for FEM-13

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	152	3	-	1	2	2
“DSB”	1	153	2	2	1	1
“USB”	2	2	152	3	1	-
“LSB”	-	2	2	153	1	2
“FM”	1	1	-	-	154	4
“PM”	1	3	1	2	1	152
Total	157	164	157	161	160	161

**Table 17.** Performance of the proposed method for FEM-14

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	152	3	-	1	2	2
“DSB”	1	155	1	2	-	1
“USB”	2	1	152	1	2	2
“LSB”	-	2	2	153	1	2
“FM”	4	-	2	1	151	2
“PM”	1	-	-	-	1	158
Total	161	161	157	158	157	167

**Table 18.** Performance of the proposed method for FEM-15

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	151	2	2	3	1	1
“DSB”	1	155	1	2	-	1
“USB”	-	-	157	1	-	2
“LSB”	2	2	1	149	3	3
“FM”	3	1	1	2	152	1
“PM”	2	3	1	-	1	153
Total	159	163	163	157	157	161

**Table 19.** Performance of the proposed method for FEM-16

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	154	2	-	1	1	2
“DSB”	1	153	2	2	1	1
“USB”	2	1	152	1	2	2
“LSB”	1	1	-	156	1	1
“FM”	2	2	1	1	153	1
“PM”	1	1	1	1	1	155
Total	161	160	156	162	159	162

**Table 20.** Performance of the proposed method for FEM-17

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	151	3	4	2	-	-
“DSB”	2	154	3	-	-	1
“USB”	2	1	149	3	2	3
“LSB”	1	2	1	155	1	-
“FM”	3	1	-	1	154	1
“PM”	-	3	1	-	1	155
Total	159	164	158	161	158	160

**Table 21.** Performance of the proposed method for FEM-18

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	155	1	1	2	-	1
“DSB”	1	156	1	1	1	-
“USB”	2	1	151	1	3	2
“LSB”	1	-	3	153	1	2
“FM”	3	1	-	-	149	7
“PM”	5	1	1	2	1	150
Total	167	160	157	159	155	162

**Table 22.** Performance of the proposed method for FEM-19

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	153	3	2	2	-	-
“DSB”	1	153	3	2	-	1
“USB”	-	1	155	-	2	2
“LSB”	1	2	2	152	2	1
“FM”	-	2	3	1	154	-
“PM”	2	2	1	-	-	155
Total	157	162	167	158	156	158

**Table 23.** Performance of the proposed method for FEM-20

Actual	Estimated					
	“AM”	“DSB”	“USB”	“LSB”	“FM”	“PM”
“AM”	155	3	1	1	-	-
“DSB”	1	153	3	2	-	1
“USB”	-	1	157	-	1	1
“LSB”	1	2	2	154	1	-
“FM”	-	2	3	1	153	1
“PM”	2	1	1	-	1	155
Total	159	162	167	158	156	158

From above tables, it is shown that FEM-2 has the best classification accuracy for analog modulation types. Table 24 shows the classification accuracy for each FEM.

**Table 24.** Performance comparison between the proposed method and Ref. [11] for analog modulated signal classification

FEMs	Classification accuracy (%)	
	This study	Ref. [11]
FEM-1	96.45	99.27
FEM-2	99.27	98.22
FEM-3	96.66	97.60
FEM-4	96.14	95.52
FEM-5	95.52	95.31
FEM-6	95.52	95.31
FEM-7	95.93	97.91
FEM-8	96.66	95.52
FEM-9	97.29	93.33
FEM-10	97.08	96.35
FEM-11	95.93	96.04
FEM-12	96.56	93.33
FEM-13	95.41	93.95
FEM-14	95.93	97.91
FEM-15	95.52	94.06
FEM-16	96.14	97.50
FEM-17	95.62	95.72
FEM-18	95.20	96.66
FEM-19	96.04	92.08
FEM-20	96.56	94.68
<b>Mean accuracy (%)</b>	<b>96.2715</b>	<b>95.81</b>

The results obtained from this table show that the performance of the proposed method is 96.2715. Traditional approaches such as “Decision Theory”, “Statistical Pattern Recognition”; It is disadvantageous due to large-size feature vectors, complex algorithms and the need for large storage space [31]. The proposed method eliminates drawbacks mentioned above. Therefore, the proposed method is an alternative approach to conventional approaches such as “Decision Theory”, “Statistical Pattern Recognition”, presented for classification of AMS. However, a poor classification performance can be obtained for signals with higher SNR when ELM classifier is trained by using signals with lower



SNR [32]. Both smaller size and more efficiently feature vector and a compact set of features are obtained by using DWT. Thus, the classification performance is improved by using DWT. Performance of the proposed method for analog modulated signal classification is also presented in Table 24 as compared with Ref [11]. This table reveals that the proposed method shows a more effective classification performance than results of Ref [11].

#### 4. Conclusion

This study proposes a method based on DWT-ELM for analog modulation classification. For this aim, a modulated “real voice signal” using the 6 different “AMS” schemes as “AM”, “DSB”, “USB”, “LSB”, “FM”, and “PM” is used for experimental study. The classification performance of the proposed method is evaluated for 20 different feature extraction algorithms. Further, “White Gaussian Noise” is added to analog signals. Same experiments are conducted for analog signals added white Gaussian noise. Results from this study were compared with the previous study. However, from the experimental results, it can be said that the proposed method has a better performance against noise.

#### Author’s Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

#### 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] Fabrizio P.M., Lopes L.B., Lockhart G.B. 1986. Receiver recognition of analogue modulation types. In: IERE conference on radio receiver and associated systems, 1-4 July, University of Bangor, Wales, 135-140.
- [2] Chan Y., Gadbois L., Yansouni P. 1985. Identification of the modulation type of a signal. In: ICASSP '85. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 26-29 April, Tampa, FL, USA, 10: 838-841.
- [3] Nagy P.A.J. 1994. Analysis of a method for classification of analogue modulated radio signals. in In: European association for signal processing VII conference, Edinburgh, Scotland, 1015-1018.
- [4] Jovanic S.D., Doroslovački M.I., Dragosević M.V. 1994. Recognition of low modulation index AM signals in additive Gaussian noise, in Recognition of low modulation index AM signals in additive Gaussian noise. In European Association for Signal Processing V Conference, Edinburgh, Scotland, 1923-1926.
- [5] Al-Jalili Y.O. 1995. Identification algorithm of upper sideband and lower sideband SSB signals. Signal Processing, 42 (2): 207-213.
- [6] Azzouz E.E., Nandi A.K. 1996. Procedure for automatic recognition of analogue and digital modulations. IEE Proc.-Commun., 143 (5): 259.
- [7] Wong M.L.D., Nandi A.K. 2004. Automatic digital modulation recognition using artificial neural network and genetic algorithm. Signal Processing, 84 (2): 351-365.
- [8] Kavalov D., Kalinin V. 2001. Improved noise characteristics of a SAW artificial neural network RF signal processor for modulation recognition. In: IEEE Ultrasonics Symposium. Proceedings. An International Symposium (Cat. No.01CH37263), 7-10 October, Atlanta, GA, USA, 1: 19-22.
- [9] Kremer S.C., Shiels J. 1997. A testbed for automatic modulation recognition using artificial neural networks. In: CCECE '97, Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Engineering Innovation: Voyage of Discovery. Conference Proceedings, 1: 67-70.

- [10] Nandi A.K., Azzouz E.E. 1998. Algorithms for automatic modulation recognition of communication signals. *IEEE Trans. Commun.*, 46 (4): 431-436.
- [11] Avci E. 2007. Performance comparison of wavelet families for analog modulation classification using expert discrete wavelet neural network system. *Expert Syst. Appl.*, 33 (1): 23-35.
- [12] Zhang J., Walter G.G., Miao Y., Wayne L.W.N. 1995. Wavelet neural networks for function learning. *IEEE Trans. Signal Process.*, 43 (6): 1485-1497.
- [13] Kociołek M., Materka A., Strzelecki M., Szczypiński P. 2001. Discrete Wavelet Transform – Derived Features for Digital Image Texture Analysis. *Proc. of Interational Conference on Signals and Electronic Systems*, 18-21 September, Lodz, Poland, 18-21.
- [14] Avci E., Turkoglu I., Poyraz M. 2005. Intelligent target recognition based on wavelet packet neural network. *Expert Syst. Appl.*, 29 (1): 175-182.
- [15] Thuillard M. 2000. A Review of Wavelet Networks, Wavenets, Fuzzy Wavenets and their Applications. *Advances in Computational Intelligence and Learning*, 43-60.
- [16] Wesfreid E., Wickerhauser M.V. 1993. Adapted local trigonometric transforms and speech processing. *IEEE Trans. Signal Process.*, 41 (12): 3596-3600.
- [17] Huang G.B., Wang D. H., Lan Y. 2011. Extreme learning machines: a survey. *Int. J. Mach. Learn. Cybern.*, 2 (2): 107-122.
- [18] Huang G.B., Zhou H., Ding X., Zhang R. 2012. Extreme Learning Machine for Regression and Multiclass Classification. *IEEE Trans. Syst. Man, Cybern. Part B*, 42 (2): 513-529.
- [19] Bengio Y. 2009. Learning Deep Architectures for AI. *Found. Trends® Mach. Learn.*, 2 (1): 1-127.
- [20] Daliri M.R. 2012. A hybrid automatic system for the diagnosis of lung cancer based on genetic algorithm and fuzzy extreme learning machines. *J. Med. Syst.*, 36 (2): 1001-1005.
- [21] Qu Y., Shang C., Wu W., Shen Q. 2011. Evolutionary fuzzy extreme learning machine for mammographic risk analysis. *Int. J. Fuzzy Syst.*, 13 (4): 282-291.
- [22] Xu Y., Dong Z.Y., Meng K., Wong K.P., Zhang R. 2013. Short-term load forecasting of Australian National Electricity Market by an ensemble model of extreme learning machine. *IET Gener. Transm. Distrib.*, 7 (4): 391-397.
- [23] Avci E., Coteli R. 2012. A new automatic target recognition system based on wavelet extreme learning machine. *Expert Syst. Appl.*, 39 (16): 12340-12348.
- [24] Cao J., Lin Z., Huang G. 2010. Composite function wavelet neural networks with extreme learning machine. *Neurocomputing*, 73 (7): 1405-1416.
- [25] Malathi V., Marimuthu N.S., Baskar S. 2010. Intelligent approaches using support vector machine and extreme learning machine for transmission line protection. *Neurocomputing*, 73 (10): 2160-2167.
- [26] Malathi V., Marimuthu N.S., Baskar S., Ramar K. 2011. Application of extreme learning machine for series compensated transmission line protection. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 24 (5): 880-887.
- [27] Banerjee K.S. 1973. Generalized Inverse of Matrices and Its Applications. *Technometrics*, 15 (1): 197-197.
- [28] Schmidt W.F., Kraaijveld M.A., Duin R.P.W. 1992. Feed Forward Neural Networks with Random Weights. In *International Conference on Pattern Recognition*, August, 1-4.
- [29] White H. 1989. An additional hidden unit test for neglected nonlinearity in multilayer feedforward networks. *International Joint Conference on Neural Networks*, 2: 451-455.
- [30] White H. 2006. Approximate Nonlinear Forecasting Methods. *Handbook of Economic Forecasting*, 459-512.
- [31] Azzouz E.E., Nandi A.K. 1997. Automatic modulation recognition-II. *J. Franklin Inst.*, 334 (2): 275-305.
- [32] Wu Z., Ren G., Wang X., Zhao Y. 2004. *Automatic Digital Modulation Recognition Using Wavelet Transform and Neural Networks*. Springer, Berlin, Heidelberg, 936-940.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **İnce Dane İçeriğinin Siltli Kum Zeminlerin Drenajsız Kayma Dayanımı Davranışı ve Durağan Durum Çizgisi Üzerindeki Etkisi**

Muhammed MAHMUDİ\*, Devrim ERDOĞAN

*Ege Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, 35100, Türkiye  
(ORCID: 0000-0002-3937-3571) (ORCID: 0000-0003-3525-9031)*

---

### **Öz**

İnce dane içeren kum zeminlerin gerek drenajlı gerekse drenajsız yükleme koşulları altındaki kayma dayanımı davranışları, konsolidasyon sonrası başlangıç koşulları yanısıra, ince dane içeriği, ince dane plastisitesi, iri ve ince danelerin şekli ve ortalama efektif gerilme düzeyinden etkilenmektedir. Dolayısı ile ince dane içeren zeminlerin davranışlarının değerlendirilmesi için temiz kuma göre daha fazla parametre ele alınmalıdır. Kritik durum zemin mekaniği (CSSM), tüm bu parametreleri göz önünde bulundurarak bu zemin türlerinin davranışını anlamak için uygun bir çerçevedir. Bu çalışmada %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında düşük plastisiteli silt içeren kum-silt karışımı örnekleri üzerinde 50 kPa, 100 kPa ve 200 kPa efektif konsolidasyon basınçları altına bir dizi konsolidasyonlu drenajsız statik üç eksenli basınç deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, örneklerin drenajsız kayma dayanımı davranışlarının ve durağan durum çizgisinin (SSL) ince dane içeriğinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Belirli bir eşik ince dane içeriğine kadar durağan durum çizgisi (SSL) konumunun temiz kum konumundan aşağıya doğru hareket ettiği ve bu değerler ötesinde, ince dane içeriğinin artmasıyla yukarı doğru hareket ettiği görülmüştür. Bu da ince dane içeriğinin değişimi ile birlikte örneklerin drenajsız kayma dayanımı davranışının ve sıkışma eğiliminin değiştiğini göstermektedir. Bununla birlikte örneklerin durağan durum parametre ( $M_{ss}$ ) ve durağan durumundaki mobilize sürtünme açısı ( $\phi_{ss}$ ) değerlerinin de ince dane içeriğinden etkilendiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Drenajsız Kayma Dayanımı, Durağan Durum, Durağan Durum Parametresi.

---

## **The Effect of Fine Content on Undrained Shear Strength Behavior and Steady State Line of Silty Sand Soils**

### **Abstract**

Shear strength behavior of sand soils with fines under both drained and undrained loading conditions is affected by the initial conditions after consolidation as well as the fine grain content, fine grain plasticity, coarse and fine grain shapes and mean effective stress level. Therefore, in order to evaluate the behavior of soils containing fine grain, more parameters should be considered compared to clean sand. Critical state soil mechanics (CSSM) is an appropriate framework to understand the behavior of this soil types with considering all of the effective parameters. In this study a series of consolidated undrained static triaxial tests were carried out on sand-silt mixtures containing 10%, 20%, 30%, 40% and 50% low plasticity silt at an effective consolidation pressures of 50 kPa, 100 kPa and 200 kPa. The experimental results show that undrained shear strength behavior and steady state line (SSL) are significantly affected by the fine grain contents. It was observed that up to a threshold fine content the location of the SSL moves downward from the clean sand position and beyond that, it move upward with the increase of the fine content. This shows that undrained shear strength behavior and compression tendency of the samples change with the change of the fine grain content. However, it was observed that the steady state parameter ( $M_{ss}$ ) and the mobilized friction angle ( $\phi_{ss}$ ) values in steady state were also affected by the fines content.

**Keywords:** Undrained shear strength, Steady State, Steady State parameter.

---

### **1. Giriş**

İzotropik olarak konsolide edilmiş temiz kum örnekleri üzerinde yapılan konsolidasyonlu drenajsız statik üç eksenli basınç deneylerine göre, temiz kum, drenajsız koşullar altında, akma (Flow), sınırlı akma (Limited Flow) ve sertleşme (Non-Flow) şeklinde tipik olarak üç farklı gerilme-deformasyon

---

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

Geliş Tarihi: 08.01.2021, Kabul Tarihi: 21.04.2021

davranışı sergilemektedir [1-4]. Bu davranış tiplerinin konsolidasyon aşaması sonunda yani kesme aşaması öncesindeki başlangıç durum parametrelerine (başlangıç boşluk oranı ( $e_0$ ), efektif konsolidasyon basıncı ( $p_0'$ ) ve başlangıç deviatör gerilmeler ( $q_0'$ )) önemli ölçüde bağlı olduğu, literatürdeki deneysel çalışmalarda açık bir şekilde ortaya konmuştur [3, 5-13].

Ancak, ince dane içeren kum zeminlerin drenajsız koşullardaki kayma dayanımı davranışı, konsolidasyon sonrası başlangıç durum parametrelerinin dışında, ince dane içeriği, kil/silt oranı, ince dane plastisitesi, ince ve iri dane şekli gibi parametrelerden de etkilenmektedir. Bu parametrelerden, ince dane içeriğinin etkisini içeren literatüre bakıldığında, bazı çalışmalarda ince dane içeriğinin artması ile birlikte örneklerin kayma dayanımının sürekli olarak azaldığı, bazılarında ise sürekli olarak arttığı gözlenmiştir. Diğer taraftan son yıllarda yapılan çalışmalarda [14-29], ortaya çıkan üçüncü bulgu ince dane içeriğinin eşik ince dane içeriğine (Threshold Fine Content,  $f_{cth}$ ) kadar artması ile birlikte kayma dayanımının azaldığı ve bu eşik değerinden daha yüksek ince dane içeriklerinde ise yeniden artış meydana geldiği gözlenmiştir. Dolayısı ile ince dane içeren kum zeminlerin davranışını incelerken, temiz kuma göre daha fazla parametre göz önüne alınarak değerlendirilme yapılması gerekmektedir.

Yükleme sırasında numune içerisinde gelişen gerilme, deformasyon, hacimsel değişim eğilimleri ve ortalama efektif gerilme düzeyi arasındaki ilişkiyi sistematik bir şekilde kurma kapasitesine sahip olan Kritik Durum Zemin Mekaniği (CSSM), sözü geçen tüm parametreleri göz önünde bulundurarak davranışı anlamlandırmak için güçlü bir çerçevedir. Literatüre bakıldığında, bu teorinin çoğu araştırmacı [5, 26, 29, 30-42] tarafından temiz kum ve ince dane içeren kumların statik ve dinamik yükleme koşulları altındaki davranışlarının yorumlanması için yoğun bir şekilde kullanıldığı görülmektedir.

Kritik durum zemin mekaniği çerçevesinde ince danelerin kum zeminlerin drenajsız kayma dayanımı davranışları üzerindeki etkisi en çok durağan durum çizgisinin değişimi ile ele alınabilmektedir. Ancak yapılan çalışmalarda, durağan durum çizgisinin değişimi ile ilgili farklı bulgular bulunmaktadır. Literatürde, bu farklı davranışların başlıca nedenleri; farklı başlangıç koşulları (boşluk oranı, rölatif sıklık, efektif konsolidasyon basıncı), örnek hazırlama yöntemi ve örneklerin konsolidasyon geçmişi olarak ifade edilmektedir [16, 43-51]. Bu çalışmada, ince dane içeriğinin, doğada çok yaygın olarak bulunabilen suya doygun siltli kumların drenajsız kayma dayanımı davranışları üzerindeki etkisi, durağan durum çizgisi ve durağan durum parametresinin değişimi ile birlikte incelenmiştir ve literatürdeki deneysel bulgular ile karşılaştırılmıştır.

### 1.1. Durağan Durum ve Durağan Durum Çizgisi

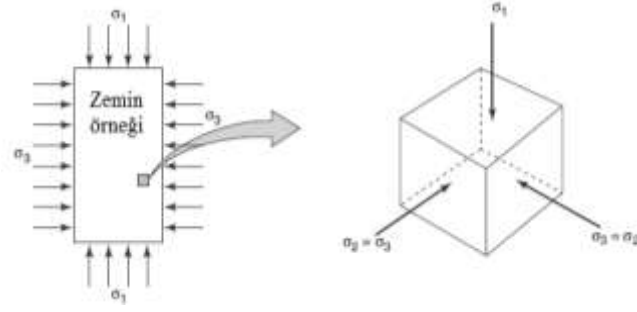
İnce dane içeren kum zeminlerin drenajsız kayma dayanımı davranışı sadece ince dane içeriğine bağlı olmayıp bunun yanı sıra boşluk oranı değişimi ve ortalama efektif gerilme düzeyinden de önemli ölçüde etkilenmektedir. Kritik durum zemin mekaniği, bu tür zeminlerin yükleme altında kayma dayanımı ve hacim değişimi davranışlarını ve mühendislik özelliklerini açıklamak için uyumlu ve güçlü bir teori olarak kabul edilmektedir. Kritik durum teorisi, zeminin kayma dayanımının gerilme geçmişinden ve drenaj koşullarından bağımsız olarak yalnız boşluk oranı ve efektif gerilmelerin bir fonksiyonu olarak ifade edilebileceği varsayıma dayanmaktadır. Schofield ve Wroth [53] ile Atkinson ve Bransby [52] çalışmaları ile son hale gelen kritik durum teorisi, esas olarak üç eksenli deneylerden elde edilen sonuçlarla geliştirilmiştir. Bu anlamda, kritik durum zemin mekaniğinde, zemin davranışını modelleyebilmek için üç farklı durum parametresi kullanılmaktadır. Zeminin izotropik olduğu varsayımıyla, makroskopik bir bakış açısına dayanan orijinal ve standart kritik durum değişkenleri; ortalama efektif gerilme ( $p'$ ), deviatorik gerilme ( $q$ ) ve özgül hacim ( $v$ ) olarak tanımlanmaktadır.

Genel gerilme koşullarında,  $p'$  ve  $q$  parametrelerini, asal gerilmeler cinsinden aşağıdaki gibi tanımlamak mümkündür. Ancak, üç eksenli basınç deneyi koşullarında (Şekil 1) bu parametreler aşağıdaki formu almaktadır.

$$p' = \frac{\sigma_1' + 2\sigma_3'}{3}; \sigma_1 > \sigma_3 \quad (1)$$

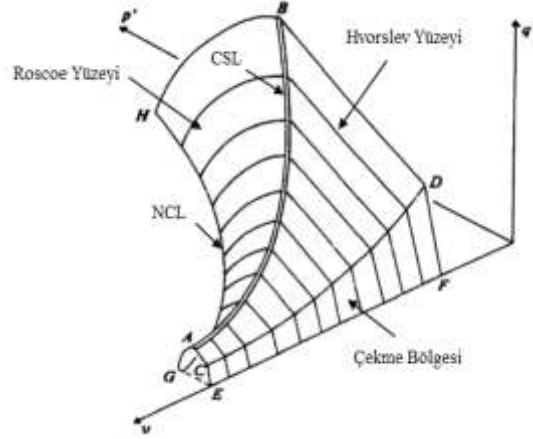
$$q = \sigma_1' - \sigma_3' = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (2)$$

$$v = 1 + e \quad (3)$$



Şekil 1. Üç eksenli basınç deneyi, normal gerilme durumu

Şekil 2’de gösterildiği gibi, p'-q-v üç boyutlu uzayında bir zeminin maruz kalabileceği tüm gerilme koşullarını kapsayan idealize bir sınır durum yüzeyi (State Boundary Surface) bulunmaktadır. Görüldüğü üzere, sınır durum yüzeyi; Roscoe yüzeyi, Hvorslev yüzeyi ve çekme bölgesi yüzeyleri olarak adlandırılan üç ayrı sınır durum yüzeyinden oluşmaktadır. Böylece, bir zemin için sınır durum yüzeyi, normal konsolidasyon çizgisi (NCL), kritik durum çizgisi (CSL), çekme bölgesi çizgisi ve boşluk oranı aksları arasında sınırlanmaktadır. Dolayısıyla drenajsız koşullar altında bir zemin örneğinin davranışını yorumlayabilmek için kritik durum, kritik durum çizgisi (CSL) ve bu durum için tanımlanan kritik durum parametrelerinin tanımlanması önemlidir



Şekil 2. Tamamlanan sınırdurum yüzeyleri durumları (Atkinson and Barasby, [52])

Kritik durum (Critical State, CS) ifadesi zeminlerin davranışını modellemek için ana terimlerden birisi olup, ilk olarak Roscoe ve ark. [54], tarafından “zeminin sabit boşluk oranında ve sabit gerilmeler altında deformasyona devam etmesi” olarak tanımlanmıştır. Kritik durum matematiksel olarak aşağıda yazılan formda ifade edilebilir. Literatürde benzer tanımlamalar ise bulunmaktadır [24, 55].

$$d_q = 0, d_{p'} = 0, d\varepsilon_v = 0, \text{ iken } |d\varepsilon_q| \neq 0 \quad (4)$$

$\varepsilon_v$  : Hacimsel birim deformasyon

$\varepsilon_q$  : Deviatorik birim deformasyon

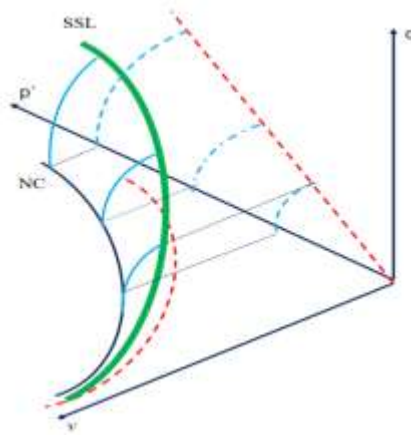
$p'$  : Ortalama efektif gerilme

$q$  : Deviatorik gerilme (kayma gerilmesi)

Daha sonra Poulos [56], sabit kayma gerilmesi ve sabit efektif çevre basıncı altında, sabit hacim (drenajlı durumda), sabit hacim değişimi eğilimi (drenajsız durum) ve sabit hızdaki akışı (sürekli deformasyonların meydana gelmesi) durumunu durağan durumu (Steady State, SS) olarak tanımlanmıştır. Bu ifade ise matematiksel olarak aşağıda yazılan formda tanımlanabilir. Burada, “du” boşluk suyu basıncı değişimidir.

$$d_q = 0, d_{p'} = 0, d\varepsilon_v = 0, du = 0 \text{ iken } |d\varepsilon_q| \neq 0 \quad (5)$$

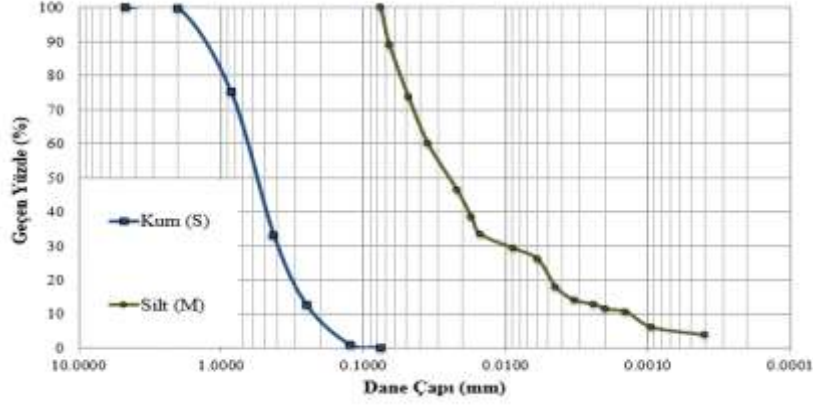
Görüldüğü üzere, teorik ve matematiksel formülasyon olarak kritik durum (CS) ve durağan durum (SS) arasında bir fark yoktur. Literatürdeki deneysel çalışmalar incelendiğinde, CS ve SS durumları arasında bu durumun elde ediliş yöntemleri dışında teorik olarak bir farkın olmadığı sonucuna varılabilir [28, 57-59]. Bununla birlikte, deneysel çalışmalarda kritik duruma drenejlü deneylerden ve durağan duruma ise drenajsız deneylerden ulaşılabileceği ifade edilmektedir. Drenajsız üç eksenli basınç deneylerinde, deviatorik kayma birim deformasyonun sabit durumunda boşluk oranı ile efektif çevre basıncı ilişkisini tanımlayan noktaların yeri Durağan Durum Çizgisi (Steady State Line, SSL) olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3'te durağan durum çizgisi ve bu çizginin  $v$ - $p'$  ve  $p'$ - $q$  düzlemlerine indirgenmiş hali görülmektedir. Drenajsız koşullarda zemin örneğinin başlangıç boşluk oranı, efektif konsolidasyon basıncı ne olursa olsun kesme sırasında ulaşılmak istenen hedef her zaman için durağan durum çizgisidir (SSL). Ancak örneğin sıklık durumuna göre SSL çizgisine sağdan veya soldan yaklaşma eğilimi meydana gelecektir. Dolayısıyla başlangıç durumu durağan durum çizgisi üstünde kalan örneklerde akma veya sınırlı akma davranışı ve başlangıç durumu durağan durum çizgisi altında kalan örnekler için genleşme ve sertleşme davranışı beklenmektedir.



Şekil 3.  $v$ - $p'$ - $q$  uzayında durağan durum çizgisinin gösterilmesi

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, kum-silt karışımlarının iri dane matrisini temsil etmek üzere Gölarmara kumu, ince dane matrisini temsil etmek üzere Aydın ili, Söke ilçesi'nden temin edilen doğal silt malzemesi tercih edilmiştir. Kum ve silt malzemelerine ait fiziksel ve indeks özelliklerinin belirlenmesi amacıyla bu malzemeler üzerinde hidrometre (ASTM D7928, [60]), özgül ağırlık ve Atterberg limit deneyleri (ASTM D4318, [61]) gerçekleştirilmiştir. Likit limit deneyleri düşen koni deneyleri ile elde edilmiştir. Kum (S) ve silt (M) örnekleri için elek analizi ve hidrometre deney sonuçlarından elde edilen dane çapı dağılımı Şekil 4'te görülmektedir. Ayrıca bu örneklere ait fiziksel özellikler, indeks özellikleri ve zemin sınıfları Tablo 1'de verilmiştir. Şekil 4'deki dane çapı dağılım eğrilerine göre Gölarmara kumunun zemin sınıfı, Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre kötü derecelenmiş temiz kumdur (SP) ve Amerikan Karayolları (AASHTO) sınıflandırma sisteminde A-1-b grubunda yer almaktadır. Kum malzemesinin No 200 elek altında kalan ince dane kısmı her ne kadar az olsa da karışım örneklerinde ince dane oranını etkilememek amacıyla kullanılmamıştır. Doğal silt malzemesinin USCS'e göre zemin sınıfı düşük plastisiteli silttir (ML). Bu çalışmada, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında silt içeren kum (S)-silt (M) karışımları üzerinde farklı efektif konsolidasyon basınçları (50, 100 ve 200 kPa) altında konsolidasyonlu drenajsız statik üç eksenli basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. İnce dane içeriği ile birlikte örneklerin rölatif sıklığı etkisini de inceleyebilmek amacıyla hazırlanan tüm karışımlar gevşek ( $Dr$ =%25) ve sıkı ( $Dr$ =%75) rölatif sıklıklarda deneylere tabi tutulmuştur.

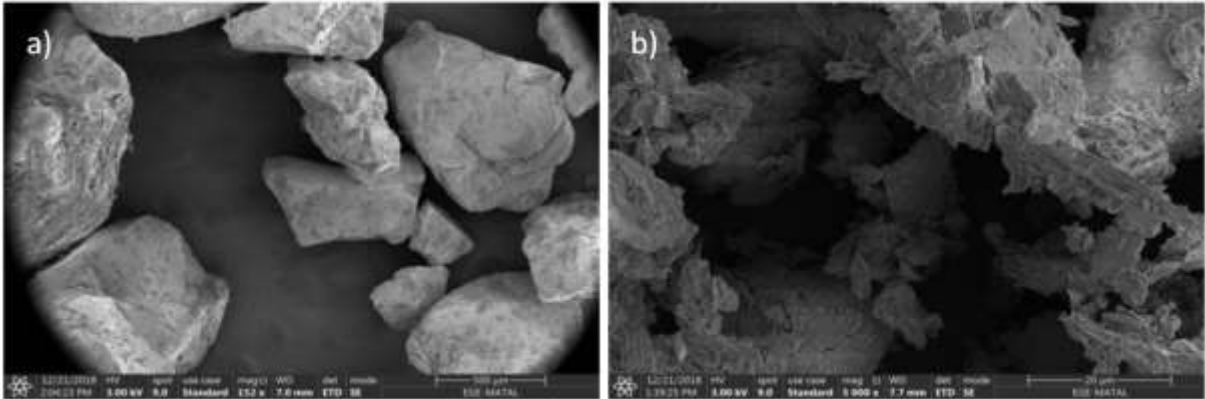


Şekil 4. Deneysel olarak kullanılan kum ve silt malzemelerine ait dane çapı dağılımı

Tablo 1. Fiziksel ve indeks özellikler

Zemin Parametresi	Kum (S)	Silt (M)	90S-10M	80S-20M	70S-30M	60S-40M	50S-50M
Likit Limit, LL (%)	-	35	-	-	-	-	-
Plastik Limit, PL (%)	-	31	-	-	-	-	-
Plastisite İndisi, PI (%)	NP	4	NP	NP	NP	NP	NP
Zemin Sınıfı	SP	ML	SW-SM	SM	SM	SM	ML
$e_{maks}$	0.810	1.446	0.76	0.723	0.70	0.707	0.816
$e_{min}$	0.524	0.986	0.464	0.422	0.409	0.428	0.536
-No 200 (%)	0	100	10	20	30	40	50
Cu	2.89	4.20	8.00	7.33	6.53	5.47	4.00
Cc	1.09	-	2.42	1.40	0.15	0.18	0.25
$G_s$	2.65	2.68	2.654	2.657	2.659	2.662	2.667

İri ve ince danelerden oluşan bir zemin karışımının mekanik davranışı danelerin dizilişi (doku) ve danelerin birbirine kenetlenmesi açısından önemli ölçüde etkilenmektedir [62]. Dolayısıyla bir zemin örneğinde iri ve ince dane matrislerini oluşturan malzemelerin mikro yapı analizleri deney sonuçlarının yorumlanması açısından faydalıdır. Şekil 5a ve Şekil 5b'de temiz kum ve saf silt için alınan Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) analizleri verilmektedir. Burada alınan görüntülerden kum daneleri yarı köşeli (SA) ve yarı yuvarlak (SR), silt danelerinin ise keskin ve açısız şekilde olduğu görülebilmektedir.



Şekil 5. SEM analizleri, a) Temiz kum, b) Silt malzemesi

Zeminlerin kayma dayanımı davranışlarının kritik durum zemin mekaniği çerçevesinde yorumlanması anlamında örneklerin yapısı ve homojenliği daha da önem kazanmaktadır [28]. Literatürde temiz kumlar için kuru yağmurlama (Dry Pluviation, DP), suda çökeltme (Water Sedimentation, WS), Bulamaç çökeli (Slurry Deposition, SD) gibi örnek hazırlama yöntemleri tercih

edilmektedir. Ancak çoğu araştırmacı [1, 10, 11, 62-70] tarafından ince dane içeren kum zeminler için nemli (ıslak) tokmaklama (Moist Tamping, MT) yöntemi tercih edilmektedir. Bunun nedeni ise bu çerçevede yapılan çalışmalarda boşluk oranı değerinin önemli olduğu ve MT yöntemi ile laboratuvarda istenilen boşluk oranı (sıklık) değerlerine kolayca ulaşılmıştır. Bu çalışmada da örnekler MT yöntemine göre hazırlanmıştır ve örnek boyunca daha homojen bir sıklığın elde edilmesi için Ladd [71], tarafından önerilen detaylar dikkate alınmıştır. Deney örneklerini suya doymun hale getirebilmek için örnekler üzerinde sırasıyla karbondioksit (CO<sub>2</sub>) geçirme, su geçirme ve geri basınç uygulama (Back Pressure) aşamaları gerçekleştirilmiştir. Deney örneği suya doymun hale getirildikten sonra geri basınç değerine göre hücre basıncının artırılması veya azaltılması ile istenilen efektif konsolidasyon basıncına ulaşılmıştır. Konsolidasyon sonrası drenajsız yükleme hızı 1 mm/dak olarak seçilmiştir. Bu hız, yük uygulama sırasında boşluk suyu basıncı değişiminin kayda alınabilmesi için yeterli görülmüştür.

### 3. Bulgular ve Tartışma

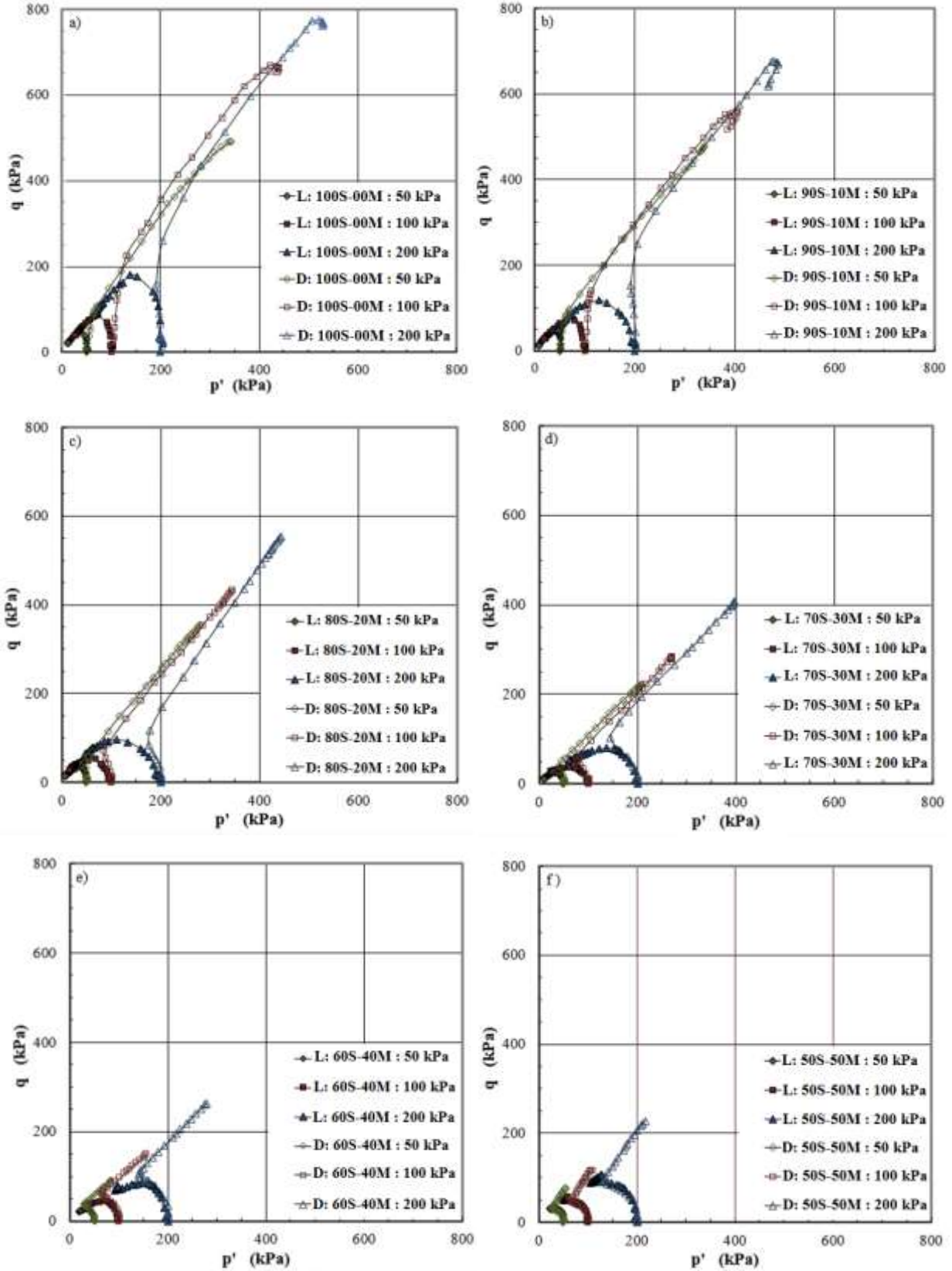
#### 3.1. İnce Dane İçeriğinin Drenajsız Kayma Dayanımı Davranışı Üzerindeki Etkisi

Gevşek ve sıkı sıklıkta hazırlanan kum-silt karışım örnekleri için konsolidasyonlu drenajsız (CU) üç eksenli basınç deneyleri yükleme sırasında gözlenen efektif gerilme izleri Cambridge sistemine göre  $p'-q$  düzleminde Şekil 6(a)-(f)'de verilmektedir. Bu düzlemlerde, düşey eksen deviatorik gerilme ( $q$ ) değerini ve yatay eksen ortalama efektif gerilme ( $p'$ ) değerini göstermektedir. Bu grafiklerden, temiz kum ve karışım örnekler için yükleme sırasında, boşluk suyu basıncının değişimi ile değişen efektif gerilme düzeyleri ve örneklerde kayma dayanımı değişimi izlenmektedir.

Gevşek durumda, 50, 100 ve 200 kPa efektif konsolidasyon basınçları altında silt içeriğinin değişimi ile birlikte, temiz kum ve  $f_c = \%10, \%20$  ve  $\%30$  silt içeren örneklerde ortalama efektif gerilme değerinin konsolidasyon sonrası başlangıç değerine göre sürekli azaldığı ve kayma dayanımının da bir pik dayanım değerine kadar arttığı ve daha sonra durağan durum noktasına kadar akma tipi bir davranışın sergilendiği görülmektedir. Burada, aşırı boşluk suyu basıncının konsolidasyon sonrası başlangıç ortalama efektif gerilme seviyelerine ulaşması ile kayma dayanımlarında önemli oranda azalmalar meydana gelmektedir. Bu da statik sıvılaşma davranışı riskini oluşturmaktadır.  $f_c = \%40$  ve  $\%50$  silt içeriğinde ise benzer davranış görülmektedir. Ancak, belirli bir efektif gerilme değeri sonrası aşırı boşluk suyu basıncının azalması ve ortalama efektif gerilme değerinin bir miktar artması ile birlikte örneklerin tekrardan dayanım kazandığı ve sınırlı akma türünde bir davranış sergiledikleri görülmektedir. Bu davranışa göre, ince dane matrisi, kayma dayanımı kontrolünü bir geçiş ince dane içerikliğinde ele geçirmeye başlamaktadır. Benzer davranış tiplerine literatürdeki deneysel çalışmalarda da rastlanmaktadır [64, 72-77].

Sıkı durumda, 50, 100 ve 200 kPa efektif konsolidasyon basınçları altında silt içeriğinin değişimi ile birlikte, temiz kum ve  $f_c = \%10, \%20$  ve  $\%30$  silt içeren örneklerde, ortalama efektif gerilme değeri konsolidasyon sonrası başlangıç değerine göre bir miktar azaldığı ve daha sonra sürekli arttığı görülmektedir. Bu örneklerde, başlangıçta çok az bir miktar sıkışma eğilimi (Contractive Tendency) görülmüştür. Ancak, artan deformasyon ile birlikte gelişen genişleme eğilimi (Dilative Tendency) nedeni ile aşırı boşluk suyu basınçlarında meydana gelen azalma ortalama efektif gerilmelerde artış yaratmakta, buna bağlı olarak deviator gerilmeler de artmaktadır. Başka bir deyişle, bu örnek  $q-\varepsilon$  düzleminde sertleşme gerilme-deformasyon davranışı göstermiştir.  $f_c = \%40$  ve  $\%50$  silt içeren örnekler de benzer davranış sergilemektedir ancak bu örneklerde önce bir miktar sıkışma ve daha sonra sertleşme eğilimi gözlenmiştir. Ancak bu sertleşme eğilimi  $f_c = \%10, \%20$  ve  $\%30$  karışımlarına göre daha düşük seviyelerdedir. Bunun sebebi ise iri daneler arası boşluklarındaki ince dane içeriğinin artması ve artık hacim değişimi eğiliminin silt matrisi tarafından kontrol edilmesidir. Bu bulgular, literatürdeki sıkı durumda hazırlanmış kum-silt karışımları üzerinde yapılmış olan deneyler ile desteklenmektedir [78].



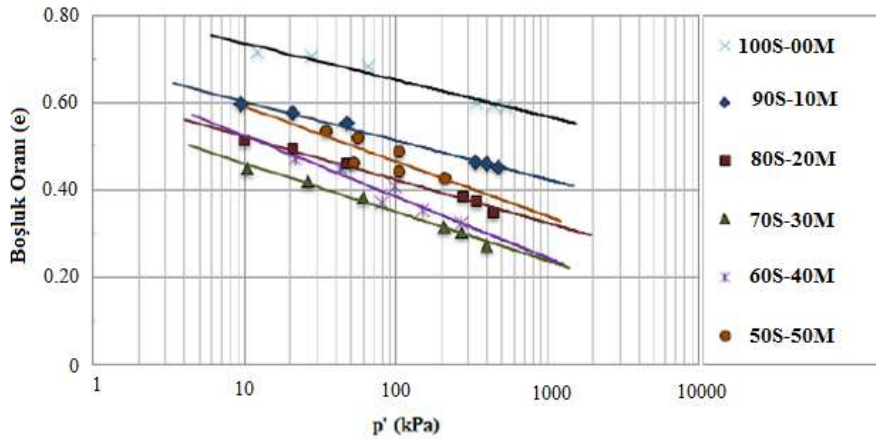


Şekil 6.  $p'$ - $q$  düzleminde gevşek (L) ve sıkı (D) sıkılıkta hazırlanmış kum (s)-silt (M) karışımlarına ait gerilme izleri, a) %0, b) %10, c) %20, d) %30, e) %40, f) %50 silt içeriği

### 3.2. İnce Dane İçeriğinin e-log(p') Düzleminde, Durağan Durum Çizgisi (SSL) Üzerindeki Etkisi

Gevşek ve sıkı durumlarda, temiz kum (100S-00F) ve  $f_c=10\%$ ,  $20\%$ ,  $30\%$ ,  $40\%$ ,  $50\%$  silt içeren örnekler için drenajsız üç eksenli basınç deneylerinden elde edilen durağan durum çizgileri (SSL) e-log(p') düzleminde Şekil 7'de verilmiştir. Bu düzlemde, düşey eksen konsolidasyon sonrası boşluk oranını (e) ve yatay eksen ortalama efektif gerilme (p') değerini göstermektedir. Bu şekiller incelendiğinde; durağan durum çizgisinin silt içeriğine duyarlı olduğu görülmektedir. Bu da örneklerin kayma dayanımı davranışının değişimi anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, ince dane içeriğinin değişimi ile birlikte örneklerin durağan durum çizgisinin eğimi de değişmektedir. Bu da örneklerde sınır durum yüzeyinin ince dane içeriğinden etkilendiği anlamına gelmektedir. Durağan durum çizgisi, silt içeriğinin %0 (temiz kum)'dan %30'a kadar artışı ile birlikte, aşağıya doğru hareket etmekte, %30'dan daha yüksek silt içeriklerinde ise yön değiştirerek yukarıya doğru hareket etmektedir. Silt içeriğinin 0%'dan 30%'a doğru artışı sırasında durağan durum çizgisinin aşağı doğru hareketi, gevşek durumda hazırlanmış olan kum-silt karışımlarının drenajsız kayma dayanımı kaybına ve giderek daha sıkışabilir bir eğilim kazanmasına bağlanmaktadır. Durağan durum çizgisinin yön değiştirmesi, Thevanayagam, [45], tarafından zeminin iri dane matrisi kontrolünden ince dane matrisi kontrolüne geçtiği ve dolayısı ile zemin yapısı ve dokusunun değişiminden kaynaklandığı hipotezi ile açıklanmıştır. Durağan durum çizgisinin bu yön değiştirme davranışı, literatürde silt içeren kum zeminler için desteklenmektedir [12, 14-17, 19, 21-27, 29].

Burada iri dane matrisini oluşturmak üzere seçilen kum ve ince dane matrisini oluşturmak üzere seçilen silt dikkate alındığında, temiz kuma ait SSL en üst sınırı, %30 silt içeren karışımlara ait SSL de en alt sınırı göstermektedir. Görüldüğü üzere, durağan durum çizgisinin konumu yaklaşık %30 silt içeriğini bir geçiş ince dane içeriği olarak ortaya koymaktadır. Bu davranışın nedenini zemini oluşturan iri ve ince dane matrislerinin birbirleri üzerindeki kontrolleri mekanizmasıdır. Şöyle ki, ince dane içeriğinin değişimi zemin dokusunun değişimine yol açmakta olup, iri dane matrisi veya ince dane matrisi hakimiyetleri altındaki davranışlar belli bir geçiş ince dane içeriğinden sonra değişmektedir. Bu da ince dane içeriğine bağlı olarak kum zeminlerin durağan durum çizgisinin, konsolidasyon sonrası boşluk oranlarından etkilendiği anlamına gelmektedir. Literatürde bu geçiş ince dane içeriği eşik ince dane içeriği ( $f_c = f_{c_{th}}$ ) olarak tanımlanmaktadır. Bu ince dane içeriğinde zeminlerin kayma dayanımı davranışları her iki matris tarafından kontrol edilmektedir.

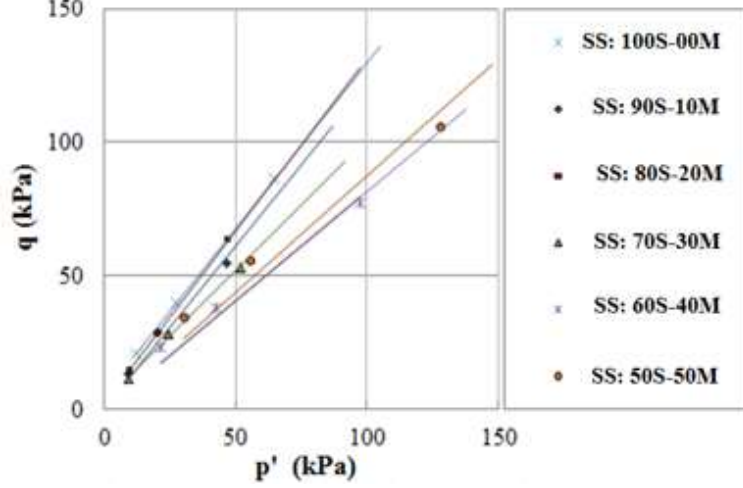


Şekil 7. e-log(p') düzleminde kum-silt karışımlarına ait durağan durum noktaları ve durağan durumu çizgileri

### 3.3. İnce Dane İçeriğinin p'-q Düzleminde, Durağan Durum Çizgisi ve Durağan Durum Parametresi Üzerindeki Etkisi

Gevşek örnekler için 50 kPa, 100 kPa ve 200 kPa efektif konsolidasyon basıncı altına elde edilen durağan durumu seviyeleri ve durağan durum çizgileri p'-q düzleminde verilmektedir (Şekil 8). Bu

düzlemde ise, gevşek örneklerde durağan durum çizgisinin ince dane içeriğinden belirgin bir şekilde etkilendiği görülmektedir. Bu da örneklerin kayma dayanımı davranışının değişimi anlamına gelmektedir. Bununla birlikte, ince dane içeriğinin değişimi ile birlikte örneklerin durağan durum çizgisi eğiminin de değiştiği görülmektedir. Bu da örneklerde sınır durum yüzeyinin ince dane içeriğinden etkilendiği anlamına gelmektedir.



Şekil 8. Kum-silt karışım örneklerine ait durağan durum seviyeleri ve durağan durum çizgileri

Farklı efektif konsolidasyon basınçlarından elde edilen durağan durum noktalarının (sabit hacim düzlemi üzerindeki) izdüşümü eğiminin tanımlanması ile durağan durum çizgisinin eğimi p'-q düzleminde,  $M_{ss}=q/p'$  denklemi ile tanımlanmaktadır. Bu denklemde  $M_{ss}$ , durağan durum parametresi olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca örneklerin durağan durumunda ki içsel sürtünme açısı değerleri Schofield ve Wroth [53], tarafından tanımlanan bağlantıdan elde edilebilmektedir;

$$p' = \frac{\sigma'_1 + 2\sigma'_3}{3}; \quad \sigma'_1 > \sigma'_3 \quad (6)$$

$$q = \sigma'_1 - \sigma'_3 \quad (7)$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \cdot \left( \frac{1 + \sin \varphi_{ss}}{1 - \sin \varphi_{ss}} \right) \quad (8)$$

$$p' = \sigma'_3 \cdot \left( \frac{3 - \sin \varphi_{ss}}{3 \cdot (1 - \sin \varphi_{ss})} \right) \quad (9)$$

$$q = \sigma'_3 \cdot \left( \frac{2 \cdot \sin \varphi_{ss}}{1 - \sin \varphi_{ss}} \right) \quad (10)$$

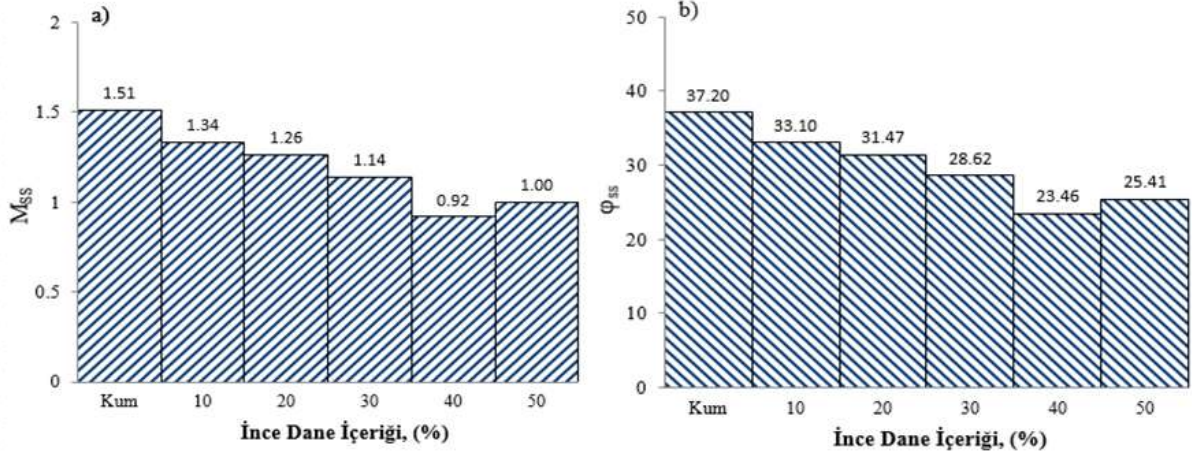
$$M_{ss} = \frac{q}{p'} = \left( \frac{6 \cdot \sin \varphi_{ss}}{3 - \sin \varphi_{ss}} \right) \quad (11)$$

Burada;

$M_{ss}$ : Durağan durum çizgisinin eğimi,

$\varphi_{ss}$ : Durağan durumunda içsel sürtünme açısı,

Kum-silt karışım örnekleri için elde edilen durağan durum parametre ( $M_{ss}$ ) ve durağan durumundaki mobilize sürtünme açısı ( $\phi_{ss}$ ) değerlerinin değişimi sırasıyla Şekil 9(a) ve 9(b)'de karşılaştırılmıştır. Bu şekillere göre; kum-silt karışım örnekleri için elde edilen  $M_{ss}$  değerleri 1.00 ile 1.51 arasında olup Schofield and Wroth [53] ve Atkinson and Bransby [52] tarafından kritik durum zemin mekaniği ilkeleri ile uyum göstermektedir. Mobilize sürtünme açısı ( $\phi_{ss}$ ) değerleri ise ince dane içeriğinin değişimi ile birlikte  $37.20^0$  ile  $23.46^0$  arasında değişmekte olup Yang ve ark. [46] tarafından yapılan çalışmadaki değerlere yakındır. Silt içeriği %0 (temiz kum) dan %30'a doğru yükseldikçe,  $M_{ss}$  ve  $\phi_{ss}$  değerlerinin azaldığı görülmektedir. Ancak, silt içeriği daha da yükseldikçe, ( $f_c$ =%40-%50), durağan durum parametresi ve durağan durumundaki mobilize sürtünme açısı değerlerinde artış görülmektedir. Bu da örneklerde sınır durum yüzeyi alt sınırının değişimini ve duraysızlık bölgesinin de ince dane içeriğinden etkilendiği anlamına gelmektedir.



Şekil 9. Kum-silt karışım örneklerine ait, a) Durağan durum parametresi ( $M_{ss}$ ), b) Durağan durumundaki mobilize sürtünme açısı ( $\phi_{ss}$ )

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, ince dane içeriğinin, doğada çok yaygın olarak bulunabilen suya doymuş siltli kum zeminlerin drenajsız durumdaki kayma dayanımı davranışı, durağan durum çizgisi ve durağan durum parametresi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gevşek durumda hazırlanan silt-kum karışımlarında, konsolidasyon sonrası başlangıç ortalama efektif gerilme düzeyine ve ince dane içeriğine bağlı olarak akma ve sınırlı akma tipinde gerilme-deformasyon davranışı görülmüştür. Sıkı durumda ise ince dane içeriği değişimine bağlı olarak, hacimsel değişme eğilimi, önce bir miktar sıkışma ve daha sonra genişleme veya sürekli genişleme şeklinde görülmüştür. Deneysel olarak gözlemlenen bu davranışa göre, ince dane içeriğinin değişimi, zemin dokusunun değişimine yol açmakta olup, iri dane matrisi veya ince dane matrisi hâkimiyetleri altındaki davranışlar belli bir geçiş ince dane içeriğinden sonra el değiştirmektedir. Bu çalışmada, davranışın geçiş gösterdiği ince dane içeriği yaklaşık  $f_{cth}$ =%30 civarında gözlenmiştir. Ayrıca, durağan durum çizgisinin (SSL) konumu da ince dane içeriğine bağlı olarak değişim göstermiştir. İnce dane içeren örneklerin durağan durum çizgisi düzeyi, temiz kumun durağan durum çizgisine göre karşılaştırıldığında,  $f_{cth}$ =%30'a kadar SSL'den uzaklaşarak aşağıya doğru hareket ettiği ve  $f_{cth}$  > %30 ince dane içeriğinde, yukarıya doğru yön değiştirdiği görülmüştür. Bu da örneklerin kayma dayanımı davranışının ve hacim değişimi eğiliminin değişimi anlamına gelmektedir. Dolayısı ile durağan durum ve durağan durum çizgisi zeminlerin kayma dayanımı davranışı ile ilişkili olup zeminlerin davranışları konusunda önemli bilgiler vermektedir. Bununla birlikte durağan durum parametre ( $M_{ss}$ ) ve durağan durumundaki mobilize sürtünme açısı ( $\phi_{ss}$ ) değerlerinin de ince dane içeriğinden etkilendiği görülmüştür.

## Yazarların Katkısı

Yazarlar bu araştırma makalesine eşit katkı sunmuşlardır.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Castro G. 1969. Liquefaction of sands. (Doctoral dissertation), Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- [2] Lindenberg J., Koning H.L. 1981. Critical density of sand. *Geotechnique*, 31 (2): 231-245.
- [3] Vaid Y.P., Chung E.K.F., Kuerbis R.H. 1990. Stress path and steady state. *Canadian Geotechnical Journal*, 21 (1): 1-7.
- [4] Sladen J.A., D'Hollander R.D., Krahn J. 1985. The liquefaction of sands, a collapse surface approach. *Canadian Geotechnical Journal*, 22: 564-78.
- [5] Been K., Jefferies M.G. 1985. A state parameter for sands. *Geotechnique*, 35 (2): 99-112.
- [6] Poulos S. J., Castro G., France J. 1985. Liquefaction evaluation procedure. *Geotech. Engrg.*, 111 (6): 772-792.
- [7] Mohamad R., Dobry R. 1986. Undrained monotonic and cyclic triaxial strength of sand. *J. Geotech. Engrg.*, 112 (10): 941-958.
- [8] Alarcon-Guzman A., Leonards G.A., Chameau J.L. 1988. Undrained monotonic and cyclic strength of sands. *ASCE J. Geotech. Eng.*, 114 (10): 1089-1109.
- [9] Lade P.V. 1992. Static instability and liquefaction of loose sandy slopes. *Journal of Geotechnical Engineering*, 118 (1): 51-71.
- [10] Ishihara K. 1993. Liquefaction and flow failure during earthquakes. *Geotechnique*, 43 (3): 351-415.
- [11] Yamamuro J.A., Lade P.V. 1997. Instability of granular materials at high pressures, *Soils and Foundations*. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 37 (1): 41-52.
- [12] Thevanayagam S., Mohan S. 2000. Intergranular state variables and stress-strain behaviour of silty sands. *Geotechnique*, 50 (1): 1-23.
- [13] Bobei D.C., Lo S-C.R. 2001. Static liquefaction of Sydney sand mixed with both plastic and non-plastic fines. In proceedings of the 14th Southeast Asian Geotechnical Conference, 485-491.
- [14] Koester J.P. 1994. The influence of fine type and content on cyclic strength. *Ground Failures Under Seismic Conditions*, Geotechnical Special Publication, ASCE, 44: 17-33.
- [15] Koester J.P. 1998. Triggering and post-liquefaction strength issues in fine-grained soils. *Physics and Mechanics of Soil Liquefaction*, Ed. Lade and Yamamuro, Balkema Pubs., 77-89.
- [16] Zlatovic S., Ishihara K. 1995. On the influence of nonplastic fines on residual strength. *Proceedings of the 1st International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering*, Netherlands, 239-44.
- [17] Thevanayagam S. 1998. Relative roles of coarse and fine grains on the mechanical response of granular mixes. *ASCE, J. Geotech. & Geoenv. Eng.* in review.
- [18] Thevanayagam S. 2000. Liquefaction potential and undrained fragility of silty soils. In *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, 2383p.
- [19] Polito C., Martin II J. R. 2001. Effects of nonplastic fines on the liquefaction resistance of sands. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 127 (5): 408-415.
- [20] Bouckovalas G.D., Andrianopoulos K.I., Papadimitriou A.G. 2003. A critical state interpretation for the cyclic liquefaction resistance of silty sands. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 23: 115-125.

- [21] Xenaki V.C., Athanasopoulos G.A. 2003. Liquefaction Resistance of Sand-Silt Mixtures: an Experimental Investigation of the Effect of Fines. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 23: 183-194.
- [22] Naeini S.A., Baziar, M.H. 2004. Effect of fines content on steady-state strength of mixed and layered samples of a sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 24: 181-187.
- [23] Yang S., Lacasse S., Sandven R. 2006. Determination of the Transitional Fines Content of Mixtures of Sand and Non-plastic Fines. *Geotechnical Testing Journal*, 29 (2):102-107.
- [24] Murthy T.G., Loukidis D., Carraro J.A.H., Prezzi M., Salgado R. 2007. Undrained Monotonic Response of Clean and Silty Sands-Non-Linear Soil Stiffness in Routine Design. *Geotechnique*, 57 (3): 273-288.
- [25] Chiu C.F., Fu X.J. 2008. Interpreting undrained instability of mixed soils by equivalent intergranular state parameter. *Géotechnique*, 58 (9): 751-755.
- [26] Papadopoulou A., Tika T. 2008. The effect of fine on critical state and liquefaction resistance characteristics of non-plastic silty sands. *Soil and Foundations*, 48 (5): 713-725.
- [27] Rees S.D. 2010. Effects of Fines on the Undrained Behavior of Christchurch Sandy Soils. Ph.D. thesis, University of Canterbury, New Zealand.
- [28] Rahman M.M. 2009. Modelling the influence of fines on liquefaction behaviour. Ph.D. thesis, University of New South Wales at Australian Defence Force Academy.
- [29] Phan T.A.V., Hsiao D.H., Nguyen P. 2016. Critical State Line and State Parameter of Sand-Fines Mixtures. *Procedia Engineering*, 142: 299-306.
- [30] Jovicic V., Coop M.R. 1997. Stiffness of coarse grained soils at small strains. *Geotechnique*, 47 (3): 545-561.
- [31] Been K., Jefferies M. 2004. Stress-dilatancy in very loose sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 41 (5): 972-989.
- [32] Yang S.L., Sandven R., Grande L. 2006b. Instability of sand-silt mixtures. *Soil Dyn Earthq Eng.*, 26 (2): 183-190.
- [33] Wood F.M., Yamamuro J.A., Lade, P.V. 2008. Effect of depositional method on the undrained response of silty sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 45: 1525-1537.
- [34] Bobei D.C., Lo S.R., Wanatowski D., Gnanendran C.T., Rahman M.M. 2009. Modified state parameter for characterizing static liquefaction of sand with fines. *Canadian Geotechnical Journal*, 46 (3): 281-295.
- [35] Abedi M., Yasrobi S. 2010. Effects of plastic fines on the instability of sand. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30 (3): 61-67.
- [36] Rahman M. M., Lo S.R., Cubrinovski M. 2010. On Equivalent Granular Void Ratio and Behaviour of Loose Sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 45 (10): 1439-1456.
- [37] Stamatoopoulos C. 2010. An experimental study of the liquefaction strength of silty sands in terms of the state parameter. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30: 662-678.
- [38] Huang A.B., Chuang S.Y. 2011. Correlating cyclic strength with fines contents through state parameters. *Soils Found*, 51 (6): 991-1001.
- [39] Rahman M.M., Lo S. 2011. Predicting the onset of static liquefaction of loose sand with fines, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 138 (8): 1037-1041.
- [40] Baki M.A.L., Rahman M.M., Lo S.R., Gnanendran C.T. 2012. Linkage between static and cyclic liquefaction of loose sand with a range of fines contents. *Canadian Geotechnical Journal*, 49 (8): 891-906.
- [41] Qadimi A., Mohammadi A. 2014. Evaluation of state indices in predicting the cyclic and monotonic strength of sands with different fines contents. *Soil Dyn Earthq Eng.*, 66: 443-58.
- [42] Cherif Taiba A., Mahmoudi Y., Belkhatir M., Kadri A., Schanz T. 2018. Experimental characterization of the undrained instability and steady state of silty sand soils under monotonic loading conditions. *International Journal of Geotechnical Engineering*, 12 (5): 513-529.
- [43] Høeg K., Dyvik R., Sandbækken G. 2000. Strength of Undisturbed Versus Reconstituted Silt and Silty Sand Specimens. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 126 (7): 606-617.
- [45] Vaid Y.P., Sivathayalan S. 2000. Fundamental factors affecting liquefaction susceptibility of sands. *Can. Geotech. J.*, 37 (3): 592-606.
- [46] Yang S.L., Sandven R., Grande L. 2006c. Steady-state Lines of Sand-siltmixtures. *Can. Geotech. J.*, 43 (11): 1213-1219.

- [47] Rahman M.M., Lo S.R. 2007. Equivalent granular void ratio and state parameters for loose clean sand with small amount of fines. 10Th Australia New Zealand Conference on Geomechanics, Brisbane, Australia, 674-679.
- [48] Wood F.M., Yamamuro J.A., Lade P.V. 2008. Effect of depositional method on the undrained response of silty sand. *Canadian Geotechnical Journal*, 45: 1525-1537.
- [49] Yamamuro J.A., Wood F.M., Lade P.V. 2008. Effect of depositional method on the microstructure of silty sand. *Can. Geotech. J.*, 45: 1538- 1555.
- [50] Kwa K.A., Airey D.W. 2016. Critical state interpretation of effects of fine in silty sands. ICE Publishing, *Geotechnique Letters*, 6: 100-1005.
- [51] Talamkhani S., Naeini S.A. 2018. International Effect of Plastic Fines on Undrained Behavior of Clayey Sands. *International Journal of Geotechnical and Geological Engineering*, 12 (8): 525-528.
- [52] Atkinson J.H., Bransby P.L. 1978. *The Mechanics of Soil: An Introduction to Critical State Soil Mechanics*. McGraw-Hill Book Company (UK) Limited, Maidenhead, Berkshire, England, ISBN 07 084135 7.
- [53] Schofield A.B., Wroth C.P. 1968. *Critical state soil mechanics*. London, McGraw-Hill.
- [54] Roscoe K.H., Schofield A.N. 1958. Wroth CP. On the yielding of soils. *Géotechnique*, 8 (1): 22-53.
- [55] Yamamuro J.A., Lade P.V. 1998. Steady-state concepts and static liquefaction of silty sands. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 124 (9): 868-877.
- [56] Poulos S.J. 1981. The steady state of deformation. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 107 (5): 553-562.
- [57] Chu J., Lo S.C.R., Lee I.K. 1993. Instability of granular soils under strain path testing. *Journal of Geotechnical Engineering*, 119 (5): 874-892.
- [58] Bobei D.C., Lo S.R. 2001. Static liquefaction of Sydney sand mixed with both plastic and non-plastic fines. In *Proceedings of the 14th Southeast Asian Geotechnical Conference*, Hong Kong, 9-14.
- [59] Bobei D.C., Lo S.R. 2005. Reverse behaviour and critical state of sand with small amount of fines. In *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (16ICSMGE)*, Osaka, Japan, Millpress Science Publishers, Rotterdam, the Netherlands. 2: 475-478.
- [60] ASTM D7928. Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis, American Society for Testing and Materials.
- [61] ASTM D4318. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, American Society for Testing and Materials.
- [62] Bjerrum L., Kringstad S., Kummeneje D. 1961. The shear strength of a fine sand. In: *Proceedings of 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, 1: 29-37.
- [63] Leroueil S., Vaughan P.R. 1990. The general and congruent effects of structure in natural soils and weak rocks, *Géotechnique*, 40 (3): 467-88.
- [64] Kramer S.L., Seed H.B. 1988. Initiation of soil liquefaction under static loading conditions, *Journal of Geotechnical Engineering*, 114 (4): 412-430.
- [65] Konrad J.M. 1990. Minimum Undrained Strength Versus Steady-State Strength of Sands. *Journal of Geotechnical Engineering*, 116 (6): 948-963.
- [66] Pitman T. D., Robertson P.K., Segoo D.C. 1994. Influence of Fines on the Collapse of Loose Sands. *Canadian Geotechnical Journal*, 31 (5): 728-739.
- [67] Frost J.D., Park J.Y. 2003. A Critical Assessment of the Moist Tamping Technique. *Geotech. Test. J.*, 26 (1): 57-70.
- [68] Rahman M.M., Lo S., Gnanendran C.T. 2008. On equivalent granular void ratio and steady state behaviour of loose sand with fines. *Canadian Geotechnical Journal*, 45 (10): 1439-1456.
- [69] Wanatowski D., Chu J. 2008. Effect of Specimen Preparation Method on the Stress-Strain Behavior of Sand in Plane-Strain Compression Tests. *Geotechnical Testing Journal*, 31 (4): 308-320.
- [70] Sadrekarimi A., Olson S.M. 2012. Effect of sample-preparation method on critical-state behavior of sands. *Geotechnical Testing Journal*, 35 (4): 1-15.

- [71] Ladd R.S. 1978. Preparing test specimens using under compaction, *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 1 (1): 16-23.
- [72] Belkhatir M., Arab A., Missoum H., Della N., Schanz T. 2011. Laboratory study on the liquefaction resistance of sand–silt mixtures: effect of grading characteristics. *Granular Matter*, 13: 599-609.
- [73] Cherif Taiba A., Belkhatir M., Kadri A., Mahmoudi Y., Schanz T. 2016. Insight into the effect of granulometric characteristics on the static liquefaction susceptibility of silty sand soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 34 (1): 367-382.
- [74] Della A., Arab M., Belkhatir M. 2011. Effect of confining pressure and depositional method on the undrained shearing response of medium dense sand. *Journal of Iberian Geology*, 37 (1): 37-44.
- [75] Benahmed N., Nguyen T.K., Hicher P.Y., Nicolas M. 2014. An experimental investigation into the effects of low plastic fines content on the behaviour of sand / silt mixtures. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 37-41.
- [76] Belhouari F., Bendani K., Missoum H., Derkaoui M. 2015. Undrained static response of loose and medium dense silty sand of Mostaganem (Northern Algeria). *Arab. J. Sci. Eng.*, 40: 1327-1342.
- [77] Mahmoudi Y., Cherif Taiba A., Belkhatir M., Schanz T. 2016. Experimental Investigation on Undrained Shear Behavior of Overconsolidated Sand–silt Mixtures: Effect of Sample Reconstitution. *Geotechnical Testing Journal*, 39 (3): 515-523.
- [78] Karim M.E., Alam J. 2017. Effect of nonplastic silt content on undrained shear strength of sand-silt mixtures. *Int J Geo-Engineering*, 1-26.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **MoO<sub>3</sub>/PAG ve ZnO/PAG Nanoyağlayıcılarının Soğutma Sisteminin Performans Parametrelerine Etkilerinin Belirlenmesi**

Mustafa AKKAYA \*

*Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği,  
Karaman, Türkiye  
(ORCID: 0000-0002-8690-921X)*

---

### **Öz**

Isıtma ve soğutma makinelerinde sistem performansının iyileştirilmesine yönelik çalışmalar son yıllarda popüler bir hâl almıştır. Bu deneysel çalışma ile buhar sıkıştırma soğutma çevrimindeki kompresöre müdahale edilerek, sistemde enerji verimliliğini sağlamak amaçlanmıştır. Soğutma sistemi elemanlarından kompresör içerisinde polialkilen glikol (PAG) yerine nanoyağlayıcıdan yararlanılmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlarken baz sıvısı olarak tam sentetik PAG kullanılmıştır. Baz sıvısı içerisinde farklı kütle oranlarında çinko oksit (ZnO) ve molibden tri-oksit (MoO<sub>3</sub>) nanoparçacıkları eklenmiştir. Nanoyağlayıcıdaki topaklanmaları engellemek amacıyla yüzey aktif madde olarak Triton X-100 (TX-100) kullanılmıştır. Nanoyağlayıcıda ZnO ve MoO<sub>3</sub> nanoparçacıkları ağırlıkça %1,0 ve %1,5 oranlarında, TX-100 yüzey aktif maddesi ağırlıkça %0,5 ve %1,0 oranlarında, baz sıvısına dahil edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, soğutma sisteminin performansı değerlendirilmiştir. Kompresör yağı olarak PAG kullanıldığında, soğutma tesir katsayısı (STK) 3,98 olarak hesaplanmıştır. Ortam koşulları ve sıcaklığı değiştirilmeden, hazırlanan nanoyağlayıcılar aynı kompresörde kullanılmıştır. En iyi sonuç; baz sıvısı PAG, ağırlıkça %1,5 oranında ZnO nanoparçacıkları ve ağırlıkça %0,5 oranında TX-100 yüzey aktif maddesi ile hazırlanan nanoyağlayıcıdan kompresörde iş akışkanı olarak faydalanılması neticesinde elde edilmiştir. Hazırlanan bu nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda, STK 4,65 olarak hesaplanmıştır. STK değerinde %16,83 kadar artış gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Nanoyağlayıcı, PAG, ZnO, MoO<sub>3</sub>, TX-100.

---

## **Determination of the Effects of MoO<sub>3</sub>/PAG and ZnO/PAG Nano-lubricants on Cooling System Performance Parameters**

### **Abstract**

Efforts to improve system performance in heating and cooling machines have been popular during recent years. With this experimental study, it was aimed to provide energy efficiency by intervening in the compressor in the vapor compression refrigeration cycle. Nano-lubricant was used instead of polyalkylene glycol (PAG) in the compressor from cooling system components. Fully synthetic PAG was used as the base fluid when preparing nano-lubricant. Zinc oxide (ZnO) and molybdenum tri-oxide (MoO<sub>3</sub>) nanoparticles of different mass fractions were added to the base liquid. Triton X-100 (TX-100) was used as surfactant in order to prevent precipitation in the nano-lubricant. While preparing the nano-lubricant, ZnO and MoO<sub>3</sub> nanoparticles were included in the base fluid in 1.0% and 1.5% mass fractions and TX-100 surfactant in 0.5% and 1.0% mass fractions. When pure PAG was used as the compressor oil, the coefficient of performance (COP) was calculated as 3.98. The prepared nano-lubricants were used in the same compressor without changing the ambient conditions and temperature. The best result; the base liquid PAG was obtained by using the nano-lubricant prepared with 1.5% by mass ZnO nanoparticles and 0.5% by weight TX-100 surfactant material as compressor oil. As a result of using this prepared nano-lubricant as compressor oil, the COP was calculated as 4.65. An increase of 16.83% was observed in the COP value.

**Keywords:** Nano-lubricant, PAG, ZnO, MoO<sub>3</sub>, TX-100.

---

\*Sorumlu yazar: [makkaya@kmu.edu.tr](mailto:makkaya@kmu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10.01.2021, Kabul Tarihi: 30.04.2021

## 1. Giriş

Dünya genelinde nüfusun artmasıyla endüstriyel alanda gelişmeler meydana gelmiştir. Gündelik yaşamımızda da hayat standartlarının yükselmesiyle, enerjinin kullanımı artmaktadır. Gelişen bu teknolojilerle mevcut enerji kaynaklarının, tüketilen enerjiyi karşılayamaması sorunu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, geleceğe yönelik planlamalar doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlar artmaktadır. Son yıllarda farklı enerji kaynaklarına yönelimin yanında, enerji verimliliği kavramı da son derece önemli bir konu haline gelmiştir [1]. Endüstriyel sistemlerde ve günlük yaşamımızda, iklimlendirme sistemleri önemli bir yer tutmaktadır. İklimlendirme sistemleri içerisinde yer alan soğutma sistemleri dört temel elemandan meydana gelmektedir: Kompresör, yoğuşturucu, buharlaştırıcı ve genişleme valfi. Bu ana elemanlarla birlikte, soğutma sisteminin devamlılığını kolaylaştıran kurutucu, sıvı deposu, sıvı ayırıcı, selenoid valf, termostat vb. yardımcı elemanlar bulunmaktadır. Çevrim içerisinde dolaşan soğutucu akışkanın soğuk kaynaktan sıcak kaynağa ısı iletimi kompresörler vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle; kompresör soğutma sistemlerinin kalbi olarak gösterilebilir [2]. Soğutma sistemlerinde bilinen enerji verimlilik çalışmalarına ek olarak, kompresörün soğutulması ve istenilen verimlilik düzeyinde çalışması için kullanılan yağa müdahale edilerek nanoparçacık-yağ (nanoyağlayıcı) süspansiyonunun kullanılması da söz konusudur [3]. Isı transferi uygulamalarında kullanılan akışkanlara farklı derişimlerde nanoparçacıkların eklenmesiyle, bu sıvıların ısı transferi performanslarının artırılabilirdiği bilinmektedir. Son yıllarda, *Maxwell* veya diğer makro ölçekli yaklaşımlar gibi geleneksel yöntemlerin dışında, nano boyutta parçacıkların baz sıvısı içerisine eklenmesiyle akışkanların ısı transfer özelliklerinde iyileştirmeler meydana gelmiştir [4]. Nanoakışkan ve nanoyağlayıcı uygulamalarında nanoparçacıkların iş akışkanına eklenmesiyle, katı parçacıkların birbiriyle olan etkileşimleri sonucunda türbülans ve ısı transfer yüzeyi artmaktadır. Isı iletim katsayısı yüksek katı partiküllerle, akışkanın ısı iletim katsayısı da artmaktadır. Böylece, nanoparçacık-sıvı süspansiyonların hazırlanması ve ağırlıkça uygun kütle oranlarında eklenmesi, baz akışkanının ısı transferi performansını arttırmaktadır [5,6].

Nanoakışkan ve uygulamalarıyla ilgili yapılan çalışmalarda, ZnO nanoparçacığı yüksek ısı iletkenlik ve süspansiyon içerisinde göstermiş olduğu homojen dağılımdan dolayı, sıklıkla tercih edilmektedir [7,8]. Goodarzi vd. ZnO ve karbon nanotüp (MWCNT) nanoparçacıkları ile çalışma sıvısı motor yağını (SAE 10W40) karıştırarak hibrit nanoyağlayıcı hazırlamıştır. Çalışmanın ilk ve en önemli aşamasının nanoyağlayıcı hazırlamak olduğu ve nanoyağlayıcı hazırlarken çökelmelerin önüne geçmek amacıyla homojen bir süspansiyon hazırlanması gerektiği vurgulanmıştır. Bu nedenle, kararlı bir süspansiyon oluşturmak amacıyla motor yağına belirli hacim oranlarında hibrit nanoparçacıklar eklendikten sonra çözelti ilk aşamada, manyetik karıştırıcıya konulmuştur. İkinci aşama olarak, nanoyağlayıcı içerisinde topaklanmaları önlemek ve partikülleri baz sıvısında tamamen çözmek amacıyla süspansiyon ultrasonik karıştırıcıya konulmuştur. Önceki deneyler ölçüt alındığında, hazırlanan nanoyağlayıcılarda çökelme olup olmadığını gözlemek amacıyla beş gün süreyle süspansiyon bekletilmiştir ve bu süre sonunda herhangi bir sorun ile karşılaşmadığı raporlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda, incelenen tüm hacim oranlarındaki nanoyağlayıcıların, *Newtonian akışkan* davranışına sahip olduğu bildirilmiştir. Farklı sıcaklıklara bağlı olarak partikül hacim oranlarını incelemişlerdir. Artan sıcaklıkla birlikte nanoparçacıkların artan hacim oranına bağlı olarak, baz sıvısının viskozitesi artmıştır. Sonuç olarak, aynı sıcaklık değerinde, nanoyağlayıcının hacim oranının artmasıyla viskozitenin arttığı sonucuna ulaşılmıştır [9]. Senthilkumar vd. buhar sıkıştırmalı bir soğutma sisteminde, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla performans katsayısı, soğutma kapasitesi gibi değişkenlerin iyileştirmesine yönelik bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Basit bir soğutma sisteminde performansı arttırmak ve enerji kullanımını en aza indirmek amacıyla kompresör yağlama yağına nanoparçacık ilavesine ilişkin yeni uygulamaların olduğuna dikkat çekilmiştir. Son zamanlarda yapılan çalışmalarda, buhar sıkıştırmalı soğutma sistemlerinde enerji tasarrufu problemleri için nanoyağlayıcıların kullanımına odaklanıldığı belirtilmiştir. Nanoparçacık olarak ZnO ve SiO<sub>2</sub> metal oksitlerinin manyetik karıştırıcıda karıştırılmasıyla elde edilen hibrit nanoparçacıklar kullanılmıştır. Soğutma sistemi, 60 g soğutucu akışkanla (R600a) şarj edilerek 0,4 g/L nanoyağlayıcı kullanıldığında, sistemin nanoparçacıksız sisteme göre daha az güç tükettiği sonucuna ulaşılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, en düşük kompresör çalışması 78 W olarak belirlenmiştir. Bu değer 0,6 g/L ZnO-SiO<sub>2</sub> hibrit nanoparçacıkların kompresör yağına eklenmesiyle elde edilmiştir. Ayrıca kullanılan bu kütle oranı için soğutma etkinlik katsayısında, nanoparçacıksız kullanıma göre 1,7 kadar arttığı söylenmiştir [10].

Subhedar vd. geliştirmekte olan ülkelerde, enerji sıkıntısı ile karşı karşıya kalındığını ve soğutma sistemlerinde birçok endüstriyel ve ev uygulamaları için ana enerji tüketicisi olduğunu ifade etmişlerdir. Basit bir soğutma sistemi için evaporatördeki ısı absorpsiyon oranı artırılarak veya kompresör gücü düşürülerek enerji verimliliğinin sağlanabileceği vurgulanmıştır. Yapılan bu deneysel çalışmada R134a soğutucu akışkanı ile çalışan buhar sıkıştırma soğutma sisteminde, %0,05; %0,075; %0,1 ve %0,2 oranlarında nanoyağlayıcı kullanılarak enerji verimliliği sağlanmak istenmiştir. Süspansiyon hazırlarken mineral yağ (MO) içerisine 20 nm boyutunda alümina nanoparçacıkları eklenmiştir. Kararlı ve homojen bir süspansiyon oluşturmak amacıyla oleik asit yüzey aktif malzemesi kullanılmıştır. Mineral yağ içerisine alümina nanoparçacıkları %0,05; 0,075; %0,1 ve %0,2 hacim konsantrasyonlarında eklenmiştir. Hazırlanan bu nanoyağlayıcıların termal özellikleri ve tribolojik özellikleri iyileştirilmiştir. Buhar sıkıştırma soğutma sisteminde kompresör yağı olarak mineral yağ yerine %0,075 hacim oranında alümina/mineral yağ nanoyağlayıcısı kullanıldığında, kompresör gücünde yaklaşık olarak %27 kadar azalma olmuştur. Aynı hacim fraksiyonda nanoyağlayıcı, kompresör yağı olarak kullanıldığında evaporatör bölümünde ısı emme kapasitesinin %35 kadar arttığı görülmüştür [11].

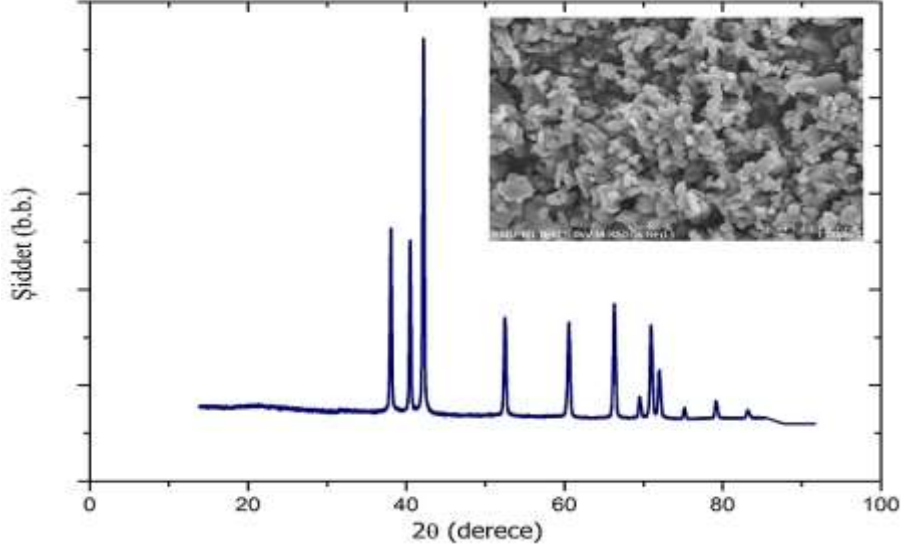
Son yıllarda yapılan nanoakışkan ve nanoyağlayıcı uygulamalarında alaşımli metal oksit nanopartiküllerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Termal iletkenlik ve performansın artırılması noktasında alaşımli nanoparçacıkların sıvı içerisinde etkin ısı transfer yüzeyini artırdığı ve baz sıvıları ile homojen bir karışım oluşturdukları görülmektedir [12,13]. Nanoakışkan ve nanoyağlayıcı içerisinde çökelmelerin önüne geçerek homojen ve kararlı bir süspansiyon hazırlamak için nanoparçacıkların boyutunun önemli olduğu görülmektedir. Nanoparçacıkların boyutunun yanında hazırlanan süspansiyonda kullanılan nanoparçacık kütle oranının uygun olarak belirlenmesi ve karışımın homojen hale gelene kadar karıştırılması önemlidir. Yapılan nanoyağlayıcı çalışmalarında, yüzey aktif madde kullanımının oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle süspansiyon içerisinde yüzey gerilmesinin yenilerek toplanmayı engellemek için yüzey aktif madde kullanılmalıdır [13]. Nanoparçacık olarak MoO<sub>3</sub> parçacıklarının kullanımına yönelik nanoakışkan uygulamaları vardır. Sun vd. MoO<sub>3</sub> nanoakışkanlarını, baz sıvısı diyonize suya MoO<sub>3</sub> partiküllerinin eklenmesiyle hazırlamıştır. Çalışma sonuçlarına göre, nanoparçacık-MoO<sub>3</sub>'ün suda dağılmasının sürtünme katsayılarını ve aşınma hacminin azalmasına yardımcı olduğu ve yük taşıma kapasitesinde artışa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca, tribolojik olarak MoO<sub>3</sub> partiküllerinin yağlayıcı ve termal özelliklerinin yüksek olduğu görülmektedir [14].

Yapılan bu deneysel çalışmada; ZnO nanoparçacıkları ve MoO<sub>3</sub> nanoparçacıklarıyla hazırlanan nanoyağlayıcılar, kompresör yağı olarak kullanılmıştır ve akabinde buhar sıkıştırma soğutma sisteminin performansı incelenmiştir. Kullanılan MoO<sub>3</sub> partiküllerinin nanoakışkan uygulamalarının dışında, soğutma sisteminde nanoyağlayıcı olarak kullanımına rastlanılmamıştır. Sistemde kompresör olarak hermetik tip ve 844 W soğutma kapasitesine sahip kompresör kullanılmıştır. MoO<sub>3</sub> ve ZnO nanoparçacıkları ile hazırlanan farklı kütle oranlarındaki nanoyağlayıcıların termal özellikleri ve kompresörün çalışma verimliliğine etkileri karşılaştırılarak incelenmiştir. Nanoparçacıklar, PAG baz sıvısına eklenerek nanoyağlayıcı hazırlanmış olup, süspansiyonda homojen bir dağılımın sağlanması ve toplanmanın engellenmesi için TX-100 yüzey aktif maddesinden faydalanılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

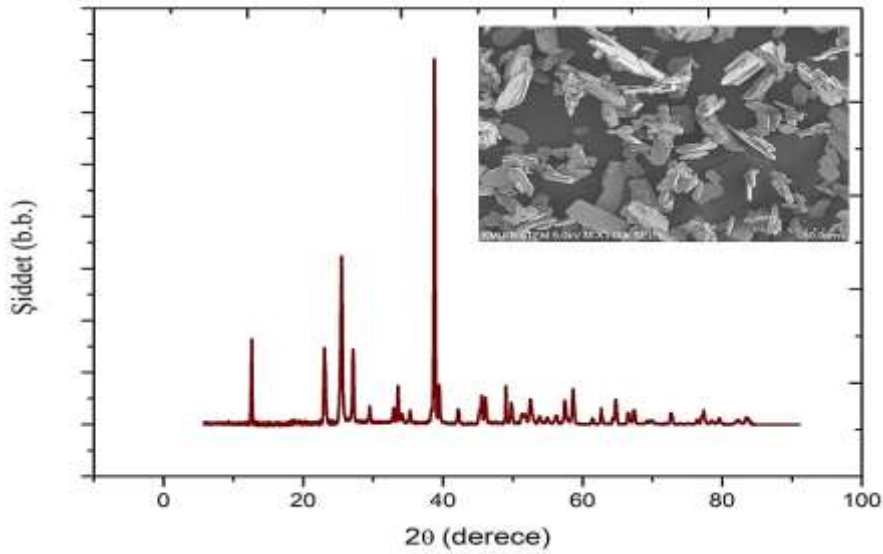
### 2.1. Nanoparçacıkların Özellikleri

Çalışmada kullanılan,  $\geq 99\%$  saflığında ZnO ve MoO<sub>3</sub> nanoparçacıkları *Sigma-Aldrich* firmasından temin edilmiştir. Nanoparçacıkların morfolojik özelliklerinin belirlenmesi açısından, X-ışınları difraktometresi (XRD) analizleri yapılarak taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri alınmıştır. Şekil 1'de ZnO nanoparçacığına ait XRD analizi ile birlikte SEM görüntüsü verilmiştir. XRD analizi sonucunda, toz halindeki ZnO nanoparçacıklarının kristal yapısı ile birlikte tanecik boyutunun da analizi gerçekleştirilmiştir. ZnO nanoparçacıkları için XRD analizinde, malzemenin kristal düzlemlerine göre altıgen kristal geometrisine karşılık geldiği ve literatür ile uyumlu olduğu anlaşılmaktadır [15]. Şekil 1 üzerinde partiküle ait SEM görüntüsüne yer verilmiştir. ZnO partiküllerinin *Scherrer* denkleminde göre (XRD) ortalama 13 nm boyutunda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. ZnO nanoparçacıklarının XRD analizi ve SEM görüntüsü

Nanoyağlayıcı hazırlarken kullanılan bir diğer partikül  $\text{MoO}_3$ 'tür. Nanoparçacığa ait XRD analizi ve SEM görüntüsü Şekil 2'de verilmiştir. XRD grafiği incelendiği zaman, tüm pik noktalarının  $\text{MoO}_3$ 'ün literatürdeki şekliyle uyumlu olduğu görülmektedir [16].  $\text{MoO}_3$  nanoparçacıkları Scherrer denkleminde göre (XRD) ortalama 28 nm boyutundadır.



Şekil 2.  $\text{MoO}_3$  nanoparçacıklarının XRD analizi ve SEM görüntüsü

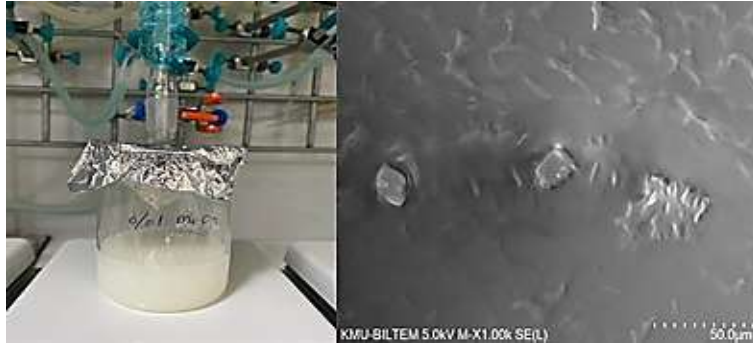
## 2.2. Nanoyağlayıcının Hazırlanması

Hazırlanan nanoyağlayıcılar; ultrasonik su banyosunda (*Kudos-Model: SK2210HP*) ve manyetik karıştırıcıda (*Jeio Tech MS-32M*) karıştırılmıştır. Nanoyağlayıcıların hepsinde 100 ml miktarında PAG baz sıvısı kullanılmıştır. Birinci aşamada PAG içerisine ağırlıkça %1,0 ve %1,5 oranlarında ZnO nanoparçacıkları ve ağırlıkça %0,5 oranında TX-100 yüzey aktif maddesi eklenmiştir. Bu aşamada elde edilen nanoyağlayıcı için SEM görüntüsü Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. PAG / %1,0 ZnO / %0,5 TX-100 nanoyağlayıcının SEM görüntüsü

İkinci aşamada ise 100 ml PAG baz sıvısının içerisine ağırlıkça %1,0 ve %1,5 oranlarında  $\text{MoO}_3$  nanoparçacığı ve ağırlıkça %1,0 oranında TX-100 yüzey aktif maddesinin eklenmesiyle iki farklı nanoakışkan hazırlanmıştır. Hazırlanan nanoyağlayıcının SEM görüntüsü Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. PAG / %1,0  $\text{MoO}_3$  / 1,0 TX-100 nanoyağlayıcının SEM görüntüsü

### 2.3. Kullanılan Deney Düzeneginin Özellikleri

Çalışmada, *Deneysan* firmasından temin edilen buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimi ile çalışan sistem, eklemeler yapılarak kullanılmıştır. Sistemde basit bir soğutma çevriminde yer alan kompresör, buharlaştırıcı, yoğuşurucu ve genişleme valfi elemanları bulunmaktadır. Çevrim içerisinde çevre ekipmanları, bakır borular ve kompresör elemanında değişiklikler yapılmıştır. Deneysel verileri dijital olarak alabilmek için sisteme data toplayıcı eklemesi yapılmıştır. Deney düzenegine ait görünüm Şekil 5'de gösterilmiştir [13].



Şekil 5. Deney düzenegine ait görünüm

Çevrimin temel elemanlarının sıcaklık giriş-çıkış değerlerini ölçmek amacıyla *Pt-100* tipi ısı çiftleri kullanılmıştır. Basınç değerlerini ölçmek için de *Refco mr-205-ds* ve *Refco-mr-305-ds* bourdon tipi yağlı manometreler kullanılmıştır. Deneylerde hazırlanan nanoyağlayıcılar hermetik pistonlu *Embraco FF 8.5 HBK* kompresöre eklenmiştir. Kompresörün özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Deneylerde kullanılan kompresörün özellikleri [17]

Kompresör Teknik Özelliği	Açıklama
Marka	Embraca
Kompresör Tipi	Hermetik Pistonlu
Çalışma Rejimi	HBP (+7,2 °C / +54 °C)
Kompresör Gücü (Hp)	1/4
Soğutma Kapasitesi (Watt)	844
Süpürme Hacmi (cm <sup>3</sup> /rev)	7,95
Emiş Hattı	5/16"
Basma Hattı	1/4"

## 2.4. Belirsizlik Analizi

DeneySEL çalışmalarında, sonuçların doğru bir şekilde değerlendirilmesi ve ölçüm hassasiyetinin belirlenmesi açısından belirsizlik analizi önemlidir. Kullanılan ölçüm cihazlarının kalibrasyonu, bağlantı noktaları ve okuma hatalarından kaynaklı olarak belirsizlik analizi gerçekleştirilir. Soğutma deney düzeneğinde kompresör, buharlaştırıcı ve yoğuşurucu elemanlarının giriş ve çıkış sıcaklıklarının ölçümü için ısı çiftleri kullanılmıştır. Isıl çift için toplam belirsizlik ısı çiftinin hassasiyeti ve bağlantıları ile okuma hataları dikkate alınarak aşağıdaki formül ile hesaplanır [5,18]. Şekil 6'da deney düzeneğinde yer alan ölçüm göstergeleri ve Tablo 2'de ölçüm cihazlarına ait belirsizlik analizi verilmiştir.

$$W_R = \left\{ (W_{\text{Isıl çift hassasiyeti}})^2 + (W_{\text{Isıl çift bağlantı}})^2 + (W_{\text{Okuma}})^2 \right\}^{1/2} \quad [1]$$

$$W_R = \{(1)^2 + (1)^2 + 0,1^2\}^{1/2} = 1,41$$

Deney düzeneğinde alçak ve yüksek basınç değerleri yağlı manometre ile ölçülmüştür. Basınç ölçümleri için belirsizlik analizi hesaplanırken, okuma hatası ve manometrenin hassasiyeti dikkate alınmaktadır [18].

$$W_R = \left\{ (W_{\text{basınç}})^2 + (W_{\text{Okuma}})^2 \right\}^{1/2} \quad [2]$$

$$W_R = \{(0,016)^2 + (0,1)^2\}^{1/2} = 0,10$$

**Tablo 2.** Deney düzeneğinde kullanılan ölçüm cihazları ve belirsizlik analizi

Ölçüm Cihazları	Cihaz	Özelliği	Duyarlılık	Belirsizlik
Isıl Çiftler °C	Pt-100	-200 °C - +850 °C	1,0	± %1,41
Manometreler (bar)	Refco	mr-205 ve mr-305-ds	0,016	±0,10

**Şekil 6.** Deney düzeneği ölçüm göstergeleri

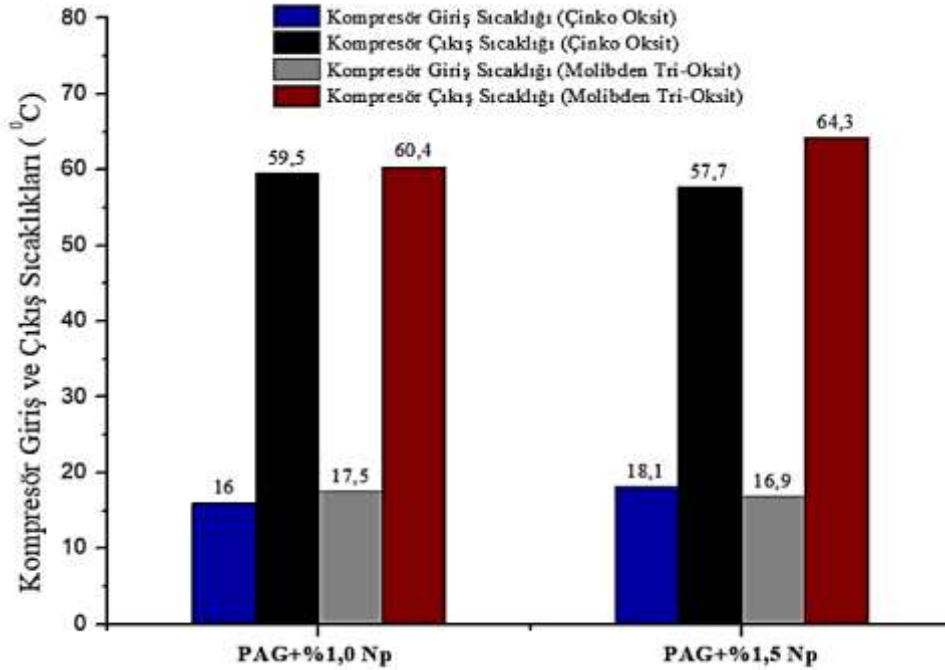
## 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada enerji verimliliği analizleri noktasında basit bir soğutma sistemi kullanılmıştır. Kompresör, buharlaştırıcı, yoğuşurucu, genişleme valfi ve kurutucudan oluşan soğutma sisteminde, kompresör yağına yapılan müdahalenin sonuçları daha net görülebilmektedir. Sistemde kompresör yağı yerine farklı derişimlerde hazırlanan nanoyağlayıcılar kullanılmıştır ve her bir derişimdeki

nanoyağlayıcı için sistem performansı değerlendirilmiştir. Deneyler sonucunda kompresör, buharlaştırıcı, yoğuşurucu giriş ve çıkış sıcaklıkları ile alçak-yüksek basınç değerlerinin ölçümleri alınmıştır. Deneylerde, buhar sıkıştırılmalı soğutma sisteminde kompresör yağı olarak, farklı derişimlerde kullanılan MoO<sub>3</sub> ve ZnO nanoparçacıklarıyla hazırlanan nanoyağlayıcıların kullanılması sonucunda, soğutma tesir katsayısı ve kompresör işi analiz edilmiştir. Yapılan deneyler, aynı ortam koşullarında tekrarlanmıştır. Soğutma deney düzeneği parametrelerinin belirlenmesinde, ortam sıcaklığındaki değişimler sistemi etkilemektedir. Bu nedenle, tüm deneyler aynı deneysel koşullarda gerçekleştirilmiştir.

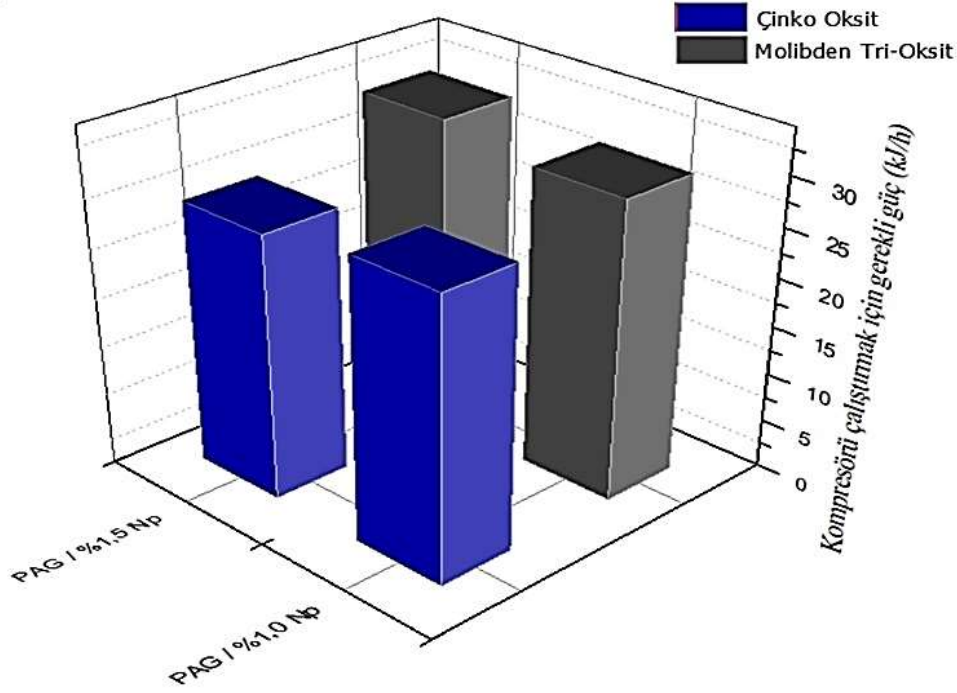
### 3.1. Kompresör Giriş ve Çıkış Sıcaklıklarının Analizi

Hazırlanan nanoyağlayıcılar, soğutma sistemindeki kompresörün harcamış olduğu enerjiyi düşürmek amacıyla kompresör yağı olarak kullanılmıştır. Kompresörde harcanan enerjiyi azaltmak için soğutma çevrimi içerisinde kompresör çıkışındaki sıcaklığın azaltılması gerekir. Baz sıvısı içerisinde nanoparçacıkların kullanılmasıyla, buharlaştırıcı tarafından soğutulan ortamdaki daha fazla ısı çekimi sağlanarak, çıkış sıcaklığı düşürülmüştür. Farklı özelliklerdeki nanoyağlayıcıların, kompresörde iş akışkanı olarak kullanılması sonucunda, kompresör giriş ve çıkış sıcaklıklarındaki varyasyonlar Şekil 7’de verilmiştir. En düşük kompresör çıkış sıcaklığı; iş akışkanı PAG, ağırlıkça %1,5 oranında ZnO nanoparçacığı ve ağırlıkça %0,5 oranında TX-100 yüzey aktif maddesinin kullanılmasıyla ve en yüksek kompresör çıkış sıcaklığı ise PAG içerisine ağırlıkça %1,5 oranında MoO<sub>3</sub> ve ağırlıkça %1,0 oranında TX-100 eklenerek hazırlanan nanoyağlayıcının kullanılması sonucunda elde edilmiştir. Süspansiyon içerisine eklenen MoO<sub>3</sub> nanoparçacıklarının, ZnO nanoparçacıklarına göre daha fazla çöktüğü gözlemlendiği için MoO<sub>3</sub> ile hazırlanan nanoyağlayıcılarda, yüzey aktif madde %1,0 kütle oranında kullanılmıştır.



Şekil 7. Nanoyağlayıcı kullanımı sonucunda kompresör giriş ve çıkış sıcaklıklarındaki değişimler

Kompresör giriş-çıkış sıcaklık ve sistem basınç ölçümlerine bağlı olarak entalpi değerleri belirlenmiştir. Bu entalpi değerleriyle kompresörü çalıştırmak için gerekli güç değerleri hesaplanmıştır [19]. PAG içerisine ağırlıkça %1,5 kütle oranında ZnO nanoparçacığı eklenmesiyle hazırlanan nanoyağlayıcının kompresör yağı olarak kullanılması ile en düşük güç değeri elde edilmiştir. Farklı derişimlerde nanoyağlayıcıların kompresörü çalıştırmak için güç değeri üzerine etkisi Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. Nanoyağlayıcı kullanımının kompresöre etkisi

### 3.2. Soğutma Tesir Katsayısının Analizi

Soğutma çevriminde soğutucu akışkan, sistem elemanları tarafından kademeli bir şekilde buharlaşır, yoğunur ve buhar halindeyken kompresörde sıkıştırılır. Soğutma işlemi için kullanılan, soğutma makinesi veya ısı pompasının performans ölçütü STK değeri ile belirlenmektedir. Gerekli hesaplamalar aşağıdaki formüller yardımıyla yapılmıştır [19]. Hesaplama yapılırken yoğunlaştırıcı çıkışındaki entalpi değeri  $h_3$  ile buharlaştırıcı girişindeki  $h_4$  entalpi değerlerinin ortalaması alınarak  $h_{ort}$  üzerinden işlemler yapılmıştır.

$$\dot{W}_K = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad [3]$$

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad [4]$$

$$STK = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_K} \quad [5]$$

$\dot{m}$  : Soğutucu akışkanın kütleli debisi (g/s)

$h_1$ : Soğutmanın kompresör girişindeki entalpi değeri (kJ/kg)

$h_2$ : Soğutmanın kompresör çıkışındaki entalpi değeri (kJ/kg)

$h_4$ : Soğutmanın buharlaştırıcı girişindeki entalpi değeri (kJ/kg)

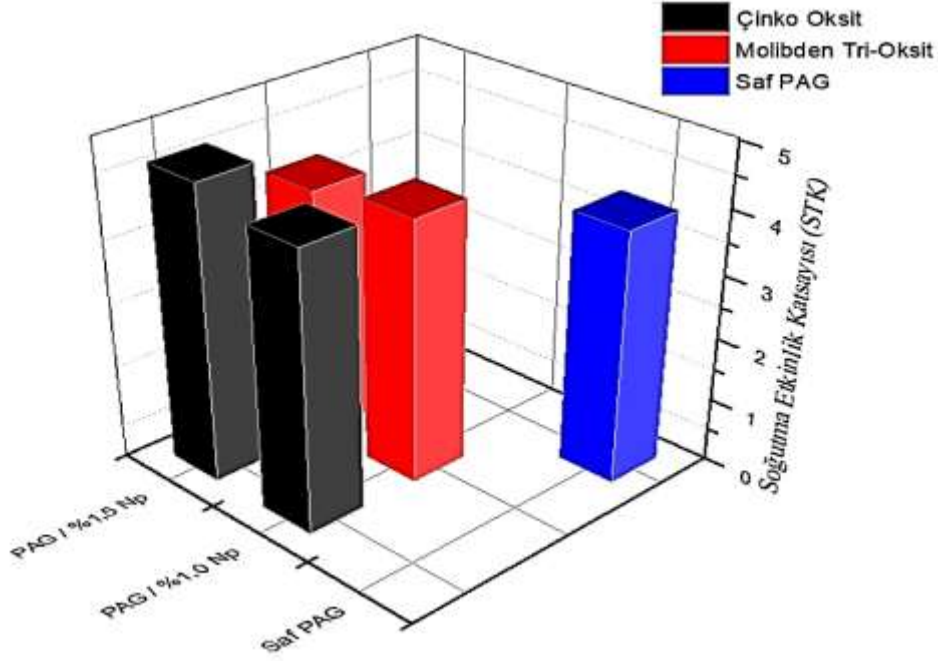
$\dot{Q}_L$ : Buharlaştırıcının ortamdaki çekmiş olduğu ısı miktarı (kJ/h)

$\dot{W}_K$  : Kompresör işi (kJ/h)

Sistem için etkinlik katsayıları, sistem çıktılarının termodinamik analizi sonucunda hesaplanmıştır ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Farklı derişimlerde hazırlanan nanoyağlayıcıların kullanılması sonucunda, en yüksek STK değeri, baz sıvısı PAG, ağırlıkça %1,5 kütle oranında ZnO nanoparçacığı ve %0,5 kütle oranında TX-100 yüzey aktif maddesi ile 4,65 olarak elde edilmiştir. En



düşük STK değeri ise baz sıvısı PAG, ağırlıkça %1,5 kütle oranında MoO<sub>3</sub> nanoparçacığı ve %1,0 kütle oranında TX-100 yüzey aktif maddesi kullanılarak hazırlanan nanoyağlayıcı ile 3,93 olarak hesaplanmıştır. Bu duruma sebep olarak, ağırlıkça %1,5 oranında MoO<sub>3</sub> nanoparçacığı ile hazırlanan nanoyağlayıcı içerisinde yoğun miktarda çökelmelerin oluşması gösterilebilir. Saf PAG kompresörde iş akışkanı olarak kullanıldığında ise STK değeri 3.98 olarak belirlenmiştir.



Şekil 9. Nanoyağlayıcı kullanımı sonucunda STK değerindeki değişimler

Elde edilen deneysel sonuçların literatür çalışmaları ile uygun olduğu görülmüştür [13, 20-22]. Nanoparçacık olarak ZnO metal oksitin, nanoakışkan ve nanoyağlayıcı uygulamalarında kullanıldığı bilinmektedir. Örneğin, yapılan deneysel bir çalışmada, yazarlar nanoakışkan hazırlarken baz akışkanı olarak; etilen glikol, propilen glikol ve su karışımından oluşan iş akışkanı kullandıklarını bildirmiştir. Baz sıvısının sahip olduğu termal özellikleri arttırmak amacıyla süspansiyon içerisine ZnO nanoparçacıklarının eklendiği bildirilmiştir. Hazırlanan nanoakışkan içerisinde, baz sıvısı ve nanoparçacık için ağırlıkça 60:40 şeklinde oranlama yapıldığı raporlanmıştır. Deneylede; %99 saflıkta ve 30 nm boyutunda nanoparçacık-ZnO kullanıldığı belirtilmiştir. Hazırlanan süspansiyonun temel olarak viskozite ve termal iletkenlik gibi özelliklerinin incelendiğini ve çözelti içerisine katılan nanoparçacıklar ile ısıl iletkenliği arttırmayı amaçladıklarını bildirmişlerdir. Bununla birlikte, deneysel sonuçların, farklı modeller kullanılarak analiz edildiği söylenmiştir. Deneyleye bağlı analizlerde, partikül hacmi ve sıcaklığın etkisi etilen glikol ve propilen glikol baz sıvıları için viskozite ve termal iletkenlik açısından incelenmiştir. Etilen glikol içerisinde ZnO partiküllerinin kullanılmasıyla ısıl iletkenliğin %15, propilen glikol içerisinde ZnO partiküllerinin kullanılmasıyla da ısıl iletkenliğin %9 kadar arttığı görülmüştür [20]. Nanoakışkan içerisinde daha homojen bir çözelti oluşturmak amacıyla partikül boyutu 30 nm'nin altında kullanılabilir. Daha önce yapılan çalışmalarda düşük boyuttaki nanoparçacık kullanımının deneyleri olumlu etkilediği görülmektedir [13]. Bu çalışmada ortalama 13 nm boyutundaki ZnO partiküllerinin kullanılması, homojen bir süspansiyon oluşması açısından önemli olmuştur ve sonuçları etkilemiştir. Nanoyağlayıcı uygulamaları ile ilgili son yıllarda yapılan çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada, MoO<sub>3</sub> nanoparçacıkları kullanılmıştır. MoO<sub>3</sub> partiküllerinin süspansiyon içerisinde yağlayıcı özelliklerinin yüksek olduğu bilinmektedir [21]. Nanoyağlayıcı hazırlarken farklı özellikteki nanoparçacıkların kullanılmasının yanında baz sıvısı olarak PAG kullanılması çalışmada fark yaratmaktadır. Akkaya vd. çalışmalarında, baz sıvısı POE içerisinde farklı ağırlık yüzdelerinde alümina partiküllerinin eklenmesiyle elde edilen nanoyağlayıcıların kompresörde iş akışkanı olarak kullanılması sonucunda soğutma etkinlik katsayısını 4,53 olarak hesaplamıştır [22]. Bu çalışmada ise benzer koşullarda sisteme eklemeler yapılarak ve kullanılan nanoyağlayıcı değiştirilerek soğutma etkinlik katsayısı en yüksek 4,65 olarak hesaplanmıştır ve STK değerinde artış

gözlemlenmiştir. Kompresör kapasitesine bağlı olarak, baz sıvısı PAG ve ZnO ile MoO<sub>3</sub> nanoparçacıklarının güvenli bir şekilde soğutma sisteminde kullanılabilirdiği görülmektedir. Sistem içerisinde kullanılan nanoparçacık, yağ ve yüzey aktif maddelerin birbiriyle tepkimeye girmeden ve akışkanın bozulmadan sistemde çalıştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, kompresör yağı ile soğutucu akışkanın az da olsa karıştığı görülmektedir. Soğutucu akışkan ile hazırlanan nanoyağlayıcısında uyumlu bir şekilde çalıştığı ve sistemde herhangi bir zarar oluşturmadığı gözlemlenmiştir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu deneysel çalışmada, buhar sıkıştırılmalı bir soğutma çevrimindeki kompresörde, içerisinde ZnO ve MoO<sub>3</sub> nanoparçacıkları içeren PAG süspansiyonunun, kullanımıyla sistemin ısı performansındaki etkiler araştırılmıştır. Nanoyağlayıcı hazırlarken ortalama 13 nm ZnO ve 28 nm MoO<sub>3</sub> boyutlarına sahip nanoparçacıklar ile %0,5 ve %1,0 kütle oranlarında TX-100 yüzey aktif maddesi kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Kompresörde iş akışkanı olarak farklı derişim ve özelliklerdeki nanoyağlayıcıların kullanılması sonucunda sistemin performans etkinlik katsayıları ve kompresörün harcamış olduğu enerji miktarları değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda aşağıdaki çıkarımlara ulaşarak önerilerde bulunulmuştur.

- Çevrimde, kompresör yağı olarak saf POE yerine nanoyağlayıcı kullanılması, enerji verimliliği noktasında sisteme olumlu etki göstermiştir.
- MoO<sub>3</sub> nanoparçacıklarının yağlama özelliğinin yüksek olduğu ve nanoyağlayıcı uygulamalarında rahatlıkla kullanılabileceği görülmüştür.
- Nanoparçacık olarak kullanılan ZnO nanoparçacıklarının MoO<sub>3</sub> nanoparçacıklarına göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. ZnO partiküllerinin daha küçük boyutta olması ve molekül kütlelerinin de daha az olması bu durumun nedeni olarak düşünülmektedir.
- ZnO nanoparçacıkları ile hazırlanan süspansiyonun daha homojen olduğu ve süspansiyonda topaklanmaların az olduğu görülmektedir.
- PAG ile nanoparçacıkların ve yüzey aktif maddenin tepkimeye girmeden uyumlu bir süspansiyon oluşturduğu gözlemlenmiştir.
- Soğutma sisteminin STK değeri; baz sıvısı PAG içerisine ağırlıkça %1,0 ve %1,5 oranında ZnO nanoparçacıklarının eklenmesiyle elde edilen nanoyağlayıcıların kompresör yağı olarak kullanılması sonucunda sırasıyla 4,37 ve 4,65 olarak hesaplanmıştır. Aynı oran ve özellikteki nanoyağlayıcının kullanımı sonucunda kompresör işi, entalpi değerlerine bağlı olarak sırasıyla 28,72 kJ/h ve 27,10 kJ/h olarak hesaplanmıştır.
- ZnO nanoparçacığının yerine MoO<sub>3</sub> nanoparçacığı aynı oranlarda kullanıldığında, STK değeri sırasıyla 4,14 ve 3,93 olarak hesaplanmıştır. Kompresör işi ise sırasıyla 30,48 kJ/h ve 31,98 kJ/h olarak hesaplanmıştır.
- Hazırlanan farklı derişim ve özelliklerdeki nanoyağlayıcıların buhar sıkıştırılmalı soğutma sisteminde güvenli ve kararlı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir.
- MoO<sub>3</sub> nanoparçacıklarının sadece nanoakışkan uygulamalarında değil, nanoyağlayıcı ve nanosoğutucu uygulamalarında da kullanılabileceği öngörülmektedir.
- Soğutma sistemlerinde sistemin daha verimli çalışması noktasında farklı özellikte nanoparçacıklar ile hazırlanan nanoyağlayıcılarda kompresör yağı olarak kullanılabileceği önerilmektedir.
- Nanoparçacıkların soğutucu gaz ile karıştırılmasıyla hazırlanacak nanosoğutucuların, sistemde kullanılmasıyla da enerji verimliliğinin sağlanabileceği düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Nanoparçacıkların analizlerinin yapıldığı Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne teşekkür ederim.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı yazara aittir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Bozkurt A.U. 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Enerji Verimliliği Açısından Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [2] Yamankaradeniz R., Horoz İ., Coşkun S., Kaynaklı Ö., Yamankaradeniz N. 2012. İklimlendirme Esasları ve Uygulamaları. Dora Basım ve Yayın Ltd. Şti, Bursa, 1-602.
- [3] Kumar R., Singh, D.K., Chander S. 2020. An Experimental Approach to Study Thermal and Tribology Behavior of LPG Refrigerant and MO Lubricant Appended with ZnO Nanoparticles in Domestic Refrigeration Cycle. Heat and Mass Transfer, 56 (7): 2303-2311.
- [4] Pil Jang S., Choi S. U. 2007. Effects of Various Parameters on Nanofluid Thermal Conductivity. Journal of Heat Transfer, 129 (5): 617-623.
- [5] Çiftçi E. 2020. AlN/Saf Su Nanoakışkanının Isı Borusu Performans Parametreleri Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 8 (4): 858-871.
- [6] Sözen A., Variyenli H.I., Özdemir M.B., Gürü M. 2017. Upgrading the Thermal Performance of Parallel and Cross-flow Concentric Tube Heat Exchangers Using MgO Nanofluid. Heat Transfer Research, 48: 419-434.
- [7] Yu W., Xie H., Chen L., Li Y. 2009. Investigation of Thermal Conductivity and Viscosity of Ethylene Glycol Based ZnO Nanofluid. Thermochimica Acta, 491 (1-2): 92-96.
- [8] Lee G.J., Kim C.K., Lee M.K., Rhee C.K., Kim S., Kim C. 2012. Thermal Conductivity Enhancement of ZnO Nanofluid Using a One-step Physical Method. Thermochimica Acta, 542: 24-27.
- [9] Goodarzi M., Toghraie D., Reiszadeh M., Afrand M. 2019. Experimental Evaluation of Dynamic Viscosity of ZnO–MWCNTs/Engine Oil Hybrid Nanolubricant Based on Changes in Temperature and Concentration. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 136 (2): 513-525.
- [10] Senthilkumar A., Sahaluddeen P.M., Noushad M.N., Musthafa E.M. 2020. Experimental Investigation of ZnO/SiO<sub>2</sub> Hybrid Nano-lubricant in R600a Vapour Compression Refrigeration System. Materials Today: (Proceedings), Doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.180>.
- [11] Subhedar D.G., Patel J.Z., Ramani B.M. 2020. Experimental Studies on Vapour Compression Refrigeration System Using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Mineral oil Nano-lubricant. Australian Journal of Mechanical Engineering, 1-6.
- [12] Deokar P.S., Cremaschi L. 2020. Effect of Nanoparticle Additives on the Refrigerant and Lubricant Mixtures Heat Transfer Coefficient During in-tube Single-Phase Heating and Two-Phase Flow Boiling. International Journal of Refrigeration, 110: 142-152.
- [13] Akkaya M., Menlik T., Sözen A., Gürü M. 2020. Experimental Investigation of Nanolubricant Usage in A Cooling System at Different Nanoparticle Concentrations. Heat Transfer Research, 51 (10): 949-965.
- [14] Sun J., Meng Y., Zhang B. 2021. Tribological Behaviors and Lubrication Mechanism of Water-based MoO<sub>3</sub> Nanofluid during Cold Rolling Process. Journal of Manufacturing Processes, 61: 518-526.
- [15] Muhammad W., Ullah N., Haroon M., Abbasi B.H. 2019. Optical, Morphological and Biological Analysis of Zinc Oxide Nanoparticles (ZnO NPs) Using Papaver Somniferum L. RSC Advances, 9 (51): 29541-29548.
- [16] Bin L., Daheng Y., Jiuju C., Xiaolei Y., Qinggang M. 2011. Sonochemical Preparation and Characterization of MoO<sub>3</sub> and MoS<sub>2</sub> Nanoparticles. In: MSIE, IEEE: 1083-1086.

- [17] Embraco F.F. 2021. 8.5 HBK. <https://www.cantas.com/urun/embraco-ff-85-hbk/> (Erişim Tarihi: 06.01.2021).
- [18] Holman J.P. 2001. *Experimental methods for engineers* (7th edition). New York: McGraw-Hill.
- [19] Cengel Y.A., Boles M.A. 2007. *Thermodynamics: An Engineering Approach* 6th Edition (SI Units). The McGraw-Hill Companies, Inc., New York.
- [20] Akbarzadeh S., Farhadi M., Sedighi K., Ebrahimi M. 2014. Experimental Investigation on the Thermal Conductivity and Viscosity of ZnO Nanofluid and Development of New Correlations. *Transp Phenom Nano Micro Scales*, 2 (2): 149-160.
- [21] Ezırmık K.V., Ürgen M. 2010. MoN-Ag Nanokompozit Kaplamaların Tribolojik Özellikleri. *ITU Journal Series D: Engineering*, 9 (2).
- [22] Akkaya M., Menlik T., Sözen A. 2021. Performance Enhancement of a Vapor Compression Cooling System: An Application of POE/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Politeknik Dergisi*, (Erken Görünüm). Doi: <https://doi.org/10.2339/politeknik.679563>.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## DC Motorun Hız Kontrolü İçin Meta-Sezgisel Algoritma Tabanlı PID Denetleyici Tasarımı

Ali Kıvanç ŞAHİN<sup>1</sup>, Ömür AKYAZI<sup>2\*</sup>, Erdiñ ŞAHİN<sup>2</sup>, Oğuzhan ÇAKIR<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Erzurum

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Trabzon

<sup>3</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon

(ORCID: 0000-0003-4539-6419)(ORCID: 0000-0001-6266-2323)

(ORCID: 0000-0002-9740-599X)(ORCID: 0000-0002-6576-8710)

---

### Öz

Bu makalede DC motor hız kontrolü için balina optimizasyonu (WOA) ve güve-alevi optimizasyonu (MFO) algoritmaları kullanılarak en uygun PID denetleyici parametreleri ( $k_p$ ,  $k_i$  ve  $k_d$ ) belirlenmiştir. PID denetleyici parametre değerleri belirlenirken her iki algoritma için de hata tabanlı bir amaç fonksiyonu olan hatanın mutlak değerinin zaman ağırlıklı integrali (ITAE) seçilmiştir. İki farklı yaklaşımla tasarlanan PID denetleyicilerin yakınsama profili analizi, geçici tepki analizi, frekans uzayı analizi (bode analizi), hata tabanlı performans ölçütlerinin analizi ve bozucu yük cevabı analizi MATLAB programı aracılığıyla gerçekleştirilmiş ve performansları karşılaştırılmıştır. Bulunan sonuçlara göre WOA tabanlı PID denetleyicinin MFO tabanlı PID denetleyiciye göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca balina optimizasyonu algoritmasıyla ayarlanan PID denetleyicinin atom arama optimizasyonu (ASO), gri kurt optimizasyonu (GWO), yabani ot optimizasyonu (IWO) ve stokastik fraktal arama (SFS) algoritmaları kullanılarak ayarlanmış PID denetleyicilerine göre geçici tepki karakteristiğini iyileştirdiği, dayanıklılığını arttırdığı ve sistemde yük momentinden kaynaklanan bir değişiklik meydana geldiğinde bu bozulmayı daha kısa sürede toparlamayı başardığı görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Balina optimizasyonu algoritması, DC motor hız kontrolü, Güve-alevi optimizasyonu algoritması, PID denetleyici

---

## Meta-Heuristic Algorithm Based PID Controller Design for Speed Control of DC Motor

### Abstract

In this article, the optimal parameters of PID controller ( $k_p$ ,  $k_i$  and  $k_d$ ) are determined by using whale optimization (WOA) and moth-flame optimization (MFO) algorithms for speed control of DC motor. While determining the PID controller parameter values, the time-weighted integral of the absolute value of the error (ITAE), which is an error-based objective function, are chosen for both algorithms. Convergence profile analysis, transient response analysis, frequency-domain analysis, error-based performance metrics analysis and load disturbance response analysis of PID controllers designed with two different approaches are carried out by MATLAB program and performance are compared. According to the obtained results, it has been observed that the WOA based PID controller gives better results than the MFO based PID controller does. In addition, the PID controller tuned with the whale optimization algorithm improves the transient response characteristic compared to PID controllers tuned using atom search optimization (ASO), grey wolf optimization (GWO), invasive weed optimization (IWO) and stochastic fractal search (SFS) algorithms, improves its robustness. It has been observed that when a change occurs due to the load moment, it manages to recover this deterioration in a shorter time.

**Keywords:** Whale optimization algorithm, DC motor speed control, Moth-flame optimization algorithm, PID controller

---

\*Sorumlu yazar: [oakyazi@ktu.edu.tr](mailto:oakyazi@ktu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 15.01.2021, Kabul Tarihi: 06.03.2021

## 1. Giriş

DC motorlar yüksek kalkış momenti, yüksek hızlı tepkisi, taşınabilir olması, birçok kontrol ayarlama yöntemine uyum sağlaması ve ucuz olmaları sebebiyle hız kontrolüne yönelik endüstriyel uygulamalarda sıklıkla tercih edilmektedir. Araştırmacılar DC motor hız kontrolünde daha iyi bir sistem cevabı elde etmek için birçok kontrol yöntemi önermiştir. Oransal-integral-türevsel (PID) denetleyici [1-4], kesir dereceli oransal-integral-türevsel (FOPID) denetleyici [3-8], bulanık (Fuzzy) denetleyici [9], bulanık-oransal-integral-türevsel (Fuzzy-PID) denetleyici [10], adaptif ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi (ANFIS) [11], kayan kipli denetleyici (SMC) [12] önerilen kontrol yöntemlerinden bazılarıdır.

Günümüzde araştırmacılar tarafından yeni denetleyiciler önerilmiş olursa da PID denetleyicisi endüstriyel uygulamalarda hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılmasının ana sebebi basit ve kolay uygulanabilir bir yapıya sahip olmasıyla birlikte geniş bir çalışma aralığında sağlam bir performans sunmasıdır. PID denetleyicisi oransal kazanç ( $k_p$ ), integral kazanç ( $k_i$ ) ve türevsel kazanç ( $k_d$ ) olarak adlandırılan üç kontrol parametresi değişkenine sahiptir. PID kazanç değerlerini el ile ayarlamak oldukça zaman alan bir işlem olduğundan bu kazanç değerlerini ayarlamak için Ziegler-Nichols, Cohen-Coon ve kazanç-faz marjı gibi klasik ayarlama yöntemleri literatürde sıklıkla tercih edilmektedir. Ancak bu yöntemler en uygun sonucu elde etmede başarılı olamadıklarından [13,14] araştırmacılar son zamanlarda evrimsel algoritmalar kullanarak PID denetleyicisinin parametre değerlerini ayarlamıştır. Atom arama optimizasyonu (ASO) [3], kaotik atom arama optimizasyonu (ChASO) [3], böbrek ilhamlı (KA) [15], diferansiyel evrim (DE) [16], genetik (GA) [17], parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) [5], kısıtlı parçacık sürüsü optimizasyonu (CPSO) [7], sinüs kosinüs (SCA) [18], geliştirilmiş sinüs-kosinüs (ISCA) [19], gri kurt optimizasyonu (GWO) [4, 20], harris şahinleri optimizasyonu (HHO) [8, 21], henry gaz çözünürlüğü optimizasyonu (HGSO) [22], karşıt-tabanlı henry gaz çözünürlüğü optimizasyonu (OBL-HGSO) [22], jaya optimizasyonu (JOA) [23], salp sürüsü (SSA) [24], stokastik fraktal arama (SFS) [1, 25], yapay arı kolonisi (ABC) [26], yerçekimsel arama (GSA) [27] ve yabani ot optimizasyonu (IWO) [2] algoritmaları DC motor hız kontrolünde PID denetleyici parametrelerini en uygun değere ayarlamak için kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen literatürdeki çalışmalarda, araştırmacılar DC motor hız tepkisini, aşım yüzdesini, oturma zamanını, yükselme zamanını, tepe değeri ve kararlı durum hatası gibi geçici karakteristik değerlerini iyileştirebilmek için farklı yaklaşımlı PID denetleyiciler önermiştir. Ayrıca hiçbir algoritma DC motorun hız kontrolü için tasarlanan denetleyicinin en iyi parametre değerlerini bulacağını garanti edemeyeceğinden araştırmacılar farklı yaklaşımlı algoritmalar tercih etmiştir. Ek olarak araştırmacılar DC motorun hız tepkisini iyileştirebilmek için farklı türdeki amaç fonksiyonları kullanıp PID denetleyicinin en uygun parametre değerlerini bulmayı hedeflemiştir. DC motor hızını kontrol etmek amacıyla tasarlanan PID denetleyicisi için hatanın mutlak değerinin zaman ağırlıklı integrali (ITAE) [1, 3, 4] ve hatanın karesinin zaman ağırlıklı integrali (ITSE) [24] literatürde sıklıkla kullanılan amaç fonksiyonlarıdır.

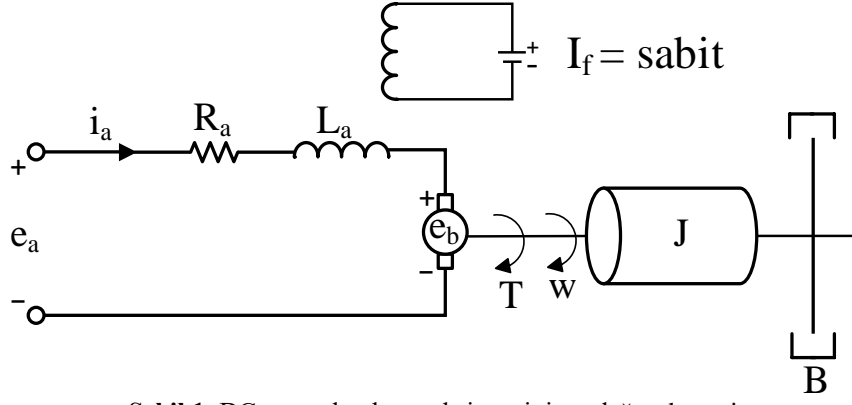
Bu çalışmada ise evrimsel algoritma olarak balina optimizasyonu ve güve-alevi optimizasyonu kullanılarak PID denetleyicisinin parametre değerleri belirlenmiş olup yakınsama profili analizi, zaman alanı analizi (birim basamak cevabı), hata tabanlı performans ölçütlerinin analizi, frekans uzayı analizi (bode analizi) ve son olarak da bozucu yük analizi yapılmıştır. Ayrıca önerilen WOA-PID ve MFO-PID denetleyicilerin literatürdeki diğer yaklaşımlı PID denetleyicilere göre daha üstün bir performans gösterdikleri gözlemlenmiştir.

Makalenin diğer bölümleri ise şu şekilde düzenlenmiştir. Bölüm 2’de DC motor sisteminin modellenmesinden, DC motorun hız kontrolü için PID denetleyicisi tasarımından ve kullanılan optimizasyon algoritmalarından bahsedilmiştir. Bölüm 3’te ise simülasyon sonuçları ve karşılaştırmalar sunulmuştur. Son bölümde ise sonuç ve öneriler verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. DC Motor Sisteminin Modellenmesi

Bu makalede, harici uyarımlı bir DC motorun armatür gerilimi üzerinden hız kontrolü yapılmış olup Şekil 1’de ise eşdeğer devresi verilmiştir [28].



Şekil 1. DC motor hız kontrol sisteminin eşdeğer devresi

Şekil 1’de verilen DC motorun eşdeğer devresinden de görüleceği üzere  $e_a$  uygulanan armatür gerilimini (V),  $i_a$  armatür akımını (A),  $R_a$  armatür direncini ( $\Omega$ ),  $L_a$  armatür endüktansını (H),  $i_f$  alan akımını (A),  $e_b$  ters elektromotor kuvvetini (V),  $T$  motor momentini (N.m),  $w$  motor mili açısal hızını (rad/sn),  $J$  motorun eylemsizlik momentini ( $\text{kg.m}^2$ ),  $K$  motor momenti sabitini (N.m/A),  $K_b$  elektromotor kuvveti sabitini (V.s/rad),  $B$  motor sürtünme sabitini (N.m.s/rad) ve  $T_L$  yük momentini (N.m) temsil etmektedir.

$\frac{d\theta}{dt} = w(t)$  olmak üzere sabit bir akıda indüklenen gerilim ile açısal hız doğru orantılıdır.

$$e_b = K_b \frac{d\theta}{dt} = K_b w(t) \quad (1)$$

DC motor hız kontrol sisteminin armatür devresi için diferansiyel denklemi eşitlik (2)’de verilmiştir.

$$e_a(t) = L_a \frac{di_a(t)}{dt} + R_a i_a(t) + e_b(t) \quad (2)$$

Yük momentini sıfır olarak alındığında atalet ve sürtünme momentlerinin toplamına karşılık gelen moment ( $T$ ) armatür akımıyla doğru orantılıdır.

$$T(t) = J \frac{dw(t)}{dt} + Bw(t) = K i_a(t) \quad (3)$$

Sırasıyla eşitlik (1), (2) ve (3)’teki tüm başlangıç şartları sıfır olarak alınıp Laplace dönüşümü uygulandığında yük momentini ( $T_L(s)$ ) sıfır için denetimsiz DC motorun transfer fonksiyonu eşitlik (7)’deki gibi elde edilir.

$$E_b(s) = K_b w(s) \quad (4)$$

$$E_a(s) = (L_a s + R_a) I_a(s) + E_b(s) \quad (5)$$

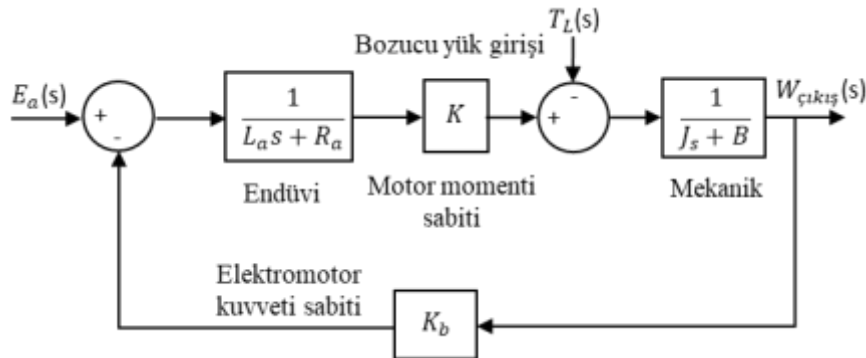
$$T(s) = (Js + B)w(s) = K I_a(s) \quad (6)$$

$$\frac{w(s)}{E_a(s)} = \frac{K}{(L_a s + R_a)(Js + B) + K_b K} \quad (7)$$

Uygulanan armatür gerilimi sıfır olarak alındığında motor hızı ile yük momenti arasındaki ilişki eşitlik (8)'deki gibidir.

$$G(s) = \frac{w(s)}{T_L(s)} = -\frac{(L_a s + R_a)}{(L_a s + R_a)(Js + B) + K_b K} \quad (8)$$

Denetimsiz DC motor hız kontrolünün açık çevrim sistemi Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'den de görüleceği üzere DC motorun bileşenleri endüvi kısmı, motor momenti sabiti, mekanik kısmı ve elektromotor kuvveti sabitinden oluşmaktadır. PID denetleyicisi ile tasarlanmış olan DC motor hız kontrolünün blok diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Denetimsiz DC motorun blok diyagramı

Tablo 1. DC motor parametre değerleri

Parametre	Değer
$R_a$ (Armatür direnci)	0.4 $\Omega$
$L_a$ (Armatür endüktansı)	2.7 H
$J$ (Motorun eylemsizlik momenti)	0.0004 kg.m <sup>2</sup>
$B$ (Motor sürtünme sabiti)	0.0022 N.m.s/rad
$K$ (Motor momenti sabiti)	0.015 N.m/A
$K_b$ (Elektromotor kuvveti sabiti)	0.05 V.s

Bu çalışmada kullanılacak olan DC motorun parametre değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir [1-4]. Tablo 1'de verilen DC motor parametre değerleri eşitlik (7) ve (8)'e yazıldığında DC motorun açık çevrim transfer fonksiyonları eşitlik (9)'daki gibi elde edilir.

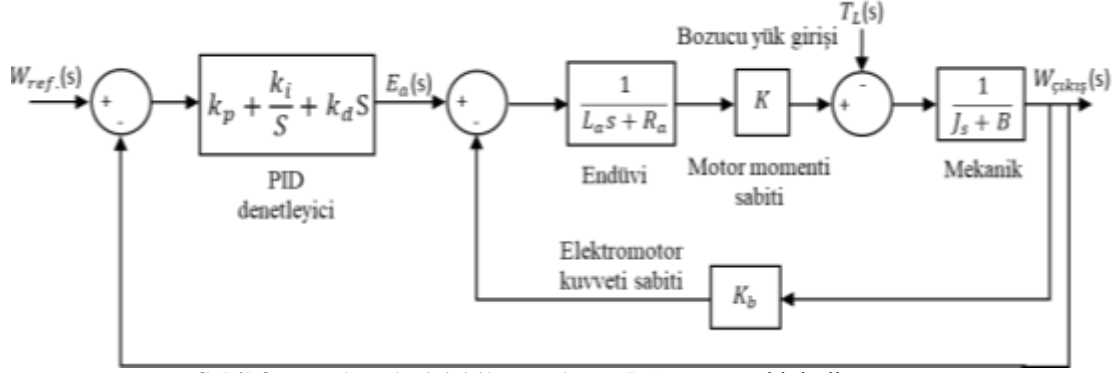
$$G_{açık-çevrim}(s) = \begin{cases} \frac{w(s)}{E_a(s)} = \frac{0.015}{0.00108s^2 + 0.0061s + 0.00163} \\ \frac{w(s)}{T_L(s)} = -\frac{2.7s + 0.4}{0.00108s^2 + 0.0061s + 0.00163} \end{cases} \quad (9)$$

## 2.2. DC Motorun Hız Kontrolü için PID Denetleyicisi Tasarımı

DC motorun hız kontrolünün performansını iyileştirmek için PID denetleyicisi kullanılmıştır. Tasarlanan PID denetleyicisinin transfer fonksiyonu eşitlik (10)'da verilmiştir.



$$G_{PID}(s) = k_p + \frac{k_i}{s} + k_d s \quad (10)$$



Şekil 3. PID denetleyicisi ile tasarlanan DC motorun blok diyagramı

Şekil 3'te verilen PID denetleyicisi ile tasarlanan DC motorun kapalı çevrim transfer fonksiyonu eşitlik (11)'deki gibidir.

$$G_{kapalı\text{-}çevrim}(s) = \begin{cases} \frac{w_{çikis}(s)}{w_{referans}(s)} = \frac{0.015(k_d s^2 + k_p s + k_i)}{0.00108s^3 + 0.0061s^2 + 0.00163s + 0.015(k_d s^2 + k_p s + k_i)}, T_L = 0 \text{ için} \\ \frac{w_{çikis}(s)}{T_L(s)} = -\frac{(2.7s + 0.4)s}{0.00108s^3 + 0.0061s^2 + 0.00163s + 0.015(k_d s^2 + k_p s + k_i)}, E_a = 0 \text{ için} \end{cases} \quad (11)$$

### 2.3. Balina Optimizasyonu Algoritması

2016 yılında Mirjalili ve Lewis tarafından önerilen bu algoritma kambur balinaların kendine özgü avlanma yönteminden esinlenerek oluşturulmuştur [29]. Kambur balinalar oluşturduğu geniş ve birbirleriyle bağlantılı kabarcık-ağlar ile avlarını bir araya toplar. Kambur balinalar kabarcık-ağları içerisinde su yüzeyine yükseldikçe yine soluk alıp-vererek avına yaklaşır. Avına yaklaştıkça kabarcık-ağ çemberini gitgide daraltıp hedefini küçültür. Bu yöntemi avını bulmak, avını hareketsiz bırakmak veya kendini avdan gizlemek için kullandığı bilinmektedir. Balina optimizasyon algoritmasında bu avlanma yöntemine göre matematiksel denklemler oluşturulmuştur. Eşitlik (12)-(15)'te ilgili denklemler verilmiştir.

$$D = |CX^*(t) - X(t)| \quad (12)$$

$$X(t+1) = X^*(t) - AD \quad (13)$$

Eşitlik (12) ve (13)'teki denklemlere bakıldığında  $A$  ve  $C$  sabit vektör,  $X^*$  her iterasyon sonunda yinelenen en iyi çözümü ve  $t$  iterasyon sayısını belirtmektedir.  $A$  ve  $C$  sabit vektörlerinin hesaplanmaları sırasıyla eşitlik (14) ve (15)'te verilmiştir.

$$A = 2ar - a \quad (14)$$

$$C = 2r \quad (15)$$

Burada  $a$  iterasyon boyunca  $2$ 'den  $0$ 'a doğrusal olarak azalan bir vektördür ve  $r$  ise  $[0,1]$  arasında rastgele bir vektördür. Balina optimizasyonu algoritmasının uygulanması aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

Adım 1: Popülasyon sayısını, alt sınırı, üst sınırı, iterasyon sayısını ve değişken sayısını tanımladıktan sonra algoritmadaki kambur balinaların pozisyonlarını rastgele olarak başlat.

Adım 2: Önceden tanımlanan amaç fonksiyonu kullanılarak her bir kambur balinası için amaç fonksiyonunu hesaplat.

Adım 3: En iyi kambur balınaya ait amaç fonksiyonunu bul.

Adım 4: Kambur balinaların pozisyonlarını güncelle.

Adım 5: İterasyon sayısını arttır ve durdurma kriteri sağlanana kadar Adım 2'ye geri dönerek adımları tekrar et.

Adım 6: En iyi amaç fonksiyonuna karşılık gelen en iyi kambur balina pozisyonunu geri getir.

#### 2.4. Güve-alevi Optimizasyonu (MFO)

2015 yılında Mirjalili tarafından önerilen güve-alevi optimizasyonu algoritması (MFO), doğadaki güvelerin enine yönlendirme olarak adlandırılan navigasyon yönteminden yararlanılarak oluşturulan bir algoritmadır [30]. Güve-alevi optimizasyonu algoritmasında bu navigasyon yöntemine göre oluşturulan matematiksel denklemler eşitlik (16)-(20)'de verilmiştir. Güvelerin sayısı,  $d$  boyutlu bir uzayda uçan arama ajanları olarak kabul edilir. Bu güveler rastgele bir pozisyonda başlatılır. Güvelerin her boyuttaki konumu  $M$  matrisinde saklanır. Eşitlik (16)'dan da görüleceği üzere  $n$  güvelerin sayısını  $d$  ise boyut sayısını yani değişkenlerin sayısını belirtmektedir.

$$M = \begin{pmatrix} m_{1,1} & \cdots & m_{1,d} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{n,1} & \cdots & m_{n,d} \end{pmatrix} \quad (16)$$

Her bir güvenin amaç fonksiyonu eşitlik (17)'de belirtilen OM dizisinde saklanmaktadır. Burada  $n$  güvelerin sayısıdır.

$$OM = \begin{bmatrix} OM_1 \\ OM_2 \\ \vdots \\ OM_n \end{bmatrix} \quad (17)$$

Eşitlik (18)'de belirtilen  $F$  matrisi, alevleri temsil eder ve şimdiye kadar her bir güvenin elde ettiği en iyi konumu saklar. Ayrıca güve daha iyi bir çözüm bulduğunda alevler güncellenir. Her güve, alevlerden yalnızca birini kullanarak konumunu güncellemek durumundadır. Eşitlik (16) ve (18)'e bakıldığında  $F$  matrisi ile  $M$  matrisinin boyut olarak eşit olduğu görülmektedir. Ayrıca eşitlik (18)'deki  $n$  güvelerin sayısı  $d$  ise değişkenlerin sayısıdır.

$$F = \begin{pmatrix} F_{1,1} & \cdots & F_{1,d} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{n,1} & \cdots & F_{n,d} \end{pmatrix} \quad (18)$$

OF dizisi alev matrisinde saklanan çözümlerin amaç fonksiyonu değerlerini alır. Burada  $n$  güvelerin sayısıdır.

$$OF = \begin{bmatrix} OF_1 \\ OF_2 \\ \vdots \\ OF_n \end{bmatrix} \quad (19)$$

Eşitlik (20)'de verilen denklemde güvelerin pozisyonları logaritmik sarmal işlevi temelinde arama uzayında güncellenir.

$$S(M_i, F_j) = D_i \cdot e^{bt} \cdot \cos(2\pi t) + F_j \quad (20)$$

Eşitlik (20)'de belirtilen  $D_i$ 'inci güve ile  $j$ 'inci alev arasındaki mesafe,  $t$  [-1,1] arasında seçilen rastgele bir sayıyı,  $b$  ise logaritmik sarmalın şeklini belirten bir sabit sayıyı temsil etmektedir. Güve-alevi optimizasyonunun uygulanması aşağıdaki gibi açıklanmaktadır.

Adım 1: Popülasyon sayısını, alt sınırı, üst sınırı, iterasyon sayısını ve değişken sayısını tanımladıktan sonra algoritmadaki güvelerin pozisyonlarını rastgele olarak başlat.

Adım 2: Önceden tanımlanan amaç fonksiyonu kullanılarak her bir güve için amaç fonksiyonunu hesaplat.

Adım 3: En iyi güve amaç fonksiyonunu bul.

Adım 4: Güvelerin pozisyonlarını güncelle.

Adım 5: İterasyon sayısını arttır ve durdurma kriteri sağlanana kadar Adım 2'ye geri dönerek adımları tekrar et.

Adım 6: En iyi amaç fonksiyonuna karşılık gelen en iyi güve pozisyonunu geri getir.

Bu çalışmada hem balina optimizasyonu hem de güve-alevi optimizasyonu algoritması için  $k_p$ ,  $k_i$  ve  $k_d$  alt sınır değerleri 0,001 olarak belirlenirken üst sınır değerleri ise 20 olarak belirlenmiştir. Her iki algoritma içinde popülasyon sayısı 50 alınmış olup iterasyon sayısı ise 30 alınmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada amaç fonksiyonu olarak ITAE tercih edilmiştir. Çünkü ITAE amaç fonksiyonu diğer hata tabanlı amaç fonksiyonlarına göre daha az salınım ve aşım gibi avantajları vardır. ITAE amaç fonksiyonun denklemi ise eşitlik (21)'de verilmiştir.

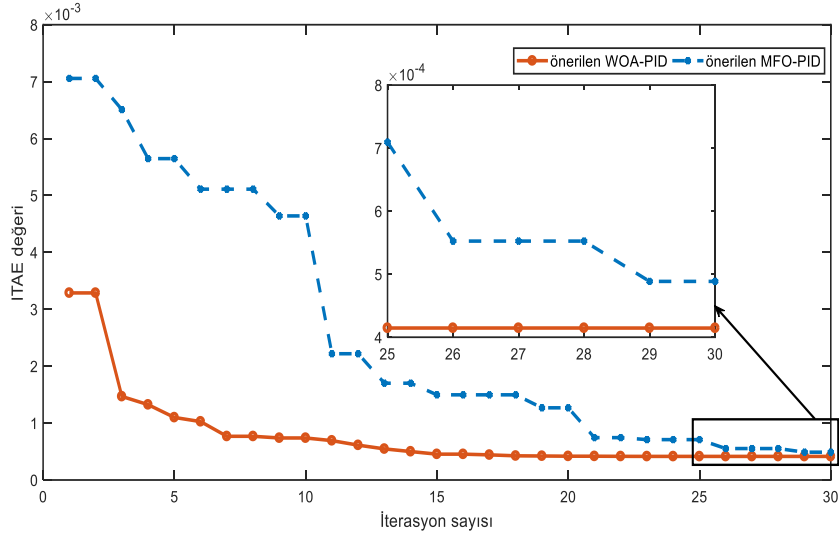
$$ITAE = \int_0^{t_{sim}} t |r(t) - y(t)| = \int_0^{t_{sim}} t |e(t)| \quad (21)$$

Eşitlik (21)'de görüleceği üzere  $t_{sim}$  simülasyon süresini,  $r(t)$  referans açısal hızını,  $y(t)$  gerçek açısal hızını,  $e(t)$  ise referans açısal hızı ile gerçek açısal hızı arasındaki farkı temsil etmektedir. Bu çalışmada tüm simülasyonlar için geçen süre 2 saniye örnekleme zamanı ise 0,1 milisaniye olarak alınmıştır. Bu çalışmada yapılan analizler şunlardır:

- Yakınsama profili
- Zaman alanı analizi (Birim basamak cevabı)
- Hata tabanlı performans ölçütlerinin karşılaştırılması
- Frekans uzayı analizi (Bode analizi)
- Sağlık analizi (DC motor parametre değişikliklerine karşı)
- Bozucu yük cevabı analizi

#### 3.1. Yakınsama Profili

DC motorun hız kontrolü için önerilen WOA tabanlı PID ve MFO tabanlı PID denetleyicilerin yakınsama eğrileri Şekil 4'te gösterilmiştir. WOA algoritmasının MFO algoritmasına göre daha düşük ITAE değerine sahip olduğu Şekil 4'te görülmektedir.



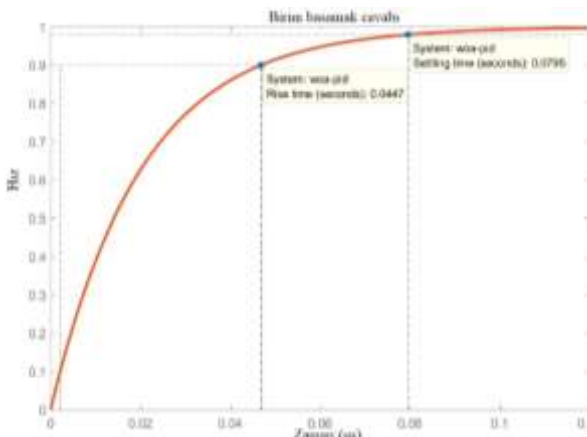
Şekil 4. WOA-PID ve MFO-PID için yakınsama eğrileri

ITAE amaç fonksiyonuna göre en uygun hale getirilen sistemin optimizasyon işlemi sonucunda elde edilen WOA-PID denetleyicisinin parametre değerleri  $k_p = 20$ ,  $k_i = 5.3442$ ,  $k_d = 3.5419$  ve MFO-PID denetleyicisinin parametre değerleri  $k_p = 19.5309$ ,  $k_i = 5.2011$ ,  $k_d = 3.4195$  olarak bulunmuştur. WOA tabanlı PID ile MFO tabanlı PID değerlerine göre elde edilen DC motorun kapalı çevrim transfer fonksiyonları eşitlik (22) ve (23)'te sırasıyla sunulmuştur.

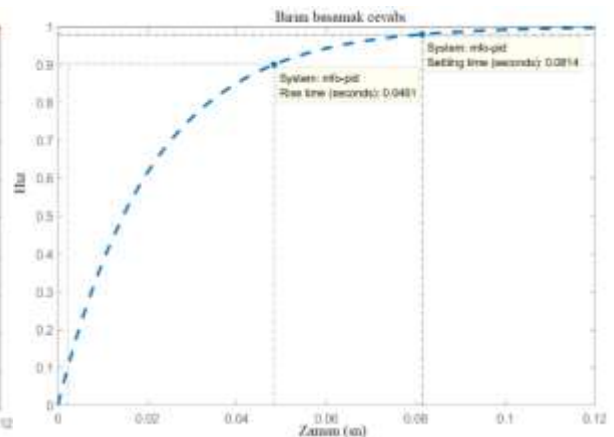
$$T_{WOA-PID} = \frac{0.05313s^2 + 0.3s + 0.08016}{0.00108s^3 + 0.05923s^2 + 0.3016s + 0.08016} \quad (22)$$

$$T_{MFO-PID} = \frac{0.05129s^2 + 0.293s + 0.07802}{0.00108s^3 + 0.05739s^2 + 0.2946s + 0.07802} \quad (23)$$

WOA-PID ve MFO-PID denetleyicileri için DC motor hızının birim basamak cevapları Şekil 5 ve Şekil 6'da sırasıyla gösterilmiştir. Şekil 5 ve Şekil 6'dan da görüleceği üzere WOA-PID denetleyicisinin yerleşme zamanı ( $t_s$ ) ve yükselme zamanı ( $t_r$ ) MFO-PID denetleyicisine göre daha üstün bir performans sergilemiştir.



Şekil 5. WOA tabanlı PID denetleyici



Şekil 6. MFO tabanlı PID denetleyici

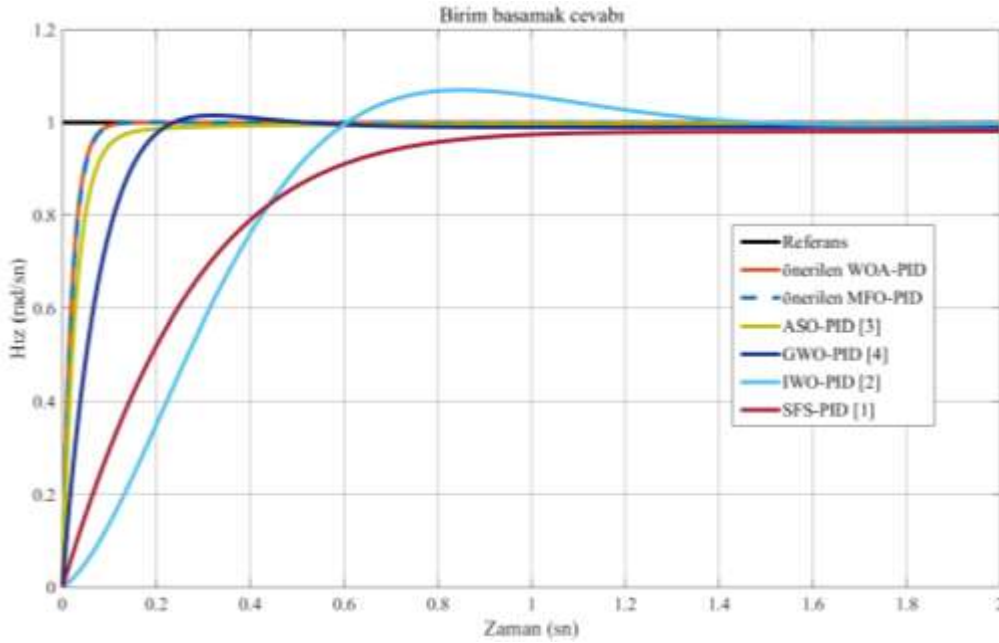
### 3.2. Zaman Alanı Analizi

Önerilen WOA tabanlı PID ve MFO tabanlı PID denetleyiciler ile birlikte literatürde aynı DC motor parametre değerlerini kullanan denetleyiciler ayrı ayrı kullanılmış olup birim basamak cevapları Şekil

7'de gösterilmiştir. Her bir denetleyici için elde edilen aşım yüzdesi ( $M_p$ ), yerleşme zamanı ( $t_s$ ) ve yükselme zamanı ( $t_r$ ) değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 2.** DC motor hız kontrolü için farklı evrimsel algoritmalar kullanılarak elde edilen PID parametre değerleri

Denetleyici	$k_p$	$k_i$	$k_d$
WOA-PID (önerilen)	20	5.3442	3.5419
MFO-PID (önerilen)	19.5309	5.2011	3.4195
ASO-PID [3]	11.9437	2.0521	2.4358
GWO-PID [4]	6.8984	0.5626	0.9293
IWO-PID [2]	1.5782	0.4372	0.0481
SFS-PID [1]	1.6315	0.2798	0.2395



**Şekil 7.** Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin birim basamak hız cevaplarının karşılaştırılması

**Tablo 3.** Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin geçici karakteristik değerlerinin karşılaştırılması

Denetleyici	$M_p$ (%)	$t_s$ (sn) ( $\pm 2\%$ )	$t_r$ (sn) (0.10→0.90)
WOA-PID (önerilen)	0	0.0795	0.0447
MFO-PID (önerilen)	0	0.0814	0.0461
ASO-PID [3]	0	0.1535	0.0692
GWO-PID [4]	1.5062	0.2052	0.1388
IWO-PID [2]	6.9759	1.2533	0.4189
SFS-PID [1]	0	1.4475	0.5436

### 3.3. Hata Tabanlı Performans Ölçütlerinin Karşılaştırılması

Hatanın mutlak değerinin zaman ağırlıklı integrali (ITAE), hatanın karesinin zaman ağırlıklı integrali (ITSE), hatanın karesinin integrali (ISE) ve hatanın mutlak değerinin integrali (IAE) literatürde yaygın olarak kullanılan hata tabanlı performans ölçütleri olması sebebiyle karşılaştırma için seçilmiştir. ITAE, ITSE, ISE ve IAE denklemleri eşitlik (21), (24)-(26)'da sırasıyla ifade edilmiştir. WOA tabanlı PID denetleyicinin ITAE, ITSE, ISE ve IAE değerleri diğer yaklaşımli PID denetleyicilerine göre en düşük değerlere sahip olduğu Tablo 4'te görülmektedir.

$$ITSE = \int_0^{t_{sim}} t (r(t) - y(t))^2 = \int_0^{t_{sim}} t (e(t))^2 \quad (24)$$

$$ISE = \int_0^{t_{sim}} (r(t) - y(t))^2 = \int_0^{t_{sim}} (e(t))^2 \quad (25)$$

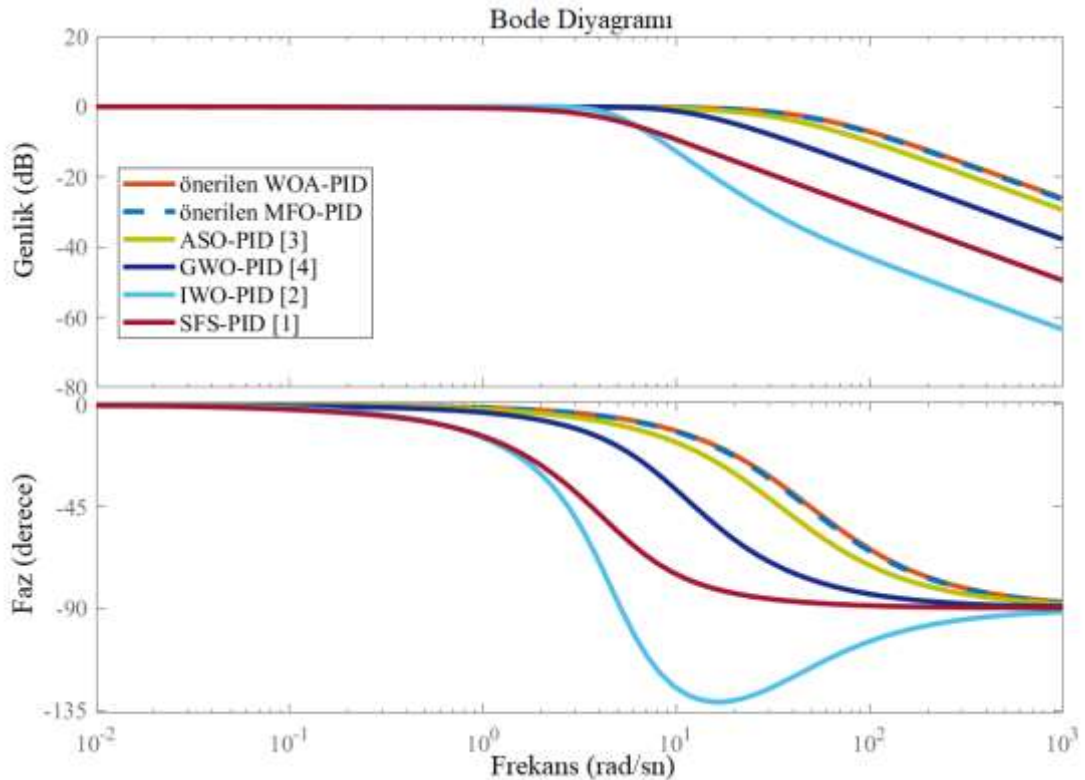
$$IAE = \int_0^{t_{sim}} |r(t) - y(t)| = \int_0^{t_{sim}} |e(t)| \quad (26)$$

**Tablo 4.** Farklı yaklaşımlı PID denetleyicilerin hata tabanlı performans ölçütlerinin karşılaştırılması

Denetleyici	ITAE değeri	ITSE değeri	ISE değeri	IAE değeri
WOA-PID (önerilen)	4.1448E-04	1.0332E-04	0.0102	0.0203
MFO-PID (önerilen)	4.8855E-04	1.1035E-04	0.0105	0.0211
ASO-PID [3]	0.0075	2.6210E-04	0.0151	0.0391
GWO-PID [4]	0.0223	0.0014	0.0360	0.0816
IWO-PID [2]	0.0853	0.0267	0.1927	0.3138
SFS-PID [1]	0.0900	0.0179	0.1358	0.2770

### 3.4. Bode Analizi

Farklı yaklaşımlar kullanılarak tasarlanan PID denetleyicilerin DC motor hızının kontrolündeki kararlı performanslarını gösterebilmek için frekans uzayı analizinden yararlanılmıştır. Frekans uzayı analizi için Bode diyagramı kullanılmıştır. Şekil 8’de PID denetleyicilerin Bode diyagramları verilmektedir. Tablo 5’te ise Bode diyagramları kullanılarak elde edilen kazanç marjini, faz marjini (derece) ve bant değerleri (rad/sn) gösterilmektedir. WOA tabanlı PID denetleyicinin diğer yaklaşımlara göre tasarlanan PID denetleyicilerden kazanç marjini, faz marjini ve bant genişliği olarak en iyi değerlere sahip olduğu Tablo 5’te görülmektedir.



**Şekil 8.** Farklı yaklaşımlı PID denetleyicilerin Bode çizimleri

**Tablo 5.** Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin Bode analizi

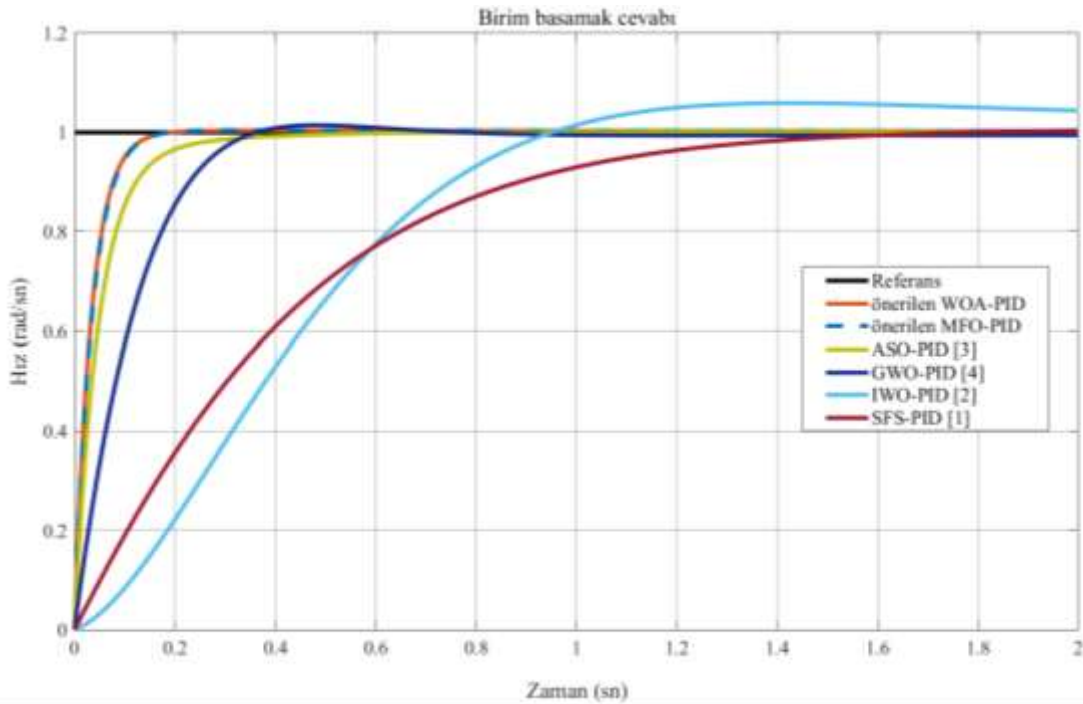
Denetleyici	Kazanç marjini (dB)	Faz marjini (açı)	Bant genişliği (rad/sn)
WOA-PID (önerilen)	Sonsuz	179.9913	49.0748
MFO-PID (önerilen)	Sonsuz	180	47.4504
ASO-PID [3]	Sonsuz	180	32.9113
GWO-PID [4]	Sonsuz	180	14.9018
IWO-PID [2]	Sonsuz	135.9149	5.0987
SFS-PID [1]	Sonsuz	180	4.1183

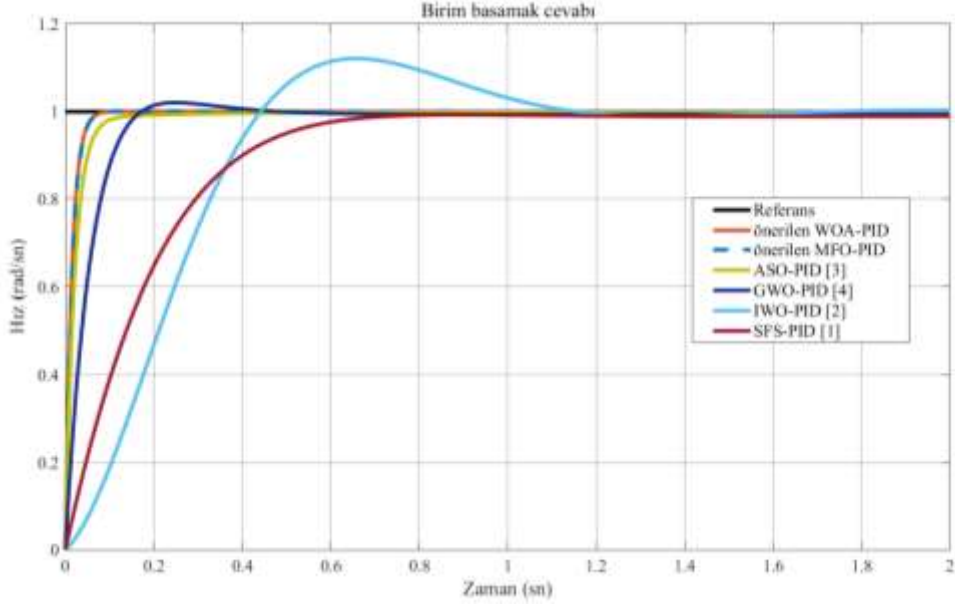
### 3.5. Dayanıklılık Analizi

Önerilen WOA tabanlı PID ve MFO tabanlı PID denetleyicilerle birlikte farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin DC motordaki parametre değişikliğine karşı dayanıklılık analizi yapılmıştır. Dayanıklılık analizi için DC motordaki armatür direnci ( $R_a$ ) ve motor momenti sabiti (K)  $\pm$  %50 ve  $\pm$ %40 olarak sırasıyla ayrı ayrı değiştirilmiş olup Tablo 6'da verilen dört olası çalışma noktası oluşturulmuştur. Oluşturulan tüm çalışma noktalarına göre DC motor hızının birim basamak cevaplarının karşılaştırmalı simülasyon sonuçları Şekil 9-12'de sırasıyla gösterilmiştir. Bununla birlikte geçici karakteristik değerleri Tablo 7-10'da sırasıyla verilmektedir. Tablo 7-10'dan görüleceği üzere WOA tabanlı PID denetleyicinin DC motordaki armatür direnci ve motor momenti sabitinin değişikliklerine rağmen diğer yaklaşımli PID denetleyicilere göre en düşük yükselme zamanı, yerleşme zamanı ve durum 1 hariç tüm durumlarda en düşük maksimum aşımaya sahip olduğu gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen WOA tabanlı PID denetleyicinin sağlamlığını ortaya koymaktadır.

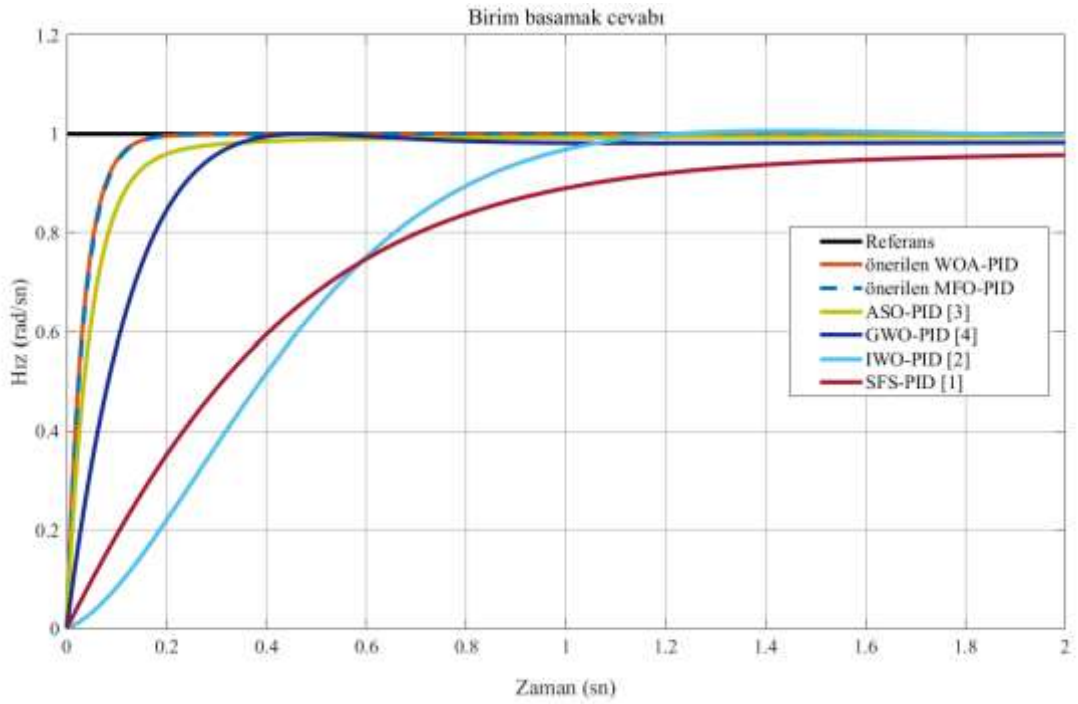
**Tablo 6.** DC motorun çalışma noktaları

Durum numaraları	$R_a$	K
(I)	0.20	0.009
(II)	0.20	0.021
(III)	0.60	0.009
(IV)	0.60	0.021

**Şekil 9.** Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin durum 1'e göre birim basamak cevapları

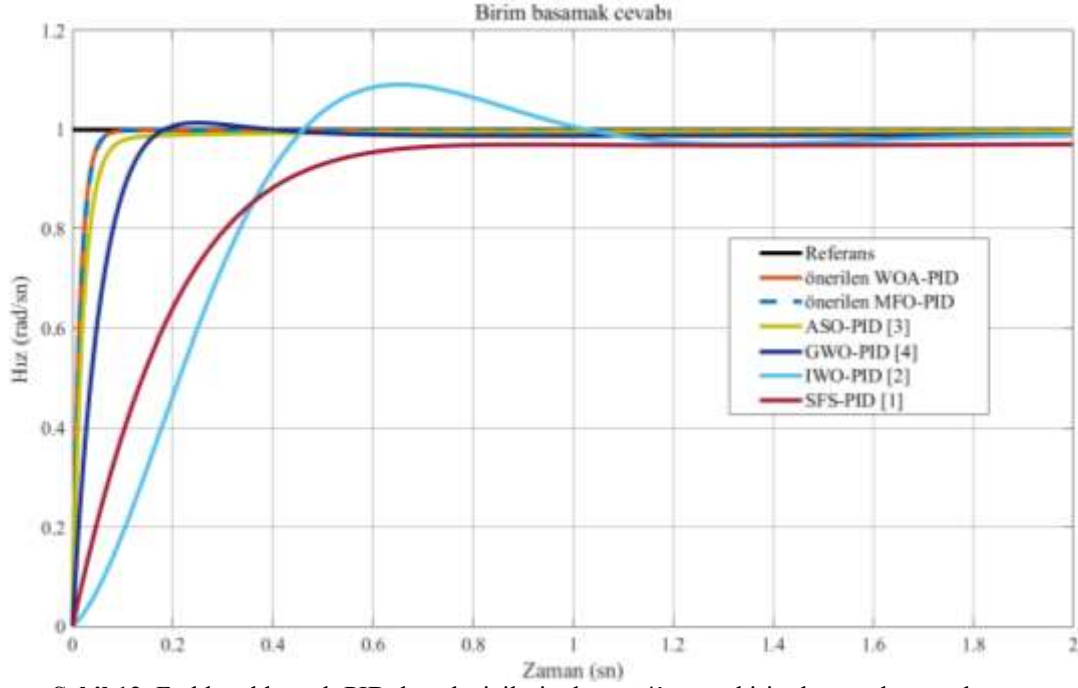


Şekil 10. Farklı yaklaşımlı PID denetleyicilerin durum 2'ye göre birim basamak cevapları



Şekil 11. Farklı yaklaşımlı PID denetleyicilerin durum 3'e göre birim basamak cevapları





Şekil 12. Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin durum 4'e göre birim basamak cevapları

Tablo 7. Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin durum 1'e göre geçici karakteristik değerleri

Denetleyici	$M_p$ (%)	$t_s$ (sn) ( $\pm 2\%$ )	$t_r$ (sn) (0.10→0.90)
WOA-PID (önerilen)	0.2346	0.1283	0.0738
MFO-PID (önerilen)	0.3383	0.1307	0.0760
ASO-PID [3]	0.0133	0.2548	0.1176
GWO-PID [4]	1.4423	0.3154	0.2157
IWO-PID [2]	5.9002	4.1872	0.6356
SFS-PID [1]	0.6306	1.3557	0.8340

Tablo 8. Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin durum 2'ye göre geçici karakteristik değerleri

Denetleyici	$M_p$ (%)	$t_s$ (sn) ( $\pm 2\%$ )	$t_r$ (sn) (0.10→0.90)
WOA-PID (önerilen)	0	0.0562	0.0318
MFO-PID (önerilen)	0.0443	0.0577	0.0329
ASO-PID [3]	0	0.0982	0.0483
GWO-PID [4]	2.0515	0.2672	0.1018
IWO-PID [2]	12.1203	1.0453	0.3148
SFS-PID [1]	0	0.6247	0.3781

Tablo 9. Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin durum 3'e göre geçici karakteristik değerleri

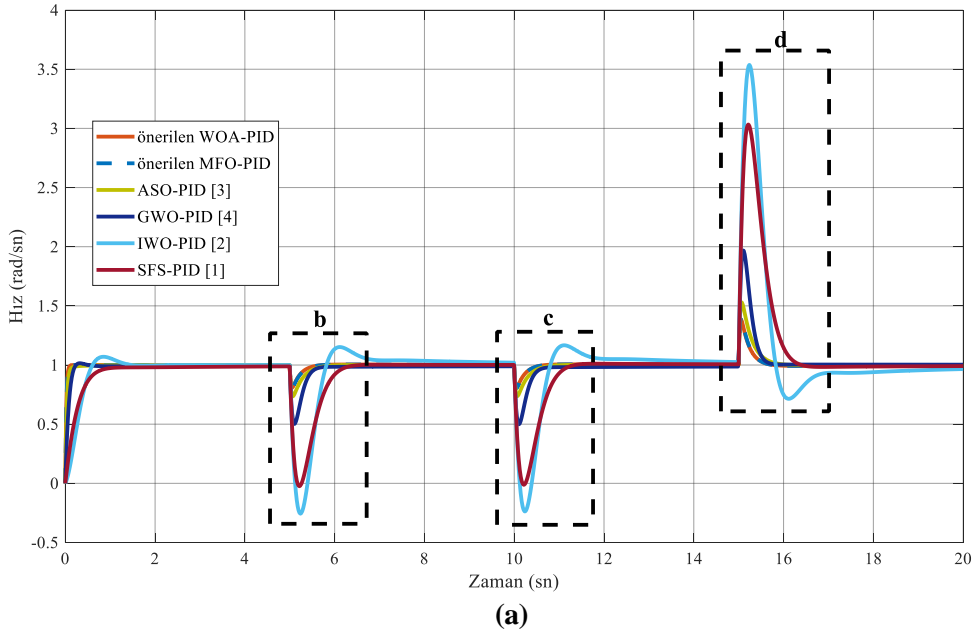
Denetleyici	$M_p$ (%)	$t_s$ (sn) ( $\pm 2\%$ )	$t_r$ (sn) (0.10→0.90)
WOA-PID (önerilen)	0	0.1356	0.0750
MFO-PID (önerilen)	0	0.1381	0.0772
ASO-PID [3]	0	0.3177	0.1209
GWO-PID [4]	0	0.3436	0.2236
IWO-PID [2]	0.6250	1.0551	0.6968
SFS-PID [1]	0	6.1575	1.0030

**Tablo 10.** Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin durum 4'e göre geçici karakteristik değerleri

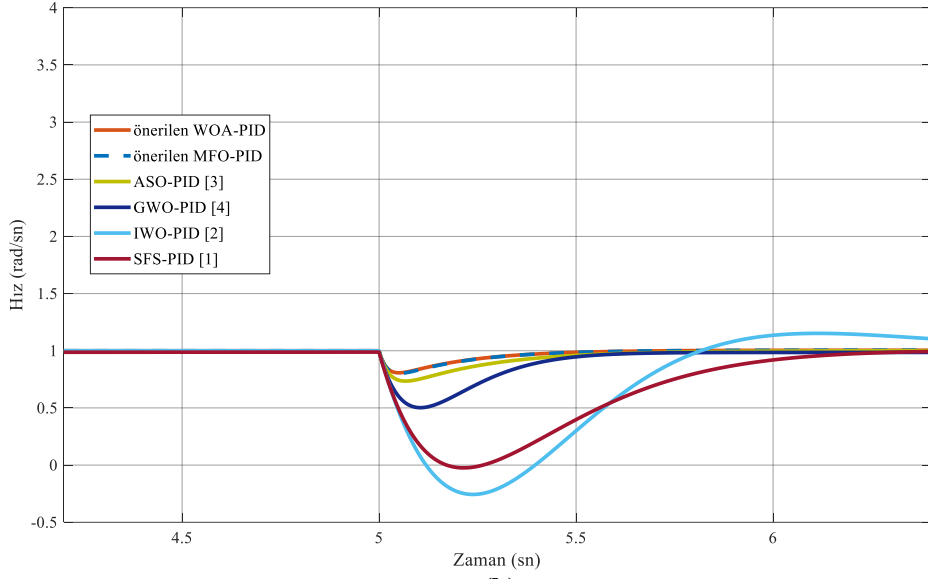
Denetleyici	$M_p$ (%)	$t_s$ (sn) ( $\pm 2\%$ )	$t_r$ (sn) (0.10 $\rightarrow$ 0.90)
WOA-PID (önerilen)	0	0.0576	0.0320
MFO-PID (önerilen)	0	0.0591	0.0331
ASO-PID [3]	0	0.1058	0.0489
GWO-PID [4]	1.3669	0.1558	0.1036
IWO-PID [2]	9.0808	1.6260	0.3250
SFS-PID [1]	0	4.2741	0.4071

### 3.6. Bozucu yük cevabı analizi

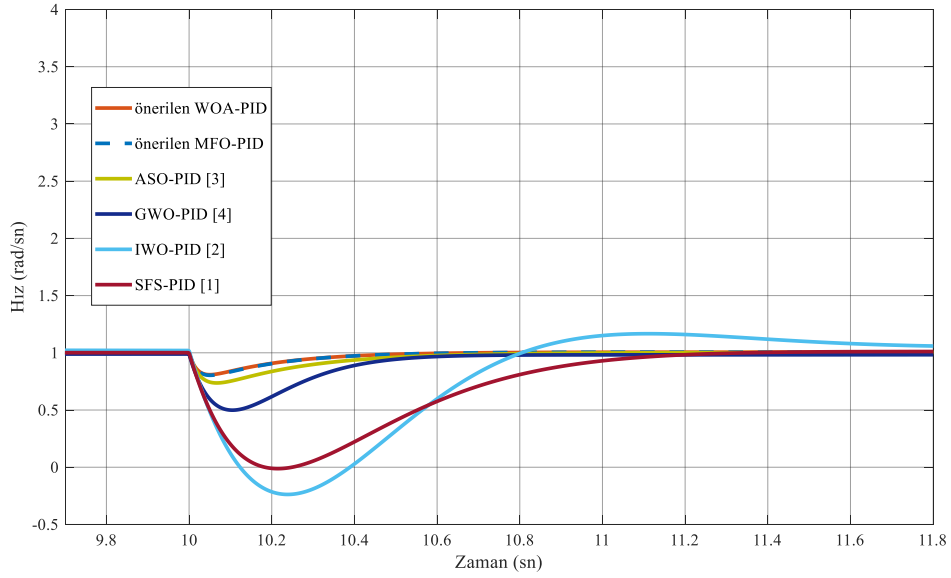
Son olarak DC motor hız kontrol sisteminde bozucu yük momentini girişi verilmiş olup sistemin çıkış hızı tepkisindeki değişiklik durumu incelenmiştir. Şekil 13'te farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin bozucu yük momentini girişi altında birim basamak cevapları verilmiştir. Yük momentini ( $T_L$ )  $t \in [5 \text{ sn}-10 \text{ sn}]$  zaman aralığında 0,005 N.m,  $t \in [10 \text{ sn}-15 \text{ sn}]$  zaman aralığında 0,01 N.m uygulanmış olup  $t \in [0 \text{ sn}-5 \text{ sn}]$  ve  $t \in [15 \text{ sn}-20 \text{ sn}]$  aralığında ise yük momentini ( $T_L$ ) uygulanmamıştır. Farklı yaklaşımli PID denetleyiciler arasında daha net bir karşılaştırma yapabilmek için Şekil 13'te yakınlaştırılmış görüntüleri verilmiştir. Şekil 13(b), Şekil 13(c) ve Şekil 13(d)'te görüleceği üzere önerilen WOA tabanlı PID denetleyicinin diğer yaklaşımli PID denetleyicilere göre sistemdeki yük bozukluğunu bastırmada daha başarılı olduğu görülmüştür.



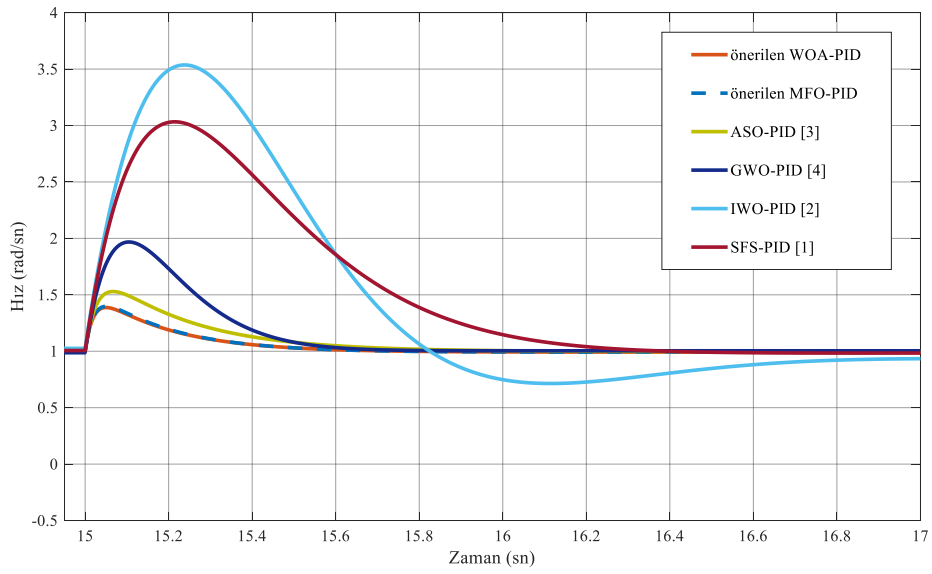
**Şekil 13.** Farklı yaklaşımli PID denetleyicilerin bozucu yük momentini girişi altında birim basamak cevapları; (b-c-d) (a)'da gösterilen siyah dikdörtgen alanların yakınlaştırılmış görüntüleri



(b)



(c)



(d)

Şekil 13. (devamı)

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada DC motorun hız kontrolünü iyileştirebilmek için WOA tabanlı PID ve MFO tabanlı PID denetleyiciler tasarlanmıştır. Önerilen WOA-PID ve MFO-PID denetleyicilerin etkinliklerini gösterebilmek için literatürde diğer yaklaşımlarla önerilen PID denetleyicilerle karşılaştırmaları yapılmıştır. Ayrıca her bir denetleyicinin birim basamak cevabı, bode analizi, geçici tepki analizi ve bozucu yük cevabı analizi MATLAB ortamında gerçekleştirilip performans analizleri karşılaştırılmıştır. Önerilen WOA tabanlı PID denetleyicinin önerilen MFO tabanlı PID ve literatürde önerilen diğer yaklaşımlı PID denetleyicilere göre DC motorun hız kontrolünün denetiminde daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca WOA tabanlı PID denetleyicinin DC motordaki armatür direnci ve motor momenti parametrelerindeki yüksek oran değişikliklerine bile daha dayanıklı olduğu ve bozucu yük momenti girişinden dolayı oluşan sistemdeki ani değişikliğe karşı sistemi bastırmada daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak gelecekteki çalışmalarda balina optimizasyonu, güve-alevi optimizasyonu, atom arama optimizasyonu, gri kurt optimizasyonu, yabani ot optimizasyonu ve stokastik fraktal arama algoritmaları kullanılarak elde edilen PID parametre değerleri gerçek zamanlı olarak DC motor hız kontrolünde denenebilir ve sonuçları karşılaştırılabilir.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm katkı tarafımıza aittir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Khanam I., Parmar G. 2017. Application of SFS algorithm in control of DC motor and comparative analysis. In 2017 4th IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Computer and Electronics (UPCON), October, 256-261.
- [2] Khalilpour R., Razmjoooy A., Hosseini H., Moallem P. 2011. Optimal control of DC motor using invasive weed optimization (IWO) algorithm. In Majlesi Conference on Electrical Engineering, Majlesi New Town, Isfahan, August, 1-6.
- [3] Hekimoğlu B. 2019. Optimal tuning of fractional order PID controller for DC motor speed control via chaotic atom search optimization algorithm. IEEE Access, 7: 38100-38114.
- [4] Agarwal J., Parmar G., Gupta R., Sikander A. 2018. Analysis of grey wolf optimizer based fractional order PID controller in speed control of DC motor. Microsystem Technologies, 24 (12): 4997-5006.
- [5] Jain R.V., Aware M.V., Junghare A.S. 2016. Tuning of fractional order PID controller using particle swarm optimization technique for DC motor speed control. In 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES), July, 1-4.
- [6] Saini R., Parmar G., Gupta R. 2020. SFS based Fractional Order PID Controller (FOPID) for Speed Control of DC Motor. International Journal, 9 (4).
- [7] Roy A., Srivastava S. 2016. Design of optimal PI $\lambda$ D $\delta$  controller for speed control of DC motor using constrained particle swarm optimization. In 2016 International Conference on Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), March, 1-6.
- [8] Munagala V.K., Jatoh R.K. 2021. Design of Fractional-Order PID/PID Controller for Speed Control of DC Motor Using Harris Hawks Optimization. In Intelligent Algorithms for Analysis and Control of Dynamical Systems, 103-113.
- [9] Azman M.A.H., Aris J.M., Hussain Z., Samat A.A.A., Nazelan A.M. 2017. A comparative study of fuzzy logic controller and artificial neural network in speed control of separately excited DC

- motor. In 2017 7th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), November, 336-341.
- [10] Varshney A., Gupta D., Dwivedi B. 2017. Speed response of brushless DC motor using fuzzy PID controller under varying load condition. *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 4 (2): 310-321.
- [11] Wang M.S., Chen S.C., Shih C.H. 2018. Speed control of brushless DC motor by adaptive network-based fuzzy inference. *Microsystem Technologies*, 24 (1): 33-39.
- [12] Dursun E.H., Durdu A. 2016. Speed control of a DC motor with variable load using sliding mode control. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, 8 (3): 219-226.
- [13] Bingul Z., Karahan O. 2018. A novel performance criterion approach to optimum design of PID controller using cuckoo search algorithm for AVR system. *Journal of the Franklin Institute*, 355 (13): 5534-5559.
- [14] Ekinci S., Hekimoğlu B. 2019. Improved kidney-inspired algorithm approach for tuning of PID controller in AVR system. *IEEE Access*, 7: 39935-39947.
- [15] Hekimoğlu B. 2019. Böbrek-ilhamlı Algoritma ile Ayarlanan PID Kontrolör Kullanarak DC Motor Hız Kontrolü. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2): 652-663.
- [16] Syafaah L., Pakaya I., Suhardi D., Irfan M. 2017. PID designs using DE and PSO algorithms for damping oscillations in a DC motor speed. In 2017 4th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI), September, 1-5.
- [17] El-Deen A.T., Mahmoud A.H., El-Sawi A.R. 2015. Optimal PID tuning for DC motor speed controller based on genetic algorithm. *Int. Rev. Autom. Control*, 8 (1): 80-85.
- [18] Agarwal J., Parmar G., Gupta R. 2017. Application of sine cosine algorithm in optimal control of DC motor and robustness analysis. *Wulfenia Journal*, 24 (11): 77-95.
- [19] Ekinci S., Hekimoğlu B., Demirören A., Eker E. 2019. Speed Control of DC Motor Using Improved Sine Cosine Algorithm Based PID Controller. In 2019 3rd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT), October, 1-7.
- [20] Das K.R., Das D., Das J. 2015. Optimal tuning of PID controller using GWO algorithm for speed control in DC motor. In 2015 International Conference on Soft Computing Techniques and Implementations (ICSCTI), October, 108-112.
- [21] Ekinci S., Izci D., Hekimoğlu B. 2020. PID Speed Control of DC Motor Using Harris Hawks Optimization Algorithm. In 2020 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE), June, 1-6.
- [22] Ekinci S., Hekimoğlu B., Izci D. 2020. Opposition based Henry gas solubility optimization as a novel algorithm for PID control of DC motor. *Engineering Science and Technology, an International Journal*. 1-12.
- [23] Achanta R.K., Pamula V.K. 2017. DC motor speed control using PID controller tuned by jaya optimization algorithm. In 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI), September, 983-987.
- [24] Hekimoğlu B., Ekinci S., Demiray V., Doguruci R., Yıldırım A. 2018. Speed control of DC motor using PID controller tuned by salp swarm algorithm. In *Proc. IENSC*, 1878-1889.
- [25] Bhatt R., Parmar G., Gupta R., Sikander A. 2019. Application of stochastic fractal search in approximation and control of LTI systems. *Microsystem Technologies*, 25 (1): 105-114.
- [26] Mishra A.K., Tiwari V.K., Kumar R., Verma T. 2013. Speed control of DC motor using artificial bee colony optimization technique. In 2013 International Conference on Control, Automation, Robotics and Embedded Systems (CARE), December, 1-6.
- [27] Duman S., Maden D., Güvenç U. 2011. Determination of the PID controller parameters for speed and position control of DC motor using gravitational search algorithm. In 2011 7th International Conference on Electrical and Electronics Engineering (ELECO), December, 225-229.
- [28] Ogata K. 2004. *System Dynamics*. 4th Ed., Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 1-759.
- [29] Mirjalili S., Lewis A. 2016. The whale optimization algorithm. *Advances in engineering software*, 95: 51-67.
- [30] Mirjalili S. 2015. Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm. *Knowledge-based systems*, 89: 228-249.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Çermail Armut Marmelatı Kullanılarak Üretilen Yoğurtların Bazı Kalite Kriterleri Üzerine Bir Araştırma

Filiz YANGILAR\*

*Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü,  
Erzincan, Türkiye  
(ORCID: 0000-0001-6447-2419)*

---

### Öz

Bu çalışmada %5, 10 ve 15 oranında Çermail armut marmelatı ile zenginleştirilen yoğurtlar üretilerek 4°C'de 21 gün süre ile depolanmış ve periyodun 1., 7., 14. ve 21. günlerinde bazı fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyuşsal parametreleri incelenmiştir. Marmelat konsantrasyonunun artması pH ve serum ayrılması değerlerinde azalmalara ve depolama süresince de viskozite ve asitlik değerlerinde artmalara neden olmuştur. Kontrol grubuna oranla, marmelatlı yoğurtlarda depolama süresince *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* sayısında düşme ve *Streptococcus thermophilus* sayılarında ise dalgalanmalar tespit edilmiştir. %15 armut marmelatlı grupta depolama süresince *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* sayısı 8,20-8,29 log kob/gr ve *Streptococcus thermophilus* sayısı 8,29-8,63 log kob/gr arasında bulunmuştur. Armut marmelat konsantrasyonu arttıkça yoğurt bakteri sayılarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Özellikle kontrol grubu ve %10 oranındaki marmelat katkılı örnekler panelistler tarafından daha çok beğenilmiştir. Araştırma sonuçları, Erzincan ilinde yetişen Çermail armutunun fonksiyonel yoğurt üretiminde ürün çeşitliliği açısından kullanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar kelimeler:** Çermail armutu, Duyusal özellikler, Serum ayrılması, Viskozite, Yoğurt.

---

## A Research on Some Quality Criteria of Yoghurts Produced Using Çermail Pear Marmalade

---

### Abstract

In this study, by producing yoghurt enriched with 5, 10 and 15% Çermail pear marmalade and stored at 4°C for 21 days, some physicochemical, microbiological, sensory parameters at the 1st, 7th, 14th and 21st days of storage were investigated. The pH and syneresis values of samples decreased with increasing marmalade ratios, whereas viscosity and acidity values increased during storage. When compared to the control group, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* counts at the marmalade added samples a decreasing and fluctuations in the count of *Streptococcus thermophiles* during storage were determined. In the 15% pear marmalade group, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* count was found between 8.20-8.29 log cfu/gr and *Streptococcus thermophilus* count between 8.29-8.63 log cfu/gr. It was determined that as the pear marmalade concentration increased, the number of yoghurt bacteria decreased. The control group and the 10% marmalade added samples was the most especially liked by panellists. Research results showed that Çermail pear grown in Erzincan province can be used in functional yogurt production in terms of product variety.

**Keywords:** Çermail pear, Sensory properties, Syneresis, Viscosity, Yogurt.

---

### 1. Giriş

Kardiyometabolik hastalıklar için obezite, tip 2 diyabet, dislipidemi ve hipertansiyon en önemli risk faktörleridir. Batı diyetine özgü veya gıda esaslı diyet rehberlerinde süt ürünlerinin bu hastalıklar üzerinde yararlı etkiler sağladığı bilgisi yer almaktadır [1, 2]. Epidemiyolojik çalışmalarda yoğurtun diğer süt ürünlerine göre kalbi korumada [3], tip 2 diyabeti azaltmada [4], vücut ağırlık ve şekli üzerinde

---

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

Geliş Tarihi: 16.01.2021, Kabul Tarihi: 21.03.2021

daha olumlu sonuçlar gösterdiğini ortaya koymuştur [5-7]. Son yıllarda kalite standartları yüksek bir hayat beklentisi gıda ve sağlık arasındaki interaksiyonun tekrar gözden geçirilmesine ve üreticileri de tüketici sağlığını koruma doğrultusundaki üretim hattına yöneltmeye neden olmuştur. Bunun için kefir ve yoğurt gibi süt ürünlerini de kapsayan ve super gıdalar olarak adlandırılan fonksiyonel ürünler hazırlanılmaya başlanılmıştır [8, 9]. Yoğurt yüksek kaliteli protein, kalsiyum, potasyum, çinko, fosfor, magnezyum gibi minerallerle birlikte A, Riboflavin (B2), kobalamin (B12) ve pantotenik asit (B5 vitamini) gibi mikro besinleri içeren besinsel açıdan zengin bir gıdadır [10-12]. Bu kadar değerli bir ürün olan yoğurdun fonksiyonel ve besinsel değerlerinin zenginleştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar içerisinde meyve ilavesi oldukça önemli bir yer oluşturmaktadır. Meyveler geçen birkaç yüzyıl içinde; kuru öksürük, boğaz ağrısı ve susuzluğu gidermek için ilaç gibi kullanılmıştır. Ayrıca sakkarozu göre düşük kalorili ve yüksek tatlılığa sahip doğal bir tatlandırıcı olarak da kullanılmıştır [13, 14]. Bu meyveler arasında armut kendine ait tat, yapı, koku ve aroması açısından tercih oranı yüksek bir çeşittir. Ülkemizde taze, kurutulmuş, püre, konsantre nektar, armut suyu, pulplu meyve suyu gibi farklı tüketim şekillerine sahiptir [15, 16]. Meyve; diyet lifi, C ve B6 vitaminleri, magnezyum ve potasyum açısından zengindir [17, 18].

Farklı ekolojik şartlara sahip olan ülkemiz birçok meyve türünde olduğu gibi armutta da mahalli çeşitlerinin belirli alanlarda toplanmasını sağlamıştır [19, 20]. Bu durum, mahalli armut yetiştirme noktalarından birisini oluşturan Erzincan ovası armut çeşitlerinden Çermailinde mahalli bir özellik kazanmasına neden olmuştur [21]. Bu çalışmada Erzincan'ın standart armut çeşiti yetiştiriciliğinin yaygınlaşması ile üretimi artık fazla yapılmayan kültürel mirasımızı oluşturan mahalli armut çeşitlerinden olan Çermail armutu marmelatının farklı konsantrasyonları kullanılarak üretilen yoğurtların fizikokimyasal, mikrobiyolojik ve duyu özellikleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Araştırmada yoğurt üretimi için Erzincan ilinde faaliyet gösteren Balacan Hayvan Çiftliğinden 2 Kasım 2018 yılında tedarik edilen inek sütleri kullanılmıştır. Üretimde DVS YC-180 (Peyma-Chr. Hansen, İstanbul) starter kültürü kullanılmıştır. 2018 yılının Ekim ayında hasad edilen Çermail armutu ve şeker Erzincan piyasasından temin edilmiştir.

### 2.2. Armut Marmelatının Hazırlanması

Meyveler iyice yıkandıktan sonra kabukları soyulup çekirdekleri çıkarılarak püre haline getirildi. Püreye %25 oranında şeker ilave edildikten sonra  $90\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'de 5 dakika termometre ile sıcaklık kontrolü takip edilip sıcaklık sensörlü manyetik karıştırıcıda (Daihan Scientific Wisestir MSH-20A, Korea) pastörize edildi. Hazırlanan armut marmelatı steril cam kavanozlara aktararak üretimde kullanılmaya hazır hale getirildi.

### 2.3. Deneme Yoğurt Üretimi

Çiğ süte (kuru madde %11,5, yağ %3,05, kül %0,68, protein %3,0, asitlik %0,16),  $90^{\circ}\text{C}$ 'de 10 dakika sıcaklık sensörlü manyetik karıştırıcıda (Daihan Scientific Wisestir MSH-20A, Korea) ısıl işlem uygulanmış ve daha sonra hızlıca  $45^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulmuş ve %2 oranında starter kültür inoküle edilerek dört eşit kısma ayrılmıştır. Birinci kısım kontrol (K), İkinci %5 (A1), üçüncü %10 (A2) ve dördüncü %15 (A3) oranında Çermail armut marmelatı ilave edilerek hazırlanmıştır. Daha sonra, 150 ml'lik kaplara dolum yapılarak  $42^{\circ}\text{C}$ 'de 3,5 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrasında, deneme örnekler  $4^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulmuş ve bu sıcaklıkta 21 gün süre ile depolanarak 1., 7., 14. ve 21. günlerinde analizleri yapılmıştır [22].

### 2.4. Fizikokimyasal ve Mikrobiyolojik Analizler

Yoğurt örneklerinin kuru madde miktarı [23], yağ oranı ve titrasyon asitliği (% laktik asit) Kurt ve ark. [24] metoduna göre yapılmıştır. Deneme örneklerin pH değeri pH metre (Starter 3000, Ohaus,

Parsippany, NJ, USA) ile ölçülmüştür. Yoğurtların viskozite tayini Brookfield marka viskozimetre (Model DV-1; Brookfield Engineering Laboratories, Inc., MA, USA) kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar cP olarak tespit edilmiştir [25]. Deneme örneklerdeki serum ayrılması, +4°C’de 25 g yoğurt örneğinin kaba filtre kâğıdı kullanılarak süzülüp ayrılan serumun ml olarak tespit edilmesi ile belirlenmiştir [26]. Deneme yoğurt örneklerinde *Lactobacillus bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* bakterilerin sayımı Vinderola and Reinheimer [27] metoduna göre yapılmıştır.

## 2.5. Duyusal analizler

Deneme örneklerin duysal incelenmesinde 6 kişilik panelist ekibi “Renk”, “Tat”, “Koku”, “Tekstür” ve “Genel Kabul Edilebilirlik” olmak üzere beş farklı parametreye göre değerlendirmeyi yapmış ve depolama boyunca oluşan değişimler için verilen puanlara göre sonuçlar belirlenmiştir [28].

## 2.6. İstatistiksel Değerlendirme

IBM SPSS 22 paket programı kullanılarak verilerin varyans analizi yapılmıştır. Önemli farklılıkların belirlenmesinde Duncan Çoklu Karşılaştırma Testi uygulanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çermail armut marmelatlı yoğurt örneklerine ait bazı fizikokimyasal özellikler Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Çermail armut marmelatlı yoğurtların bazı fizikokimyasal analiz sonuçları

Analizler	Yoğurt Örnekleri			
	K	A1	A2	A3
<b>Kuru madde (%)</b>	13,15±0,02 <sup>a</sup>	14,01±0,05 <sup>b</sup>	14,30±0,12 <sup>c</sup>	14,61±0,06 <sup>d</sup>
<b>Yağ (%)</b>	3,38±0,12 <sup>c</sup>	3,30±0,05 <sup>b</sup>	3,29±0,02 <sup>b</sup>	3,21±0,08 <sup>a</sup>
<b>pH</b>	4,11±0,16 <sup>b</sup>	4,22±0,05 <sup>c</sup>	4,03±0,12 <sup>a</sup>	4,21±0,05 <sup>c</sup>
<b>Titrasyon asitliği (%)</b>	1,07±0,08 <sup>a</sup>	1,12±0,05 <sup>ab</sup>	1,34±0,16 <sup>c</sup>	1,17±0,18 <sup>b</sup>
<b>Serum ayrılması (mL/25 g)</b>	6,94±0,53 <sup>b</sup>	6,58±0,34 <sup>b</sup>	5,38±0,16 <sup>a</sup>	5,71±0,67 <sup>a</sup>

\*Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel olarak farklılığı ifade etmektedir (p<0,05). K: Kontrol, A1: %5 Çermail armut marmelatlı yoğurt, A2: %10 Çermail armut marmelatlı yoğurt, A3: %15 Çermail armut marmelatlı yoğurt.

Yoğurt örneklerinin kuru madde oranı en düşük %13,15 K grubunda ve en yüksek %14,61 olarak A3 grubunda tespit edilmiştir (Tablo 1). Marmelat oranı arttıkça yoğurtların kuru madde oranlarında artma görülmüştür. Yoğurtların kuru madde oranları arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Wulansari ve Kusmayada [29]’nın farklı meyve ilaveli inek sütünden elde edilen yoğurtların sırasıyla ejder meyvesi, mango, elma ve muz katılan yoğurtlarda kuru madde sonuçlarını %13,628; %13,108; %14,376 ve %14,376 olarak bulmuşlardır.

Tablo 1’de verildiği gibi yağ oranları K grubunda %3,38 ve A3 grubunda %3,21 olarak bulunmuş ve depolama süresince örneklerin yağ değerlerinde azalma görülmüştür. Yağ oranında depolama süresince örneklerde istatistiksel olarak önemli (p<0,05) değişimler olduğu gözlenmiş olup en yüksek yağ oranı depolamanın 1 ve 14. günlerinde K grubunda tespit edilmiştir. Meyveli yoğurtlar üzerinde yapılan çalışmalarda yağ oranının meyve ilavesi ile düştüğü bildirilmiştir [30, 31]. Araştırma sonucunda elde edilen verilerin daha önce yapılan araştırmalarla uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.

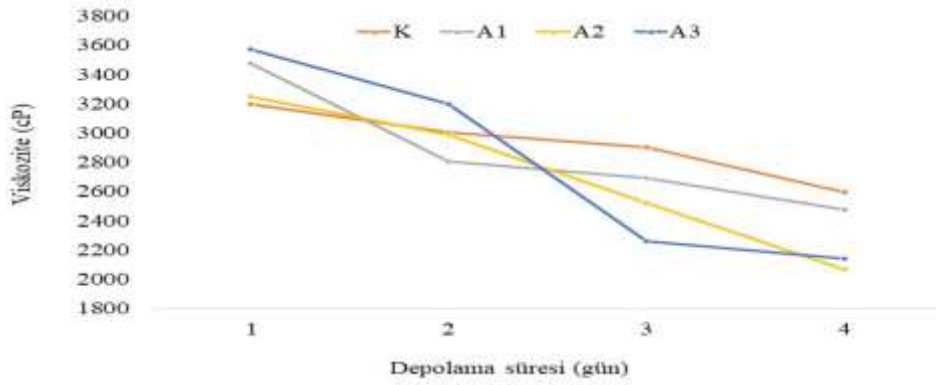
Depolama süresince marmelatlı yoğurtların pH oranında azalma tespit edilmiş ve istatistiksel analizlere göre depolamanın yoğurtların pH değerleri üzerine etkisi önemli bulunmuştur (p<0,05). Vahedi ve ark. [32] elma ve çilek ile zenginleştirdikleri yoğurt örneklerinin depolama süresi boyunca pH değerlerinde azalma olduğunu ancak %10 elma katkılı ürettikleri yoğurt örneklerinde depolamanın 21. gününden ve %13 çilek katkılı örneklerin ise 14. günden sonra pH değerlerinde artma olduğunu bildirmişlerdir. Bunun da sebebi olarak mikroorganizmaların faaliyetinden kaynaklanmış olabileceğini öne sürmüşlerdir. Araştırmacılar mayalar tarafından ilk olarak ortamdaki organik asit ve şekerin kullanılmasının sonucunda pH değerinde düşme olduğunu ve şekerin bitmesi sonucunda mevcut proteinlerin kullanılmaya başlanması ile de zamanla pH değerinde bir artma meydana geldiğini paylaşmışlardır [33, 34].



Armut marmelatlı yoğurtların titrasyon asitliği %1,07-1,34 arasında değişmiştir. Depolama periyodu ve marmelat katkısının titrasyon asitliği üzerine istatistiksel açıdan  $p<0,05$  düzeyinde etkili olduğu tespit edilmiştir. Temiz ve ark. [35] %5, %10, %15 ve %20 oranlarında yenidoğurt marmelatı kullanarak hazırladıkları yoğurtlarda marmelat miktarındaki artışa bağlı olarak titrasyon asitliği değerlerinde artış olduğunu rapor etmişlerdir.

Marmelatlı yoğurt örneklerinde ayrılan serum miktarı en düşük depolamanın 14. günde A2 yoğurtta 5,18 mL/25 g olarak bulunurken en yüksek 7. gününde K grup örneğinde 7,46 mL/25 g bulunmuştur. Marmelat konsantrasyonu ve depolama süresi örneklerin serum ayrılması değerini istatistiksel olarak önemli düzeyde etkilemiştir ( $p<0,05$ ). Tarakçı [36] kivi marmelatlı yoğurtlarda marmelat konsantrasyonundaki artış ve depolama süresine bağlı olarak serum ayrılmasının azaldığını belirtmiştir.

Marmelatlı yoğurtların viskozite değerleri arasındaki farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ( $p<0,05$ ). Marmelat ve depolama süresi arasındaki interaksiyon Şekil 1'de verilmiştir. Çelik ve ark. [37] kıvılcık püresi ve şeker ilavesi yaparak ürettikleri yoğurt örneklerinde serum ayrılması değerlerinde artış olduğu ve viskozite değerlerinde de düşme olduğunu tespit etmişlerdir. Yaygın [38], meyvelerde pektinin şişerek kıvamda artış sağladığını ve bunun da viskozitede artışa neden olduğunu paylaşmıştır. Araştırmacıların sonuçları çalışma sonuçlarıyla uyum göstermektedir.



**Şekil 1.** Çermail armut marmelatlı yoğurtların depolama süresince tespit edilen pH değerleri. K: Kontrol, A1: %5 Çermail armut marmelatlı yoğurt, A2: %10 Çermail armut marmelatlı yoğurt, A3: %15 Çermail armut marmelatlı yoğurt.

Çermail armut marmelatlı yoğurtların bazı mikrobiyolojik analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Tüm örnekler için laktik asit bakteri sayıları, depolama periyodu boyunca azalmış ve 21. günde en düşük düzeye ulaşmıştır.

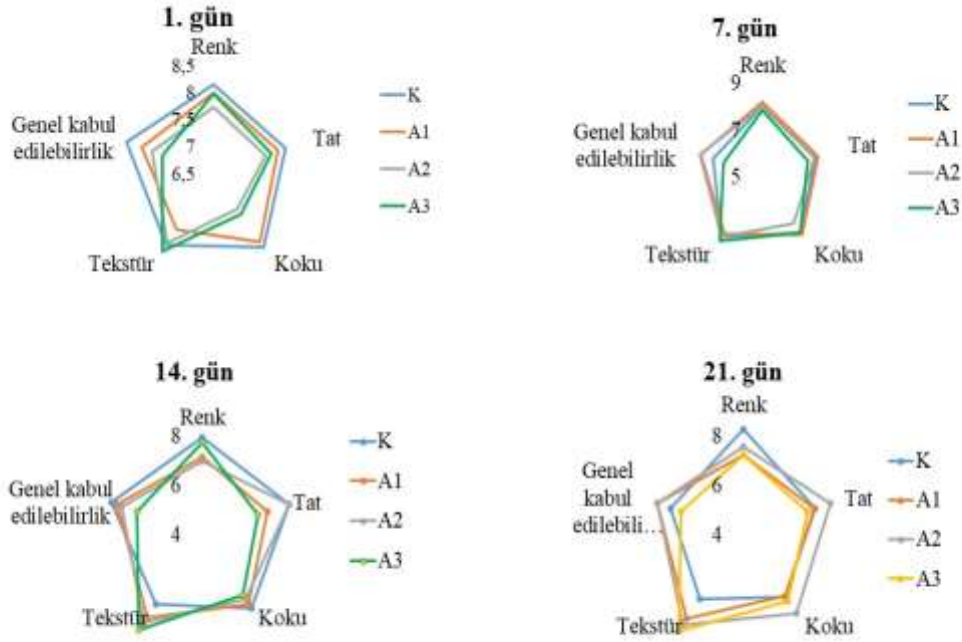
**Tablo 2.** Çermail armut marmelatlı yoğurtların bazı mikrobiyolojik analiz sonuçları

Analizler	Depolama süresi (gün)	Yoğurt Örnekleri			
		K	A1	A2	A3
<i>Lactobacillus delbrueckii</i> ssp. <i>bulgaricus</i> (log kob/gr)	1	8,60±0,28 <sup>a,A</sup>	8,63±0,02 <sup>a,C</sup>	8,37±0,00 <sup>a,C</sup>	8,25±0,01 <sup>a,B</sup>
	7	8,40±0,02 <sup>b,A</sup>	8,32±0,01 <sup>a,B</sup>	8,39±0,00 <sup>b,C</sup>	8,27±0,00 <sup>a,BC</sup>
	14	8,57±0,03 <sup>b,A</sup>	8,27±0,02 <sup>a,AB</sup>	8,20±0,00 <sup>a,B</sup>	8,20±0,00 <sup>a,A</sup>
	21	8,51±0,02 <sup>c,A</sup>	8,22±0,03 <sup>b,A</sup>	8,07±0,03 <sup>a,A</sup>	8,29±0,00 <sup>b,C</sup>
<i>Streptococcus thermophilus</i> (log kob/gr)	1	8,39±0,00 <sup>c,B</sup>	8,36±0,01 <sup>b,A</sup>	8,47±0,00 <sup>d,A</sup>	8,29±0,00 <sup>a,D</sup>
	7	8,52±0,00 <sup>a,C</sup>	8,67±0,03 <sup>b,C</sup>	8,70±0,00 <sup>b,B</sup>	8,47±0,02 <sup>a,C</sup>
	14	8,37±0,02 <sup>a,B</sup>	8,42±0,01 <sup>a,B</sup>	8,81±0,02 <sup>b,C</sup>	8,39±0,01 <sup>a,B</sup>
	21	8,25±0,02 <sup>a,A</sup>	8,45±0,00 <sup>b,B</sup>	8,70±0,00 <sup>d,B</sup>	8,63±0,03 <sup>c,A</sup>

<sup>a-d</sup>Aynı satırdaki farklı küçük harfler istatistiksel olarak ortalama değerler arasındaki farklılığı gösterir ( $p<0,05$ ).

<sup>A-D</sup>Aynı sütundaki farklı büyük harfler ortalama değerler arasındaki istatistiksel farklılığı gösterir ( $p<0,05$ ). K: Kontrol, A1: %5 Çermail armut marmelatlı yoğurt, A2: %10 Çermail armut marmelatlı yoğurt, A3: %15 Çermail armut marmelatlı yoğurt.

Tablo 2’de yer alan verilere göre MRS agarda gelişen en fazla *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* sayısı depolamanın 1. gününde A1 grubunda iken (8,63 log kob/gr) en az bakteri sayısı depolamanın 21. gününde A2 grubunda (8,07 log kob/gr) tespit edilmiştir. M17 agarda gelişen *Streptococcus thermophilus* sayıları ise en fazla depolamanın 14. gününde A2 grubunda (8,81 log kob/gr) olarak bulunurken en az depolamanın 21. gününde K grubunda (8,25 log kob/gr) belirlenmiştir. Ertem ve Çakmakçı [39] %5 ve %10 gobdin ilavesi yapılmış yoğurtlarda sırasıyla, Laktobasil cinsi laktik asit bakteri sayısını 7,15- 8,81 log kob/gr ve Streptokok cinsi laktik asit bakteri sayısını ise 7,21- 8,66 log kob/gr şeklinde tespit etmiştir. Bu araştırma bulguları araştırmacının bildirdiği sonuçlarla uyum göstermektedir. Çermail armut marmelatlı yoğurtların duyuşal değerlerinin depolama süresince değişimleri Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Çermail armut marmelatlı yoğurtların depolama sürelerine göre duyuşal analiz sonuçları. K: Kontrol, A1: %5 Çermail armut marmelatlı yoğurt, A2: %10 Çermail armut marmelatlı yoğurt, A3: %15 Çermail armut marmelatlı yoğurt.

Çermail armut marmelatlı yoğurtların renk puanları K grubu örnekten daha düşük puan almıştır. Marmelat konsantrasyonunun yoğurtların renk puanına etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Marmelatlı yoğurtların tat puanları incelendiğinde en yüksek puan depolamanın 21. günündeki A2 grubunda (8,07), en düşük puan ise depolamanın 14. gününde A3 grubuna (6,54) ait olduğu görülmektedir. Marmelat ilavesi depolama süresince panelistler tarafından örneklerin düşük koku puanları almasına neden olmuştur. Depolama süresinin tüm yoğurt gruplarının tekstür değerleri üzerindeki etkisi önemli bulunmuştur ( $p < 0,05$ ). Çermail marmelatlı yoğurtların genel kabul edilebilirlik puanları karşılaştırıldığında en yüksek puanın depolamanın 1. gününde K grubunda en düşük puan ise depolamanın 21. gününde A3 grubuna ait olduğu tespit edilmiştir. Bartoo and Badrie [40] %15 ve %20 golden elma nektarı katkılı yoğurtlarda %15 ve %20’li yoğurtların kontrol yoğurduna göre duyuşal olarak daha çok beğenildiğini bildirmişlerdir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Marmelat oranının artması ile örneklerin kuru madde oranlarında artma, titrasyon asitliliği, yağ ve serum ayrılması değerlerinde ise düşme tespit edilmiştir. Viskozite ve pH değerleri depolama süresince azalmıştır. Marmelat konsantrasyonunun laktik asit bakteri sayılarının terapötik etki oluşturduğu sınır olan  $10^6$  kob/g minimum sayısının üzerinde bulunduğu görülmüştür. Duyusal değerlendirmede ise % 10

armut marmelatlı örneğin panelistler tarafından daha çok tercih edildiği belirlenmiştir. Armut marmelatlı yoğurt üretimini içeren çok sınırlı çalışma söz konusu olup genellikle bilinen meyveler (elma, muz, karayemiş, hurma, kayısı, çilek, kıvılcık, vb.) üretimde tercih edildiği için Erzincan'da yetişen kokulu, sulu ve aromatik bir armut çeşidinin kullanılarak farklı bir ürün grubunun hazırlanabileceği bu çalışma da tespit edilmiştir. Böylece mutfak kültürümüzün önemli bir ürününü oluşturan yoğurdun sürekli artan tüketim talebi doğrultusunda her yaşta birey tarafından sevilerek tüketilebilecek farklı bir ürün çeşidi piyasaya kazandırılmış olacaktır.

### **Yazarların Katkısı**

Bu makaledeki tüm katkı yazara aittir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Bohl M., Bjørnshave A., Larsen M.K., Gregersen S., Hermansen K. 2017. The effects of proteins and medium-chain fatty acids from milk on body composition, insulin sensitivity and blood pressure in abdominally obese adults. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71 (1): 76-82.
- [2] Fernandez M.A., Panahi S., Daniel N., Tremblay A., Marette A. 2017. Yogurt and cardiometabolic diseases: a critical review of potential mechanisms. *Advances in Nutrition*, 8 (6): 812-829.
- [3] Dalmeijer G.W., Struijk E.A., Van Der Schouw Y.T., Soedamah-Muthu S.S., Verschuren W.M., Boer J.M., Geleijnse J.M., Beulens J.W. 2013. Dairy intake and coronary heart disease or stroke - a population-based cohort study. *International Journal of Cardiology*, 167 (3): 925-929.
- [4] Chen M., Sun Q., Giovannucci E., Mozaffarian D., Manson J.E., Willett W.C., Hu F.B. 2014. Dairy consumption and risk of type 2 diabetes: 3 cohorts of US adults and an updated meta-analysis. *BMC Medicine*, 12 (1): 215.
- [5] Wang H., Livingston K.A., Fox C.S., Meigs J.B., Jacques P.F. 2013. Yogurt consumption is associated with better diet quality and metabolic profile in American men and women. *Nutrition Research*, 33 (1): 18-26.
- [6] Mirmiran P., Esmailzadeh A., Azizi F. 2005. Dairy consumption and body mass index: an inverse relationship. *International Journal of Obesity*, 29 (1): 115-121.
- [7] Panahi S., Doyon C.Y., Després J.P., Pérusse L., Vohl M. C., Drapeau V., Tremblay A. 2018. Yogurt consumption, body composition, and metabolic health in the Quebec Family Study. *European Journal of Nutrition*, 57 (4): 1591-1603.
- [8] van den Driessche J.J., Plat J., Mensink R.P. 2018. Effects of superfoods on risk factors of metabolic syndrome: A systematic review of human intervention trials. *Food & Function*, 9 (4): 1944-1966.
- [9] Baspınar B., Gültaş M. 2020. Traditional plain yogurt: a therapeutic food for metabolic syndrome? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-15.
- [10] Williams E.B., Hooper B., Spiro A., Stanner S. 2015. The contribution of yogurt to nutrient intakes across the life course. *Nutrition Bulletin*, 40 (1): 9-32.
- [11] Keast D.R., Hill Gallant K.M., Albertson A.M., Gugger C.K., Holschuh N.M. 2015. Associations between yogurt, dairy, calcium, and vitamin D intake and obesity among U.S. children aged 8-18 years: NHANES, 2005-2008. *Nutrients*, 7 (3): 1577-1593.
- [12] Donovan S.M., Hutkins R. 2018. Introduction to the fifth global summit on the health effects of yogurt. *Nutrition Reviews*, 76 (Supplement-1): 1-3.

- [13] Lu F., Li D., Fu C., Liu J., Huang Y., Chen Y., Nohara T. 2012. Studies on chemical fingerprints of *Siraitia grosvenorii* fruits (Luo Han Guo) by HPLC. *Journal of Natural Medicines*, 66 (1): 70-76.
- [14] Abdel-Hamid M., Romeih E., Huang Z., Enomoto T., Huang L., Li L. 2020. Bioactive properties of probiotic set-yogurt supplemented with *Siraitia grosvenorii* fruit extract. *Food Chemistry*, 303: 125400.
- [15] Özaydın A.G., Özçelik S. 2014. Ankara armudunun bazı fizikokimyasal özellikleri üzerine fırında kurutma işleminin etkisi. *Akademik Gıda*, 12 (4): 17-26.
- [16] Şengül M., Topdağ E.F., Doğan H., Serencam H. 2018. Artvin İlinde Geleneksel Olarak Üretilen Bazı Marmelat Çeşitlerinin Çeşitli Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri ile Antioksidan Aktiviteleri ve Fenolik Profillerinin Araştırılması. *Akademik Gıda*, 16 (1): 51-59.
- [17] Lutovska M., Mitrevski V., Pavkov I., Mijakovski V., Radojčin M. 2016. Mathematical modelling of thin layer drying of pear. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 22 (2): 191-199.
- [18] İzli G. 2018. Farklı Kurutma Uygulamalarının Armut Meyvesinin Bazı Kalite Özellikleri Üzerine Etkileri. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6 (4): 479-485.
- [19] Karlıdağ H., Eşitken A. 2006. Yukarı Çoruh vadisinde yetiştirilen elma ve armut çeşitlerinin bazı pomolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 16 (2): 93-96.
- [20] Balta M.F., Üç L., Karakaya O. 2019. Şebinkarahisar (Giresun) İlçesinde Seçilen Alishar Armut Klonlarının Bazı Meyve Özellikleri. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 5 (1): 31-37.
- [21] Gültekin L. 2015. Erzincan ovasında yetiştirilen Çermail armut çeşidinde üstün vasıflı tiplerin seçimi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [22] Tamime A.Y., Robinson R.K. 1985. *Yogurt Science and Technology*. Pergamon Press, Oxford.
- [23] AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis. Changes in Official Methods of Analysis Made at the Annual Meeting. Supplement (Vol. 15)*. Association of Official Analytical Chemists.
- [24] Kurt A., Çakmakçı S., Çağlar A. 2007. Süt ve mamulleri muayene ve analiz metotları rehberi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Erzurum, 18: 238.
- [25] Gassem M.A., Frank J.F. 1991. Physical properties of yogurt made from milk treated with proteolytic enzymes. *Journal of Dairy Science*, 74 (5): 1503-1511.
- [26] Atamer M., Sezgin E. 1986. Yoğurtlarda, Kuru madde Artırımının Pıhtının Fiziksel Özellikleri Üzerine Etkisi. *Gıda*, 11 (6).
- [27] Vinderola C.G., Reinheimer J.A. 1999. Culture media for the enumeration of *Bifidobacterium bifidum* and *Lactobacillus acidophilus* in the presence of yoghurt bacteria. *International Dairy Journal*, 9 (8): 497-505.
- [28] Lawless H.T., Heymann H. 2010. *Sensory evaluation of food: principles and practices*. Springer Science & Business Media.
- [29] Wulansari P.D., Kusmayadi A. 2016. Chemical Properties and Characteristics of Cow Milk Yogurt with Different Additional Fruit and Storage Time. *Animal Production*, 18 (2): 113-117.
- [30] Aly S.A., Galal E.A., Elewa N.A. 2004. Carrot yoghurt: Sensory, chemical, microbiological properties and consumer acceptance. *Pakistan Journal of Nutrition*, 3 (6): 322-330.
- [31] Ayar A., Sert D., Kalyoncu İ. 2005. Farklı Meyveler Kullanılarak Üretilen Yoğurtların Kimyasal, Reolojik ve Duyusal Özellikleri. *Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi*, 8.
- [32] Vahedi N., Tehrani M.M., Shahidi F. 2008. Optimizing of fruit yoghurt formulation and evaluating its quality during storage. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 3 (6): 922-927.
- [33] Frazier W.C., Westhoff D.C. 1995. *Food Microbiology*. Mc Graw-Hill Book Company. Nova York, NY, 252-282.
- [34] Jai J.M. 1990. *Modern Food Microbiology*. Chapman and Hall, 1: 2.
- [35] Temiz H., Tarakci Z., Karadeniz T., Bak T. 2012. The effect of loquat fruit (*Eriobotrya japonica*) marmalade addition and storage time on physico-chemical and sensory properties of yogurt. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 18: 329-338.

- [36] Tarakçı Z. 2010. Influence of kiwi marmalade on the rheology characteristics, color values and sensorial acceptability of fruit yogurt. Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi, 16 (2): 173-178.
- [37] Çelik Ş., Bakırcı I., Şat I.G. 2006. Physicochemical and organoleptic properties of yogurt with cornelian cherry paste. International Journal of Food Properties, 9 (3): 401-408.
- [38] Yaygın H. 1999. Yoğurt Teknolojisi. Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü, Yayın No: 75, Antalya, 1-331.
- [39] Ertem H., Çakmakçı S. 2018. Shelf life and quality of probiotic yogurt produced with *Lactobacillus acidophilus* and Gobdin. International Journal of Food Science & Technology, 53 (3): 776-783.
- [40] Bartoo S.A., Badrie N. 2005. Physicochemical, nutritional and sensory quality of stirred 'dwarf' golden apple (*Spondias cytherea* Sonn) yoghurts. International Journal of Food Sciences and Nutrition, 56 (6): 445-454.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bağlayıcı Olarak CMC Kullanımının Kromit Konsantrelerinden Üretilen Soğuk Bağlı Kompozit Peletlerin Mukavemetine Etkisi**

Uğur ÇALIGÜLÜ<sup>1\*</sup>, Mustafa BOYRAZLI<sup>2</sup>, Selçuk KARATAŞ<sup>2</sup>,  
Ercan ÇAKIR<sup>1</sup>, Ali KESKİN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23000, Elazığ  
<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23000, Elazığ  
<sup>3</sup>Etikrom Yıldırım Holding, Elazığ  
(ORCID: 0000-0003-4862-7219) (ORCID: 0000-0002-2340-6703) (ORCID: 0000-0002-2340-6703)  
(ORCID: 0000-0003-2722-4277) (ORCID: 0000-0003-3312-2576)

---

### **Öz**

Kompozit pelet ya da briket kelimesi, genellikle bünyesinde toz cevher ya da konsantre, cüruf yapıcı ve katı redükleyici madde (kömür, kok vb.) içeren pelet veya briketler için kullanılan bir terimdir. Bunlar üretildikten sonra, bir sonraki aşamada gerekli işlemler için, düşük sıcaklıklarda (25-300°C) mukavemet kazandırılmış peletlerdir. Bu pelet ya da briketler, alternatif demir çelik üretim yöntemlerinden olan FASTMET veya ITMK3 üretim prosesleri için kullanılan bir malzemedir. Bu çalışmada; ETİKROM Yıldırım Holding'den sağlanan, yaklaşık %52 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenörlü kromit konsantresi, redükleyici olarak kok tozu ve flaks malzemesi olarak Ca(OH)<sub>2</sub>, peletleri oluşturan taneciklerin birbirine bağlanmasını sağlayan karboksi metil selüloz (CMC) kullanılarak elde edilen kromit peletlerinin, elektrik ark fırınlarına beslenmeden önce ön redüksiyon işlemi için gerekli mukavemete sahip olması amacıyla, kompozit pelet üretiminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Deneylerde; konsantreye önce sadece %0,5, %1 ve %2 oranlarında CMC ilave edilmiş ve üretilen peletlerin yaş pelet düşme sayısı ile kuru mukavemet değerlerine bakılmıştır. Buna göre; CMC oranının artmasıyla, mukavemet ve yaş pelet düşme sayısının arttığı gözlenmiş, %2 CMC ilave edilen peletlerin 90 dakika, 200°C sıcaklıkta bekletilmeleri sonucu 39,36 kg-kuvvet/Pelet (386 N/Pelet) kuru mukavemet değerinin elde edildiği görülmüştür. %2 CMC ilave edilerek üretilen peletlerini yaş pelet düşme sayılarının 23-27 düşme/45 cm arasında değiştiği gözlenmiştir. %2 CMC, %20 kok tozu ve %4 Ca(OH)<sub>2</sub> ilave edilerek üretilen kompozit peletlerin mukavemet değerlerinin, 73,9 kg-kuvvet/Pelet (725 N/Pelet) kuru mukavemet değerine sahip oldukları tespit edildi. Elde edilen bu mukavemet değerleri, soğukta sertleşen pelet mukavemet standartlarının (250-300 N/Pelet) üzerinde bir değerdir.

**Anahtar kelimeler:** Soğukta Sertleşen Pelet, Kromit, CMC, Kuru Pelet Mukavemeti.

---

## **The Effect of Using CMC as a Binder on the Strength of Cold Bonded Composite Pellets Produced from Chromite Concentrates**

---

### **Abstract**

The word composite pellet or briquette is a term generally used for pellets or briquettes containing powder ore or concentrate, slag maker, and solid reducing agent (coal, coke, etc.). After these are produced, they are pellets that have been strengthened at low temperatures (25-300°C) for the next stages. These pellets or briquettes are materials which was used for sponge iron production processes, one of the alternative iron and steel production methods. This study; as using Chromite concentrate with approximately 52% Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grade supplied from ETİKROM Yıldırım Holding, coke powder as reducing agent and Ca (OH)<sub>2</sub> as slag maker, and carboxy methyl cellulose (CMC) that has contributed bonding the chromite particles to each other to form were aimed to produce chromite pellets to which have strength necessary in order to pre-reduction before feeding to electric arc furnace. In the experiments; first, only at the rate of 0.5%, 1% and 2% CMC was added to the concentrate and the wet pellet fall number and dry strength values of the produced pellets were examined. According to this; As the CMC ratio increased, it was observed that the dry strength of pellets and wet pellet falling number increased base on ratio of CMC, and the dry strength of pellets in which added 2% CMC and dried at 200°C for 90 minutes was obtained 39.36 kg-force/Pellet (386 N / Pellet). It was observed that the number of wet pellet falling of pellets produced by adding 2% CMC varied between 23-27 drops / 45 cm. It was determined that the strength values of composite pellets produced by adding 2% CMC, 20% coke powder and 4% Ca (OH)<sub>2</sub> had 73.9 kg-force / Pellet (725 N / Pellet) dry strength value. The values of strength obtained are higher than the cold hardening pellet strength standards (250-300 N/Pellet).

**Keywords:** Cold-Hardening Pellet, Chromite, CMC, Dry Pellet Strength.

---

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

Geliş Tarihi: 31.01.2021, Kabul Tarihi: 01.04.2021

## 1. Giriş

Kromit minerali, metalik kromun, krom bileşiklerinin ve kimyasallarının tek bilinen minerali olup, spinel grubuna ait bir oksit mineralidir. Kromit yatağına bağlı olarak değişen oranlarda magnezyum, demir, alüminyum ve krom içermekte ve  $FeCr_2O_4$  veya  $(Fe^{2+}, Mg) [Cr, Al, Fe^{3+}]_2O_4$  şeklinde gösterilmektedir. Kafesteki toplam ve nispi Cr ve Fe miktarlarında büyük farklılıklar, kromit yataklarının farklı jeolojik ve coğrafi dağılımına bağlı olarak meydana gelir[1-4]. Dünyada üretilen kromit cevherinin % 90'ından fazlası metalurji sanayiinde ferrokrom (FeCr) üretiminde, üretilen ferrokrom (FeCr)'unda yaklaşık % 90'ı paslanmaz çelik sektöründe kullanılmaktadır. Bu nedenle uluslararası piyasalarda krom cevheri genellikle metalurjik özelliğine göre alınıp satılmaktadır.

Türkiye dünya kromit madenciliğinde %6 paya ve 25 milyon ton rezerve sahiptir [5]. Türkiye'de kromit talebi daha çok metalurjik tip cevherlerle karşılanmaktadır. Kromit cevheri, birincil maden ihracatında Türkiye'nin başlıca gelir kaynaklarından biridir. Üretilen kromit cevheri en çok demir-çelik (yaklaşık% 85) ve kimya endüstrisi (yaklaşık% 15) tarafından tüketilmektedir [4].

Cevherlerin veya konsantrelerin peletlenmesi anlamı bir taraftan ince taneciklerin su, gerektiği takdirde bağlayıcı madde ile topaklanarak küresel bir şekil almalarını diğer taraftan bu yaş peletlerin termik sertleştirme işlemini kapsar. Cevherin veya konsantrelerin peletlenebilmeleri için tane büyüklüklerinin, % 50-80' nin 0,045 mm (325 mesh)' nin altında olması istenir. İnce taneli cevherlerin topaklanarak küresel bir şekil almaları tambur, tabla veya kesik konilerde olur [7].

Soğuk bağlı peletler 250-300 N/Pelet basınç dayanımına, 7-10 kere/1 m düşme dayanımına, %98'in üzerinde aşınma direncine (+3 mm) sahiptir. Soğuk bağlı peletlerin porozitesi genellikle %21-23 olup yüksek sıcaklıklarda (1200-1300°C) pişirilen peletlerden belirgin bir şekilde büyüktür. Soğuk bağlı peletler her ne kadar diğerine göre daha düşük mekanik dayanıma sahip olsalar bile indirgenme davranışları (indirgenebilirlik, şişme oranı) oksitli ortamda pişirilen peletlere oranla daha üstündür. Soğuk bağlı peletlerin mükemmel bir tarzda indirgenebilmeleri onların büyük porozitelerine bağlıdır [8-9].

Kompozit pelet terimi genellikle ince cevher veya konsantre, flaks ve karbonlu madde (kömür, kok, odun kömürü) içeren peletler için kullanılır. Bunlar, oda sıcaklığı veya civarında taşınması için yeterli mukavemet kazandırılmış peletlerdir. Reaksiyon hızlarından dolayı kompozit peletlerin kullanılabilmesi için iki temel özelliğe dikkat etmek gerekmektedir. Bunlardan ilki pelete olan ısı transferine bağlıdır. İkincisi de karbonlu peletlerin pişirilememesinden dolayı ya soğuk bağlı olarak kullanılması ya da redüksiyon prosesi esnasında peletlerin üzerine hiçbir yükün binmemesi sağlanmasıdır. Soğuk bağlı peletler portland çimentosu veya yüksek fırın cürufu ve kireç karışımı ile karıştırılıp kurutulabilir [10]. Kompozit peletler genellikle demir tanesi üretim prosesleri için kullanılan bir malzemedir.

Bu çalışmada, alternatif demir çelik üretiminde kullanılan peletleme proseslerine benzer bir şekilde, kromit konsantresi, kok tozu ve flaks kullanılarak soğukta sertleştirilmiş kompozit pelet üretiminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmalarda, Elazığ-Kovancılar ilçesinde bulunan ETİKROM Yıldırım Holding'den temin edilen kromit konsantresi ve kok tozu, piyasadan satın alma yoluyla temin edilen  $Ca(OH)_2$  ve bağlayıcı olarak da yine satın alma yoluyla temin edilmiş olan sodyum karboksi metil selüloz (CMC) kullanılarak soğukta sertleşebilen kompozit peletlerin üretilmesi hedeflenmiştir.

DeneySEL çalışmalarda pelet üretimi aşamasında bağlayıcı olarak kullanılan CMC, %99,5 saflıkta olup, teknik CMC ve etil alkolün ekstraksiyonundan türetilir. Krem rengi toz olup, suda kolayca çözünebilen yarı sentetik polimer bir malzemedir (Şekil 1) [11].

Soğukta sertleşen kompozit pelet üretmek için, özel kompozisyonlar halinde hesaplanan miktarlarda hazırlanan malzemeler ve bağlayıcı, pelet kekinin içine ilave edilmiş, hazırlanan bu harman cevherle birlikte cam bir kavanoz içinde, özel aparatlı bir mikser yardımıyla 10 dakika karıştırılmıştır. Hazırlanan karışımın küresel pelet formunu alışı, Şekil 2'de gösterilen laboratuvar ölçekli peletleme cihazında gerçekleştirilmiştir. Peletleme cihazı 35 cm çapında yatayla 45°'lik açı yapan, hız ve titreşim kontrollü bir cihazdır. Yaklaşık 1-1,5 kg malzeme alabilen titreşimli bir haznesi mevcuttur. Yaş pelet ölçümlerinin kolayca yapılabilmesi için cihaz çelik bir plaka üzerine monte edilmiştir. Pelet üretimi için,

önce diskin yüzeyine su püskürtülerek disk yüzeyi nemlendirilmiş, daha sonra titreşim cihazı çalıştırılarak toz malzemenin yavaş yavaş diskin yüzeyine yapışması sağlanmıştır. Disk yüzeyi tamamen malzemeyle kaplandıktan sonra pelet çekirdeklerinin oluşumu ve büyümesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Pelet tamburunun dönme hızı, besleyicinin besleme hızı ve süresi hazırlık aşamalarında yapılan çeşitli deneyler sonucunda belirlenmiştir. Oluşan çekirdekler su ile hafifçe nemlendirilerek daha büyük çapta peletlerin oluşumu sağlanmıştır. Peletleme tamburunda boyutu büyüyen peletler belirli sürelerde tamburdan alınarak yaklaşık 11-13 mm çaplı peletler gerekli testler için ayrılmıştır. Topaklama tambur ya da disklerinden elde edilen ham peletin, ısıl işlemin uygulanacağı bölgeye kadar taşınması sırasında kırılmaması için gerekli dayanımda olup olmadığının kontrolü için yapılan teste, yaş pelet düşme sayısı adı verilir. En az 10 adet ham pelet alınıp çatlayıncaya kadar 45 cm'den çelik bir plaka üzerine serbest halde bırakılarak, yaş pelet düşme sayısı belirlenmiştir. Fiziksel testlerde önce yaş peletler üzerinde yaş pelet düşme sayısı testleri yapılmıştır.



Şekil 1. Karboksi Metil Selülöz [11]



Şekil 2. Laboratuvar ölçekli peletleme diski



Şekil 3. Çekirdeklerin oluşumu ve büyümesi

Disk üzerinden alınan 11-14 mm çaplı peletlerin sertleştirme işlemleri sirkülasyonlu bir etüvde 100, 150, 200 ve 250°C sıcaklıklarda 30, 60, 90 ve 120 dakika süre yapılmıştır. Kurutulan peletlerin mukavemeti, Şekil 4'de gösterilen hidrolik basma cihazında gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, peletin kırıldığı andaki yükü kaydedebilen bir cihazdır.





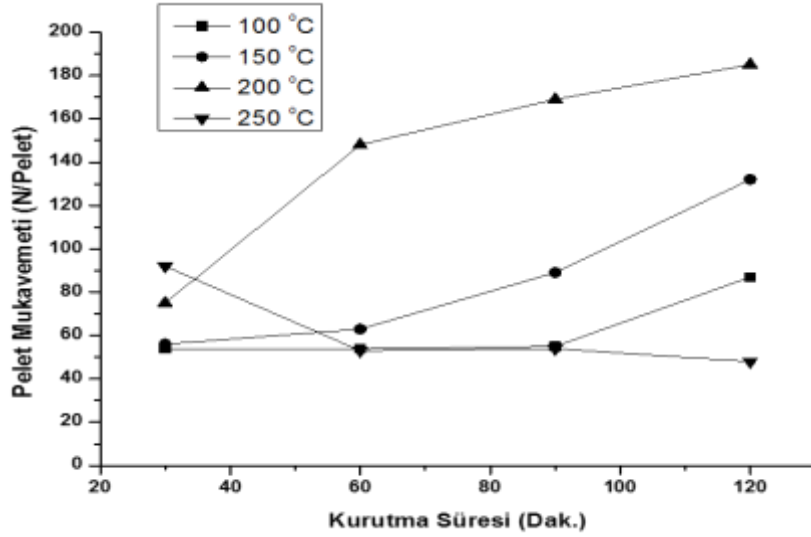
Şekil 4. Basma mukavemeti ölçüm cihazı.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Deneylere başlamadan önce kromit cevheri, bağlayıcı (CMC) ilave edilmeksizin, bir karıştırıcı içine konularak yaklaşık 5 dakika kadar karıştırılıp, topaklaşmaların oluşması önlenmiş; ardından cevher içine ilave edilen bağlayıcı ile birlikte 10 dakika daha iyice karıştırılmıştır. Deneylerde konsantreye sadece %0,5, %1 ve %2 oranlarında CMC ilavesi yapılarak pelet özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneylerde CMC oranı arttıkça mukavemet ve ham pelet düşme sayısının arttığı gözlenmiştir. Tablo 1’de %0,5 CMC, Tablo 2’de %1 CMC ve Tablo 3’de ise %2 CMC ilave edilerek üretilen kromit peletlerinin, kuru mukavemet değerlerindeki değişimler verilmektedir. Bu peletlerin kurutma sıcaklığına ve süresine bağlı olarak pelet mukavemetinde meydana gelen değişim grafikleri ise sırasıyla Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7’de verilmiştir.

**Tablo 1.** %0,5 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin farklı sıcaklık ve sürelerde kurutulmaları sonucu kuru mukavemet değerleri.

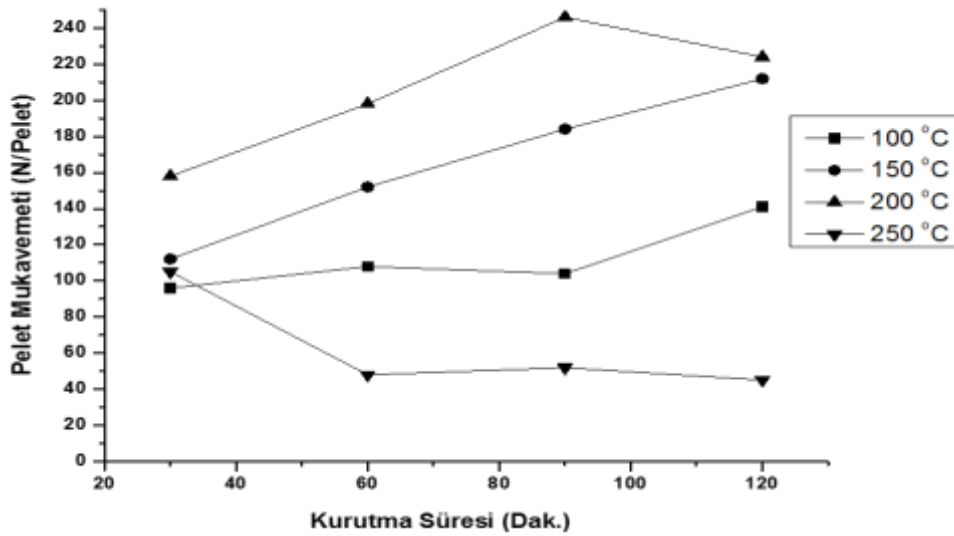
Bağlayıcı Miktarı (%)	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)
0,5	100	30	54	200	30	75
		60	54		60	148
		90	55		90	169
		120	87		120	185
	150	30	56	250	30	92
		60	63		60	53
		90	89		90	54
		120	132		120	48



Şekil 5. %0,5 CMC ilave edilerek üretilen kromit peletlerinin sıcaklık ve süreye bağlı kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Tablo 2. %1 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin farklı sıcaklık ve sürelerde kurutulmaları sonucu kuru mukavemet değerleri.

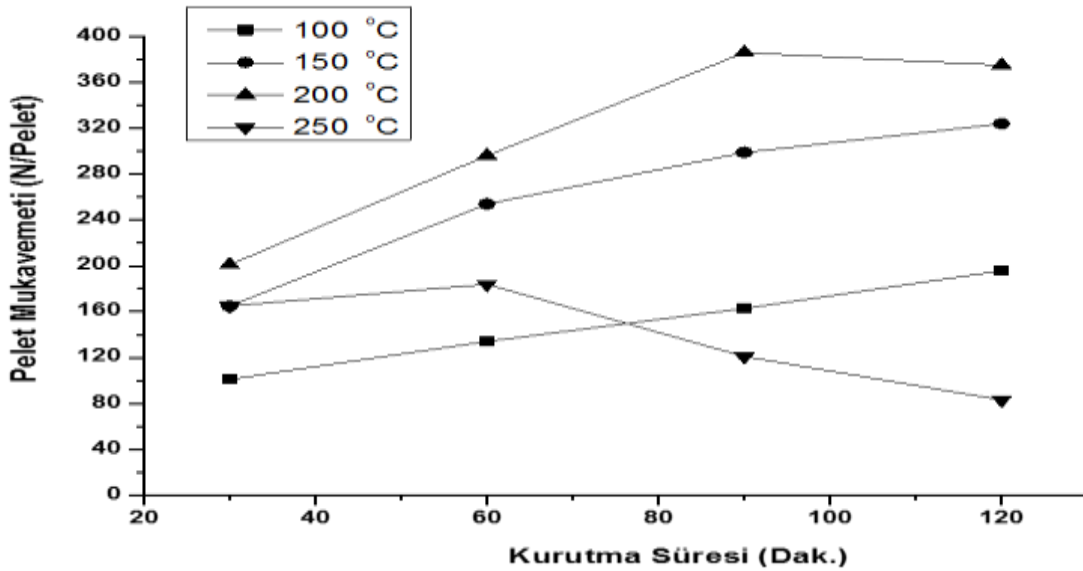
Bağlayıcı Miktarı (%)	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)
1	100	30	96	200	30	158
		60	108		60	198
		90	104		<b>90</b>	<b>246</b>
		120	141		120	224
	150	30	112	250	30	105
		60	152		60	48
		90	184		90	52
		120	212		120	45



Şekil 6. %1 CMC ilave edilerek üretilen kromit peletlerinin sıcaklık ve süreye bağlı kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

**Tablo 3.** %2 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin farklı sıcaklık ve sürelerde kurutulmaları sonucu kuru mukavemet değerleri.

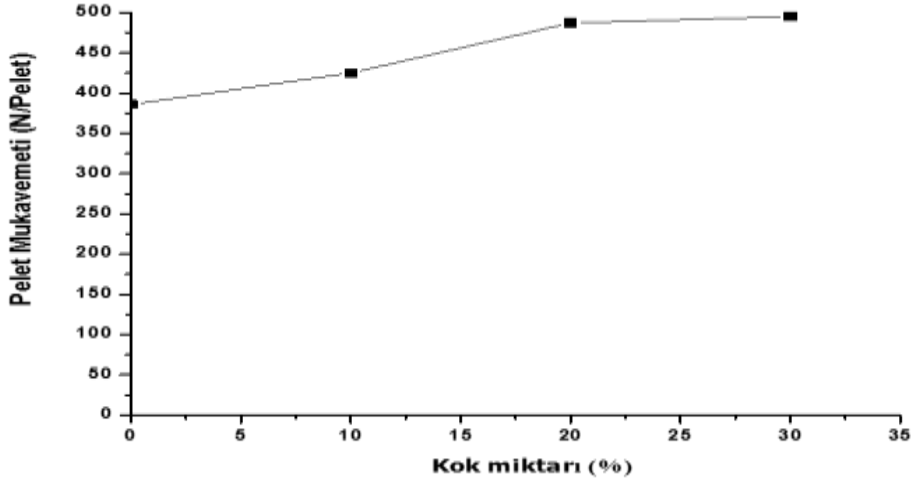
Bağlayıcı Miktarı (%)	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)
2	100	30	101	200	30	201
		60	134		60	296
		90	163		90	386
		120	196		120	375
	150	30	165	250	30	165
		60	254		60	184
		90	299		90	121
		120	324		120	83

**Şekil 7.** %2 CMC ilave edilerek üretilen kromit peletlerinin sıcaklık ve süreye bağlı kuru mukavemet değerlerindeki değişim.

Yapılan deneyler sonucu, ilave edilen CMC miktarına bağlı olarak yaş pelet düşürme sayısının da arttığı belirlenmiştir. %0,5 CMC ilavesiyle yaş pelet düşürme sayısı 5-8 düşme/45 cm arasında değişirken, %2 CMC ilave edilen peletlerin yaş pelet düşürme sayılarının 23-27 düşme/45 cm olduğu tespit edilmiştir. Kurutma işlemine tabi tutulan peletlerin kuru mukavemet değerleri de aynı şekilde CMC miktarına bağlı olarak arttığı görüldü. Ancak 250°C' de yapılan kurutma işleminde kuru mukavemet değerinde ani bir düşüşün olduğu görülmüştür. Organik malzemelerin 220°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bozunduğu ve bağlayıcılık vasfını yitirdiği hakkında literatürde yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [10]. CMC'nin organik bir malzeme olmasından dolayı 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda bozunduğu ve bu nedenle kuru mukavemet değerlerinde bir düşüş olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Kurutma işlemlerinde en yüksek mukavemet değeri %2 CMC ilave edilerek üretilen peletlerin 200°C sıcaklıkta 90 dakika kurutulmaları sonucu elde edilmiştir. Bu şartlarda üretilen peletlerin 386 N/Pelet mukavemet değerine sahip oldukları, bu mukavemet değerinin ise standartların üzerinde bir mukavemet değeri olduğu belirlenmiştir. En yüksek mukavemet değerinin elde edildiği %2 CMC miktarı, kurutma sıcaklığı (200°C) ve kurutma süresi sabit olarak belirlenip, kromit konsantrisine farklı oranlarda kok ilave edilerek kompozit pelet üretimi gerçekleştirilmiştir. Burada amaç, kendinden redüklenebilen kromit peletlerini üretmektir. Tablo 4 ve Şekil 8'de ilave edilen kok miktarına bağlı olarak pelet mukavemetindeki değişim değerleri ve grafiği verilmiştir.

**Tablo 4.** %2 CMC'nin yanı sıra farklı oranlarda kok ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerleri.

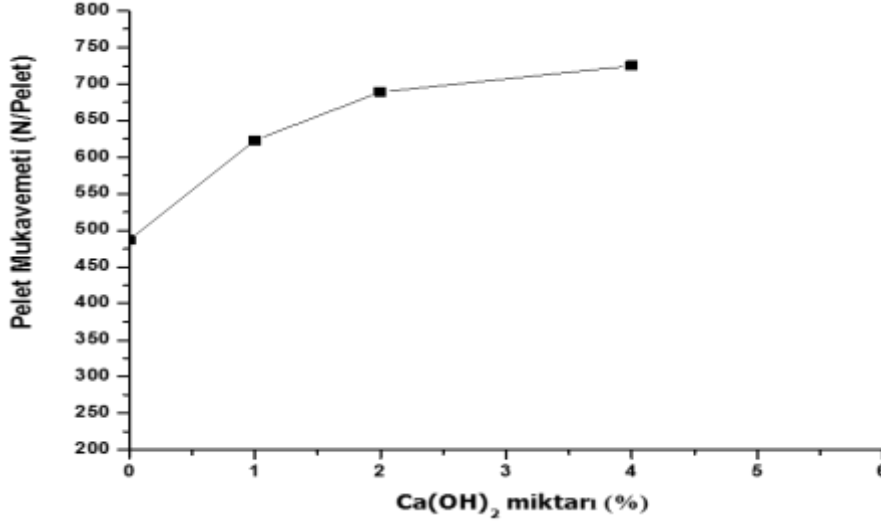
Bağlayıcı Miktarı (%)	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	İlave Edilen Kok Miktarı (%)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)
2	200	90	0	386
			10	425
			20	487
			30	495

**Şekil 8.** %2 CMC'nin yanı sıra farklı oranlarda kok ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim (T=200°C, t=90 dak.).

Tablo 5 ve Şekil 9'dan görülebileceği gibi kok oranının artmasıyla mukavemet değerlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Bu durum, kok bünyesinde bulunan ve kül diye adlandırılan bileşiklerin, bağlayıcılık vasıflarının da olduğu, ilave edilen CMC ile birlikte bu bileşiklerin kuru mukavemet değerlerine katkıda bulunduğu düşüncesini akla getirmektedir. Sonuçta kül denilen malzemenin bünyesinde,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $CaCO_3$  gibi bileşikler başta olmak üzere birçok inorganik bileşik bulunmaktadır. Çalışmalar esnasında, %30 kok ilave edilen peletlerde kok bünyesinde bulunan çok ince tane boyutlu tozlar pelet yüzeyini kaplamıştır. Bu nedenle %20 kok, %2 CMC, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi gibi parametreler sabit olarak alınmış, karşımın içerisine farklı oranlarda  $Ca(OH)_2$  ilavesi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 5 ve Şekil 9'da verilmiştir.

**Tablo 5.** % 2 CMC ve %20 kok'un yanı sıra farklı oranlarda  $Ca(OH)_2$  ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerleri.

Bağlayıcı Miktarı (%)	Kurutma Sıcaklığı (°C)	Kurutma Süresi (dakika)	İlave Edilen Kok Miktarı (%)	İlave Edilen $Ca(OH)_2$ Miktarı (%)	Ortalama Basma Dayanımı (N/pelet)
2	200	90	20	0	487
				1	623
				2	689
				4	725

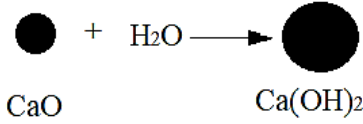


Şekil 9. %2 CMC ve %20 kok'un yanı sıra farklı oranlarda Ca(OH)<sub>2</sub> ilave edilerek üretilen peletlerin kuru mukavemet değerlerindeki değişim (T=200°C, t=90 dak.).

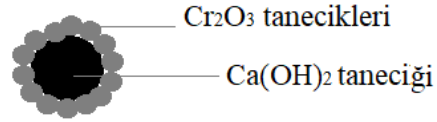
Tablo 5 ve Şekil 9 birlikte incelendiğinde, artan Ca(OH)<sub>2</sub> oranının kuru pelet mukavemetinde 725 N/Pelet (≈ 72,4Kg/Pelet) gibi bir değer elde edildiği görülmüştür. Bu peletlerin yaş pelet düşürme sayıları 25-28 arasında değiştiği görülmüştür. Ca(OH)<sub>2</sub> 'in sıcak pişirilmiş peletler de tek başına bağlayıcılık görevi yaptığı birçok çalışmada belirtilmiştir [12,13]. Ancak burada soğukta sertleştirilen kompozit pelet üretimi gerçekleştirilmiş ve standartların üzerinde bir mukavemet değeri elde edilmiştir.

Ca(OH)<sub>2</sub> sönmemiş kirecin (CaO)'in, (rx-1)'e göre suyla reaksiyonu sonucu oluşur [14].  

$$\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 \quad (\text{rx-1})$$



(a) CaO taneciğinin su ile reaksiyona girerek hacimce büyüyerek Ca(OH)<sub>2</sub>'ye dönüşümü



(b) Ca(OH)<sub>2</sub> taneciğinin suyunda etkisiyle Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> taneciklerini etrafında toplaması

Şekil 10. CaO taneciğinin H<sub>2</sub>O ile reaksiyona girerek Ca(OH)<sub>2</sub> oluşturması (a) ve Ca(OH)<sub>2</sub>'nin Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerini etrafında toplayarak pelet oluşturması (b).

Sönmemiş kirecin hidrate olması, bünyesine suyu alarak hacimce genişlemesi demektir. Hacimce genişlemiş olan Ca(OH)<sub>2</sub> tanecikleri, CMC ve kok bünyesinde bulunan inorganik bileşiklerle birlikte etrafında kromit taneciklerini toplayarak Şekil 10'da temsili olarak gösterilen mekanizmaya benzer şekilde, kromit taneciklerinin bir araya gelerek topaklanmasını sağlayacaktır. CaO taneciğinin H<sub>2</sub>O ile reaksiyona girerek Ca(OH)<sub>2</sub> oluşturması ve Ca(OH)<sub>2</sub>'nin Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partiküllerini etrafında toplayarak, kartopunun büyüme mekanizmasına benzer bir şekilde büyümesi sonucu peletlerin kuru ve yaş mukavemet değerlerinde standartların üzerinde bir değer elde edilmesi beklenen bir durum olmaktadır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, FASTMET ve ITMK3 Prosesinde kullanılan peletlerin üretimine benzer bir şekilde demir cevherleri yerine kromit cevherleri kullanılarak, soğukta sertleşebilen kompozit pelet üretiminin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Deneylerde Elazığ Kovancılar ilçesinde bulunan ETİKROM Yıldırım holding tesislerinden temin edilen -75 mikron boyutuna getirilen %52 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren

kromit konsantresi kullanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak, sodyum karboksi metil selüloz (CMC) ve  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  kullanılmıştır. Ayrıca, kendinden redüklenebilen peletler üretebilmek için de yine cevherle aynı boyuta getirilen (-75 mikron) kok kömürü kullanılmıştır. Peletlemede kullanılan bağlayıcı miktarı, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi gibi özellikler optimize edilerek en uygun parametreler belirlenmiştir. Bağlayıcı önce tek başına, sonra kok kömürü ilave edilerek ve en sonunda başka bir bağlayıcı ve flaks görevi yapabilecek olan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ile farklı oranlarda karıştırılarak peletler üretilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Karboksi Metil Selülozun (CMC) kromit cevherlerinin peletlenmesinde kullanılabilirliğini incelemek amacıyla önce sadece %0,5, %1 ve %2 oranlarında CMC ilave edilerek peletler üretilmiş, buradan alınan en yüksek mukavemet değerine göre belirlenen CMC miktarı, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi sabit tutularak, cevherle beraber %,10, %20 ve %30 oranlarında kok karıştırılıp tekrar mukavemet değerlerine bakılmıştır. Kok oranının artmasıyla mukavemet değerlerinde bir artış olduğu görülmüştür. Bu durum, kok bünyesinde kül diye adlandırılan ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaCO}_3$  gibi bileşikler başta olmak üzere birçok inorganik bileşiklerinde, CMC ile birlikte kuru mukavemet değerlerine katkıda bulunduğu düşüncesini akla getirmiştir. %30 kok ilavesi ile üretilen peletlerde, kok bünyesinde bulunan çok ince tane boyutlu tozların pelet yüzeyini kapladığı görülmüştür.
- %20 kok, %2 CMC, kurutma sıcaklığı ve kurutma süresi gibi parametreler sabit olarak alınmış, karışımın içerisine farklı oranlarda  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ilavesi yapılmış ve kuru mukavemet değerlerinin ilave edilen  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  oranına bağlı olarak arttığı ve %4  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ilave edilen peletlerin kuru mukavemet değerlerinin 725 N/Pelet gibi yüksek bir değere ulaştığı görülmüştür.
- Bu sonuçlara göre, %2 CMC, %20 kok ve %4  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ilave edilerek üretilen peletlerin 200 °C sıcaklıkta 90 dakika kurutulmaları sonucu elde edilen 725 N/Pelet mukavemet değeri soğukta sertleşen pelet standartlarının çok üzerinde bir değer olup, kromit cevher ve konsantrelerinin peletlenmesinde kullanılabilirlik vasıflara sahip olduğu ortaya konulmuştur. Bu peletlerin ham pelet düşme sayılarının 25-28 düşme/45cm olduğu tespit edilmiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) yönetim birimi (Proje No: TEKF.19.13) tarafından desteklenmiştir.

## Yazarların Katkısı

Uğur ÇALIGÜLÜ Yüksek lisans tez danışmanı olup, tez ve yayın sürecini yönetmiştir. Mustafa BOYRAZLI tezin deneysel çalışmalarını ve yayın sürecini yönetmiştir. Selçuk KARATAŞ: çalışmanın mikroyapı ve mekanik analizlerini yönetmiştir. Ercan ÇAKIR Yüksek lisans tez öğrencisi olup, tezin deneysel çalışmalarını ve yayın sürecini yönetmiştir. Ali KESKİN kromit cevherinin teminini sağlamış olup, peletleme işlem sürecini yönetmiştir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Apaydın F., Atasoy A., Yıldız K. 2011. Mekanik aktive edilmiş kromitin grafitle karbotermal redüksiyon kinetiği. SAÜ Fen Bilimleri Dergisi, 15 (1): 17-22.
- [2] Yarkadas G., Yıldız K. 2009. Effects of mechanical activation on the soda roasting of chromite. Can. Metal. Quarterly, 48 (1): 69-72.

- [3] Murthy Y.R., Tripathy S.K., Kumar C.R. 2011. Chrome ore beneficiation challenges & opportunities a review. *Minerals Engineering*, 24 (5): 375e380.
- [4] Yalcin S. 2003. Modelling Chromium Leaching From Chromite Ore Processing Waste. The Degree of Master of Science, the Department of Environmental Engineering, the Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University.
- [5] Uyanik T. 2010. Mining, Export Promotion Center of Turkey, 9 p. Available at: [http://www.fenimining.com/upload/dosyalar/m\\_rapor\\_1359493103.pdf](http://www.fenimining.com/upload/dosyalar/m_rapor_1359493103.pdf) (Access Date: 10.07.2015).
- [6] Boyrazlı M., Öztürk E.A., Benkli Y.E., Çizmecioğlu Z. 2015 Soğukta Sertleşen Pelet Üretiminde Pelet Mukavemetine Na-Bentonit ve Organik Bağlayıcıların Etkilerinin Karşılaştırılması. *Metal Dünyası Dergisi Sayı*, Nisan: 262.
- [7] Benkli Y.E. 2008. Soğukta Sertleşen Kompozit Peletlerin Yarı Ergitme Şartlarında İndirgenmesinin Araştırılması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Mourao M., Takano C. 2003. Self-Reducing Pellets for Ironmaking Mechanical Behavior. *Mineral Processing & Extractive Metall. Rev.*, 24: 233-252.
- [9] Benkli Y.E., Boyrazlı M., Senoz G.M.L., Cizmecioglu Z. 2018. Investigation of reduction of magnetite based carbon composite pellets under semi-fusion conditions. *Physicochem. Probl. Miner. Process.*, 54 (3): 621-628.
- [10] Benkli Y.E., Boyrazlı M., Avdallar V., Çizmecioğlu Z., Artır R. 2008. Organik Esaslı Bağlayıcı ile Soğukta Sertleşen Kompozit Pelet Üretiminin Araştırılması. 14. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Ekim 2008, İstanbul.
- [11] <https://akbelkimya.com.tr/cmc-karboksimetil-seluloz-196-urun> (Erişim Tarihi: 15.03.2021).
- [12] Boyrazlı M. 2008. Demir Cevherleri İçerisindeki Safsızlıkların Olumsuz etkilerinin Giderilme Yollarının Araştırılması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Boyrazlı M., Artır R., Çizmecioğlu Z. 2006. Divriği Manyetit Konsantrasyonu ile Üretilen Küresel Peletlerde Klorlayıcı Buharlaştırma Yönteminin Alkali Giderimine ve Pelet Mukavemetine Etkisinin Araştırılması. 13. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, Kasım 2006, İstanbul
- [14] [https://en.wikipedia.org/wiki/Calcium\\_hydroxide](https://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_hydroxide) (Erişim Tarihi: 15.03.2021).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Zeytin Çekirdeği Tozu İlave Edilmiş Polipropilen Kompozitinin Aşınma ve Fiziksel Özellikleri**

Münir TAŞDEMİR<sup>1\*</sup>, Alim KAŞTAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği. Bölümü, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Organize Sanayi Bölgesi Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Antalya, 07190, Türkiye  
(ORCID: 0000-0001-8635-7251) (ORCID: 0000-0002-6514-3796)

---

### **Öz**

Bu çalışmada; toz haline getirilmiş zeytin çekirdeği tozları polipropilen (PP) polimeri içerisine %5-10-15 ve 20 oranında katılarak çift vidalı ekstrüzyon makinesinde karıştırılarak dört farklı kompozit malzeme üretilmiştir. Polipropilen ve zeytin çekirdeği tozları arasındaki uyumluluğu artırmak için kompozite %5 oranında maleik anhidrit aşılanmış polipropilen (MA-g-PP) eklenmiştir. Daha sonra granül halindeki kompozit malzemeler enjeksiyon kalıplama yöntemi ile kalıplanarak standart test numuneleri basılmıştır. Kompozitin çeşitli fiziksel ve aşınma özellikleri hakkında bilgi edinmek için Vicat yumuşama sıcaklığı, ısı çarpılma sıcaklığı, nem emme oranı, erime akış indeksi, oksijen indeksi ve aşınma testleri yapılmıştır. Ayrıca zeytin çekirdeği tozlarının matris içerisinde dağılımlarını görmek için darbe testleri sonucundan elde edilen kırık yüzeylerden taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ile fotoğrafları çekilmiştir. Yapılan testlerin sonuçlarına göre, matris içerisinde zeytin çekirdeği toz (ZÇT) oranının artmasıyla; Vicat yumuşama sıcaklığı, ısı çarpılma sıcaklığı, nem emme mikrarı ve aşınma oranı değerlerinin yükseldiği buna karşılık erime akış indeksi ve oksijen indeksi değerlerinin ise düştüğü tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen, biyo kompozit, zeytin çekirdeği tozu, fiziksel özellikler, aşınma oranı, maleik anhidrit.

---

## **Wear and Mechanical Properties of Olive Pit Powder Added Polypropylene Composite**

---

### **Abstract**

In this study, powdered olive pits were added to polypropylene at a rate of 5-10-15 and 20%, and four different polymer composite materials with olive pits were produced by twin screw extruder. 5% maleic anhydride grafted polypropylene (MA-g-PP) was added to the composite to increase the compatibility of polypropylene and olive pits. Later, the granular composite material was molded by injection molding method and standard test samples were molded. In order to learn about the physical and wear properties of the composite, Vicat softening point, heat deflection temperature, moisture content, melt flow index, limit oxygen index and wear tests were performed. In addition, in order to see the distribution of olive pit powders in the matrix, photographs of the broken surface were taken with scanning electron microscopy. According to the results of the tests, with the increase of olive pits powder ratios in the matrix; It was determined that the Vicat softening point, heat deflection temperature, moisture content and wear rate values increased while the melt flow index and limit oxygen index values decreased.

**Keywords:** Polypropylene, bio composites, olive pit powder, physical properties, wear rate, maleic anhydride.

---

### **1. Giriş**

Akdeniz bölgesinde dünya zeytinyağı üretiminin yaklaşık %95'ini İspanya, Yunanistan, İtalya, Tunus ve Türkiye yapmaktadır [1]. Zeytinyağı çıkarma işleminden sonra, zeytin meyvesinin ağırlığının %30-35 civarında katı lignoselülozik atık ortaya çıkar. Bu atıkların kimyasal bileşimi; esas olarak lignin, hemiselüloz ve selülozdan oluşmaktadır. Zeytin atığı diğer birçok kullanımının yanı sıra dolgu malzemesi olarak kullanımı da büyüyen bir potansiyele sahiptir. Lignoselülozik bazlı bu malzemeler ucuz, sert ve düşük yoğunluklu malzemelerdir. Polipropilenin aksine zeytin çekirdeği gibi lignoselülozik malzemelerin üzerindeki polar grupların olması nedeniyle bu malzemeler nemi kolayca emer. Yani

---

\*Sorumlu yazar: [munir@marmara.edu.tr](mailto:munir@marmara.edu.tr)

Geliş Tarihi: 07.02.2021, Kabul Tarihi: 09.04.2021



polipropilen apolarken zeytin çekirdeği polardır. Bu yüzden uyumsuzdurlar ve uyumlu hale getirilmeleri gerekmektedir. Bu durumda sisteme yüzey modifikasyonunu artıran uyumluluk maddeleri eklenmektedir. Böylelikle matris ve dolgu yüzeyi arasında bir yapışma sağlanır [2-6]. Literatürde zeytin çekirdeği tozları ile yapılmış çalışmalar mevcuttur fakat aşınma davranışları üzerine pek çalışma yoktur. Kılıçaslan [7] yapmış olduğu bir çalışmada zeytin sıkma işleminden sonra arta kalan zeytin pirinasının polyester matrisli kompozitlerde kullanımını araştırmıştır. Çalışmasında polyester içerisine %30-60 arasında zeytin pirinası eklemiştir. Saf polyester ve elde ettiği kompozit malzemelerin mekanik değerlerini karşılaştırmıştır. Çalışmasının sonucunda polyester içindeki zeytin çekirdeği oranının artması ile elastiklik modülü ve akma gerilmesinin azaldığını rapor etmiştir. Taşdemir [8] ise bir çalışmada polipropilen içerisine zeytin çekirdeği ve badem kabuğu tozlarını katarak elde ettiği polimer kompozitinin özelliklerini incelemiştir. Elde ettiği polimer kompozitinde zeytin çekirdeği ve badem kabuğu tozlarının oranının artmasıyla su emme miktarının, ısıl çarpılma sıcaklığının ve Vicat yumuşama sıcaklığının arttığını çalışmada rapor etmiştir. Bunlara ek olarak sürtünme katsayısının ve aşınma oranının da artan zeytin çekirdeği ve badem kabukları ile arttığını tespit etmiştir. Koutsomitopoulou ve arkadaşlarının [9] yapmış oldukları bir çalışmada polilaktik asit içerisine zeytin çekirdeği tozları katarak bir polimer kompoziti üretmişlerdir. Elde ettikleri polimer kompozitinin biyolojik olarak bozulabilir bir ürün olduğunu belirlemişlerdir. Aynı zamanda zeytin çekirdeğinin oranının artmasıyla polimer kompozitinde fiziksel ve mekanik değerlerin nasıl değiştiğini de belirlemişlerdir. Djidjelli ve arkadaşları ise [10], polivinil klorür içerisine %5-15-25 oranlarında zeytin çekirdeği katarak elde ettikleri polimer kompozitlerinin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Zeytin çekirdeklerinin yaklaşık 100 µm olacak şekilde öğütüp bir kısmına kimyasal işlem uygulamadan bir kısmına ise benzil klorür kullanarak kimyasal işleme tabi tutmuşlardır. Çekme testleri sonucunda kimyasal işlem gören ve görmeyen zeytin çekirdeği katkılı kompozitlerin oranının artmasıyla saf polivinil klorüre oranla daha düşük uzama ve çekme mukavemeti değeri verdiklerini belirlemişlerdir. Aynı zamanda benzil klorür ile yapılan kimyasal işlemin mekanik değerlerde çok fazla etkisinin olmadığını da belirlemişlerdir. Gümüş ve arkadaşlarının [11] yapmış oldukları bir çalışmada ise zeytin çekirdeği dolgulu polipropilenin dinamik mekanik özelliklerini incelemişler ve artan zeytin çekirdeği oranı ile bazı mekanik ve ısıl özelliklerin iyileştiğini çalışmalarında rapor etmişlerdir. Aynı zamanda atık zeytin çekirdeği tozlarının odun plastik kompozitlerinde (wood polymer composites- WPC) bir dolgu maddesi olarak kullanımının olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrılmış ve arkadaşlarının [12] yapmış oldukları bir çalışmada, polipropilen içerisine selüloz bazlı ürün olan odun talaşı ve zeytin küspelerini katarak bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Matris ve dolgu maddeleri arasındaki uyumluluğu arttırmak için ise matrise maleik anhidrit ile aşılınmış polipropilen (MA-g-PP) ilave etmişlerdir. Elde ettikleri polimer kompozitinin su direncinde ve eğilme özelliklerinde önemli bir değişimin olmadığını ve uyumluluk maddesinin eğilme dayanımında bir etkisinin olmadığını çalışmalarında rapor etmişlerdir. Öztürk ve arkadaşları ise [13] pirina atığı katkılı termoplastik kompozitlerin termo-kinetik mikser ile üretimi başlıklı çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisine %0-10-20-30-40 ve 50 oranlarında pirina ilave edip bir polimer kompoziti üretmişlerdir. Elde ettikleri polimer kompoziti içerisindeki pirina oranının artmasıyla çekme mukavemeti ve eğilme modülü değerlerinin düştüğü buna karşılık elastiklik modül değerinin ise arttığını tespit etmişlerdir.

Bu çalışmada, ülkemizde bol miktarda üretilmekte olan zeytin çekirdeklerinin değerlendirilmesi hedeflenmiştir. Bunların öğütülerek toz haline getirilmesi ve polipropilen içerisine bir çeşit dolgu malzemesi olarak katılması sağlanmıştır. Polipropilen ve zeytin çekirdeği arasındaki yapışmanın sağlanması için sisteme maleik anhidrit aşıllı polipropilen (MA-g-PP) %5 oranında ilave edilerek bazı fiziksel ve aşınma özellikleri belirlemiş ve sonuçlar rapor edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kompozisyon ve malzemeler

Zeytin çekirdeği tozunun kompozit içerisinde oluşturacağı oranları değiştirerek 5 farklı grup hazırlanmıştır. Aşağıda Tablo 1’de oranlar verilmiştir. Kullanılan polipropilen Moblen EP 3307 kodlu Lyondell Basell tarafından üretilen bir polimerdir. Yoğunluğu 0,900 g/cm<sup>3</sup>, erime akış indisi 15 g/10 dak. (230 °C-2,16 kg), ısıl çarpılma sıcaklığı 95 °C’dir. Zeytin çekirdekleri Gemlik’te yaşayan yerel halktan temin edilmiştir.

**Tablo 1.** PP/ZÇT/MA-g-PP polimer kompozitinin karışım oranları

Gruplar	PP (%)	ZÇT (%)	MA-g-PP (%)
1	100	-	-
2	90	5	5
3	85	10	5
4	80	15	5
5	75	20	5

## 2.2. Numune hazırlama

Zeytin çekirdeklerinden toz şeklinde partiküller üretmek için Siemens marka öğütücüde kuru olarak öğütülmüş ve kompozitte yaklaşık 40 mikron boyutundaki tozlar kullanılmıştır. Şekil 1' de bu yöntemin fotoğrafları ve zeytin çekirdeğinin yapısı verilmiştir. Zeytin çekirdeği tozları ve polipropilen Yamato ADP-31 tipi fırında matris ile karıştırılmadan önce 105 °C' de 24 saat boyunca kurutulmuştur. Aşağıdaki şekilde bu deneysel çalışmanın aşamaları verilmiştir.



Daha sonra zeytin çekirdeği tozları ve polipropilen granülleri Patterson marka karıştırıcıda yirmi dakika boyunca karıştırılmıştır. Bir sonraki aşamada ise Mikrosan marka çift vidalı ekstrüderde 15-20 bar basınç altında, 30 dev/dak vida dönüş hızında ve 190-220 °C arasındaki sıcaklıklarda eritilerek karışımları gerçekleştirilmiştir. Bu işlemden sonra tekrar fırında 105 °C' de 24 saat boyunca kurutuldu ve test numuneleri enjeksiyon sıcaklığı 190–220 °C, enjeksiyon basıncı 90-110 bar ve vida dönme hızı 20 dev/dak olan bir enjeksiyon makinesinde test numuneleri basılmıştır.

**Tablo 2.** PP/ZÇT/MA-g-PP polimer kompozitinin kalıplama şartları

İşlem	Ekstrüzyon	Enjeksiyon
Sıcaklık (°C)	190–220	190–220
Basınç (bar)	15-20	90–110
Kalıpta bekleme süresi (sn)	-	20
Vida hızı (dev/dak)	30	20
Kalıp sıcaklığı (°C)	-	40



<https://bioplasticsnews.com/2020/05/08/bioplastic-packaging-olive-waste/> <https://docplayer.biz.tr/47553964-Zeytin-ve-zeytinyagi.html>



Zeytin çekirdeği

Öğütücü

Toz hali

**Şekil 2.** Zeytin çekirdeğinin yapısı ve toz haline getirilmesi

### 2.3. Karakterizasyon

Elde edilen gruplardan testler için beş adet numune alınmıştır ve ortalamaları verilmiştir. Isıl çarpılma sıcaklığı (HDT) testi ISO 75'e göre ve Vicat yumuşama sıcaklığı ise ISO 307'e göre Ceast marka test cihazı ile yapılmıştır. Isıl çarpılma sıcaklığı testi Metod A' ya göre yapılmıştır. Eğilme mukavemeti sabiti 1,8 MPa ve numuneye silikon yağının ısıtma hızı ise saatte 120 °C alınmıştır. Numune boyutları 80x10x4 mm olup mesnetler arası mesafe de 64 mm'dir. Numuneler yatay (flatwise) olarak test edilmiş olup 0,34 mm eğim miktarındaki sıcaklıklar kayıt edilmiştir. Numenelere uygulanan yük aşağıdaki formül ile belirlenmiştir.

$$F=2.\sigma.b.h^2/3L \quad (1)$$

Burada,  $\sigma$ : Eğilme mukavemeti (MPa), b: Numune genişliği (mm), h: Numune kalınlığı (mm), L: Mesnetler arası mesafe (mm), F: Numuneye uygulanan kuvvet (N)' dur. Bu formüle göre değerler yerine konulduğunda numune üzerine 3 Newton yük uygulanmıştır.

Vicat testi metod A'ya göre yapılmıştır. Vicat testinde numuneye 10 Newton yük uygulanmış ve silikon yağının ısıtma hızı ise saatte 120 °C alınmıştır. Bu sıcaklıkta ve 10 N yük altında cihazdaki batıcı ucun numuneye 1 mm girdiği andaki sıcaklık rapor edilmiştir. Burada kullanılan numunelerin boyutu 20x20x4mm olarak alınmıştır.

Erime akış indeksi (MFI) testi ISO 1133 standardına göre Zwick 4100 marka cihaz ile yapılmıştır. Bu testte, malzeme sıcaklık ile eritilerek üzerine belirli bir yük uygulanır ve bu yük altında kılcal bir borudan 10 dakika içerisinde ne kadar malzemenin aktığı belirlenir. Burada numuneye 230 °C sıcaklık uygulanmış olup 2,16 kg yük altında akışa zorlanmıştır. Bu değerlerin seçilmesinin nedeni ise standartta polipropilen için kullanılan değerler olmasıdır. Belirli bir süre sonunda akan malzeme tartılmış ve aşağıdaki formülde değerler yerine konularak MFI değeri belirlenmiştir. Burada, m: Belirli sürede (T) akan toplam numune ağırlığı (gr) ve t: Belirli süre (sn)'dir.

$$MFI=m.600/t \quad (2)$$

Nem ölçüm tetleri ASTM D6980' e göre Kern marka nem ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Cihaz sıcaklığa dayanıklı numune kabının içerisine koyulan ürünü önce tartar ve hafızaya alır sonra halojen lambası ile 105 °C'ye kadar ısıtma yaparak numuneyi kurutur. Cihaz ürünün kurduğunu terazideki değerlerin değişiminden anlayarak ısıtmayı durdurur ve nemli miktar ile kuru miktarı bildiği için arasındaki farkı hassas bir şekilde % nem olarak ekrana getirir. Burada kullanılan numune boyutlarının ölçüleri 10x10x4 mm'dir.

Limit oksijen indeksi testleri ISO 4589' e göre Devotrans marka LOI test cihazı ile yapılmıştır. Oksijen indeksi testi bir plastiğin ateş çekildikten sonra yanmaya devam etmesi için havada bulunması gereken minimum oksijen miktarını gösterir. Deney parçasının boyutları standartta belirtilen tip 1'e göre basılmış olup boyutlar 80x10x4 mm' dir. Bu testte üst yüzey tutuşması olan A tipi tutuşma uygulanmıştır. LOI değeri bulunana kadar yaklaşık 10-15 adet numune test edilmiştir.

Aşınma testleri DIN 53 516 standardına göre Devotrans DA5 marka tambur tipi aşınma test cihazında yapılmıştır. Bu test için numunelerin kalınlığı 7 mm ve çapları ise 15,5 mm alınmıştır. Tamburun dönüş hızı dakikada 40 devir olarak alınmıştır. Numunelere uygulanan yük ( $F_N$ ) 10 N ve aşındırma mesafeleri (L) ise 20-40-60 ve 80 metre olacak şekilde uygulanmıştır. Aşınma sonucunda meydana gelen ağırlık kaybının bulunması için deneyden önceki ve deneyden sonraki numunenin ağırlıkları 0,0001 gr hassasiyetindeki terazi ile ölçülüp deney öncesi ağırlıktan ( $M_1$ ) deney sonrası ağırlık ( $M_2$ ) çıkarılarak ağırlık kaybı ( $\Delta m$ ) hesaplandı. Ağırlık kaybı aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır.

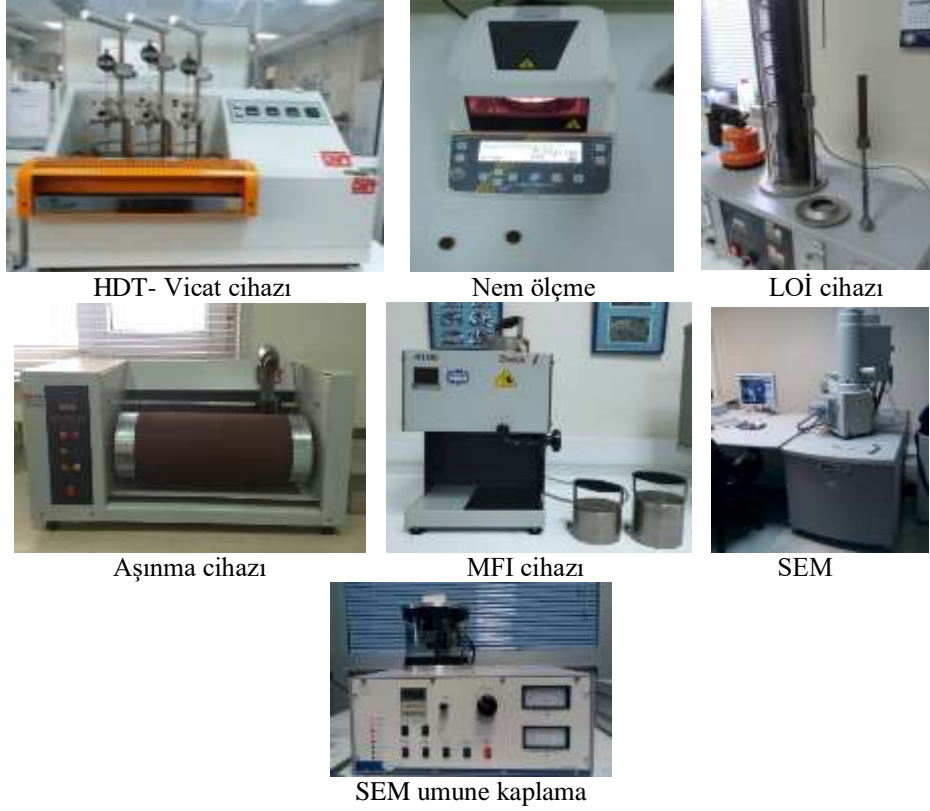
$$\Delta m=M_1-M_2 \quad (3)$$

Numunelerin ağırlık kaybı aşındırma işleme sonrasında ölçülerek aşınma oranları aşağıda verilen formül ile hesaplanmıştır.

$$W_s=\Delta m/\rho.F_N.L \quad (4)$$

Bu formülde  $\Delta m$ : Ağırlık kaybı,  $\rho$ : Yoğunluk,  $F_N$ : Uygulanan yük ve  $L$ : Aşındırma mesafesini temsil etmektedir. Aşınma oranlarının belirlenmesinde 3 adet numune test edilmiş ve aritmetik ortalamalar verilmiştir.

Darbe numunelerinden elde edilen kırık yüzeyler Polaron marka kaplama cihazında altın/paladyum alaşımı ile kaplanmıştır. 10 nm kalınlığındaki bu kaplama elektriksel yüklemeyi önlemek için yapılmıştır. Daha sonra numuneler 15 kV altında Jeol marka taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Aşağıdaki şekilde bu çalışmada kullanılan test cihazları verilmiştir.



Şekil 3. PP/ZÇT/MA-g-PP polimer kompozitinin özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test cihazları

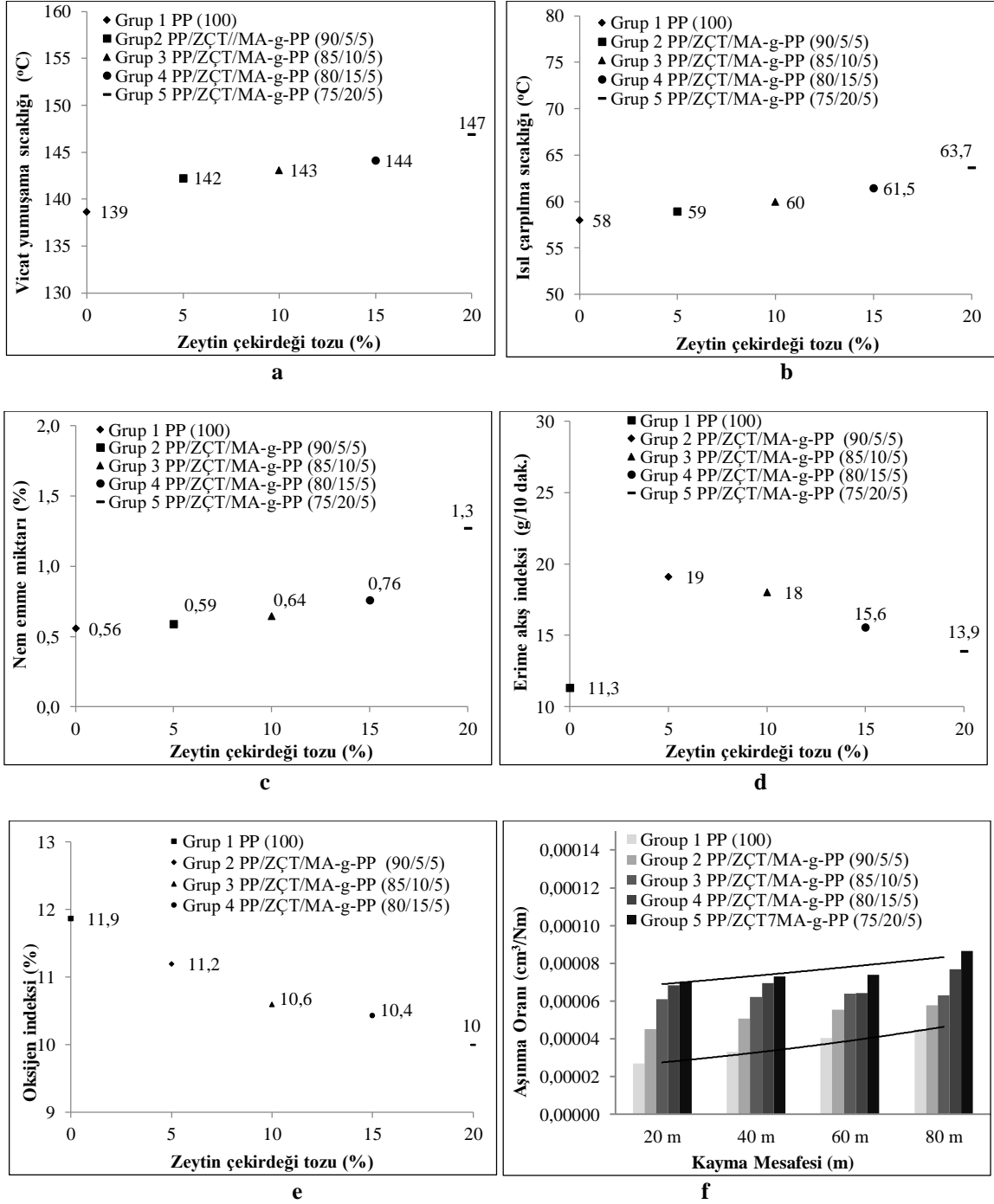
### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Fiziksel ve aşınma özellikleri

Polipropilen içerisine farklı oranlarda zeytin çekirdeği tozlarının katılmasıyla elde edilen polimer kompozitinin Vicat testi sonucu elde edilen yumuşama sıcaklığı değerleri şekil 4a'da verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi matris içerisine zeytin çekirdeği tozlarının ilavesiyle kompozitin Vicat yumuşama sıcaklığı değerinin arttığı görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi saf polipropilenin Vicat yumuşama sıcaklığı değeri 139 °C olarak ölçülmüşken matrise ağırlıkça %20 oranında zeytin çekirdeği katıldığında bu değerin yaklaşık %6 oranında artarak 147 °C'ye çıktığı tespit edilmiştir. Taşdemir [8]'in yapmış olduğu bir çalışmada da benzer sonuçlar görülmüştür. Taşdemir çalışmasında polipropilen içerisine %40'a kadar ayrı ayrı badem kabuğu ve zeytin çekirdeği tozları katmış ve Vicat yumuşama sıcaklığının her iki dolgu türünde de yaklaşık 10 derece arttığını belirlemiştir.

Şekil 4b'ye baktığımızda ısıl çarpılma sıcaklık değerlerinde de benzer durum olduğu görülmektedir. Burada polipropilen içerisinde zeytin çekirdeği oranının artmasıyla ısıl çarpılma sıcaklığının arttığı görülmektedir. Saf polipropilenin ısıl çarpılma sıcaklığı 58 °C ölçülmüştür ve kompozit içerisine zeytin çekirdeği tozunun ağırlıkça %20 oranında katılmasıyla bu değerin 63,7 °C'ye çıktığı görülmektedir. Bu durumun zeytin çekirdeğinin sert yapısından ve matris ile zeytin çekirdeği arasındaki yapışmayı arttırsın diye katılan maleik anhidrit aşıllı polipropilenin ilavesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Şekil 4c’de kompozit içerisinde zeytin çekirdeği oranının artmasıyla nem emme miktarının da arttığı görülmektedir. Şekilden den anlaşıldığı gibi saf polipropilenin nem emme oranının %0,56 olduğu ve %20 zeytin çekirdeği katkılı grupta ise bu değer %1,3 olduğu görülmektedir. Nem emme miktarındaki bu artış oranının yaklaşık %132 olduğu tespit edilmiştir. Nem miktarındaki bu artışın sebebi, apolar karakterde olan polipropilen içerisine polar olan zeytin çekirdeğinin katılmasıdır. Zeytin çekirdeği tozlarının polar karakterde olması daha fazla su emmesini sağlamaktadır [2-6]. Banat ve arkadaşlarının [6] yapmış oldukları bir çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen içerisinde zeytin çekirdeği tozlarının artmasıyla su emme değerinin yükseldiğini tespit etmişlerdir.



Şekil 4. PP/ZÇT/MA-g-PP polimer kompozitinin fiziksel özellikleri ve aşınma oranı

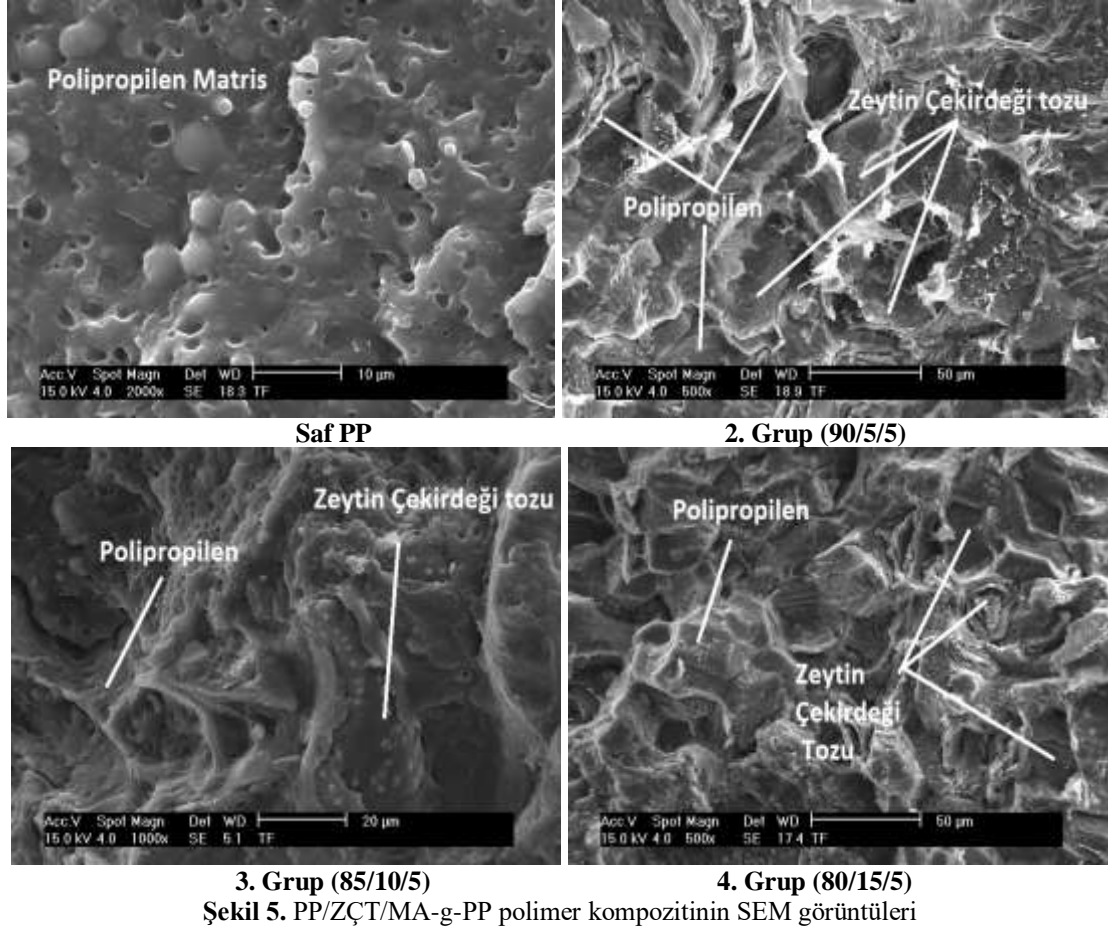
Şekil 4d’de zeytin çekirdeği ilavesiyle polimer kompozitinin erime akış indeksinin arttığı fakat zeytin çekirdeği oranının artmasıyla bu değerin gittikçe düştüğü görülmektedir. Dikkat edilirse saf polipropilenin erime akış indeksi değerinin 11,3 g/10 dak değerinde olduğu ve sisteme % 5 oranında zeytin çekirdeği ilavesiyle bu değerin artarak 19 g/dak değerine çıktığı fakat matris içerisinde zeytin çekirdeğinin oranının daha da artırılması ile bu değerin 13,9 g/dak değerine kadar düştüğü grafikten görülmektedir. Yani matris içerisinde zeytin çekirdeği oranının artması ile polimer kompoziti daha zor bir akış göstermektedir. Burada şunu da belirtmek gerekir ki malzemenin zor akış göstermesi özellikle enjeksiyon makinesinde kalıbı tam doldurmama problemine yol açar.

Şekil 4e’ye baktığımızda zeytin çekirdeği oranının artmasıyla oksijen indeksi değerinin gittikçe düştüğü görülmektedir. Örneğin saf polipropilenin limit oksijen indeksi değerinin %11,9 olduğunu fakat zeytin çekirdeği oranının artmasıyla limit oksijen indeksi değerinin %10 seviyesine kadar düştüğü görülmektedir.

Şekil 4f’de gösterilen aşınma oranı ve kayma mesafesi grafiğine baktığımızda öncelikle her aşındırma mesafesinde (20-40-60-80 m) zeytin çekirdeğinin matris içerisindeki oranlarının artmasıyla aşınma oranlarının arttığını söylemek gerekir. Matris içerisinde zeytin çekirdeği oranının artmasıyla aşınma oranı değerlerinin de arttığı şekilden anlaşılmaktadır. Aşınma oranındaki artışın matris ile dolgu arasındaki bağlanmanın zayıf olmasından dolayıyla zeytin çekirdeği partiküllerinin matristen kolayca ayrılmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Taşdemir [8]’in yapmış olduğu bir çalışmada da benzer sonuçlar görülmüştür. Taşdemir çalışmasında polipropilen içerisine %40’a kadar ayrı ayrı badem kabuğu ve zeytin çekirdeği tozları katmış ve aşınma oranının her iki dolgu türünde de arttığını belirlemiştir. Aynı zamanda aşınma mesafesinin artmasıyla da aşınma oranının da arttığını çalışmasında rapor etmiştir.

### 3.2. Morfolojik özellikler

Saf PP, PP/zeytin çekirdeği tozu/MA-g-PP (90/5/5), PP/zeytin çekirdeği tozu/MA-g-PP (85/10/5) ve PP/zeytin çekirdeği tozu/MA-g-PP (80/15/5) örneklerinin SEM görüntüleri Şekil 5’te verilmiştir. SEM fotoğraflarına bakıldığında matris ve zeytin çekirdeği tozları net olarak gözükmemektedir. Polipropilen ve zeytin çekirdeği arasındaki ara yüzey gerilimi faz morfolojisi için çok önemlidir. Görüntüler incelendiğinde bazı bölgelerde zayıf bazı bölgelerde ise daha iyi ara yüzey yapışmasının olduğu görülmektedir. Tozların matrise yapışma yeteneği ve homojen olarak dağılması herhangi bir polimer kompozitinin özelliklerini anlamada çok yardımcı olmaktadır. Şekil 5’ten de anlaşıldığı gibi, bazı zeytin çekirdeği parçacıklarının matrise olan zayıf bağlanmalarından dolayı yerlerinden çıktıkları görülmektedir. Bazılarının ise polipropilen matris içerisinde gömülü oldukları görülmektedir. Bu çalışmada artan zeytin çekirdeği oranınca yeterli uyumluluk maddesi kullanılmaması sadece %5 oranında kullanılması böyle bir sonuca sebebiyet vermektedir. Literatürdeki bazı çalışmalarda yüksek oranlarda dolgu kullanımı ara yüzeyde daha az yapışmanın olduğunu ortaya koymaktadır. Bazı araştırmacılar yapmış oldukları çalışmalarda matris ile dolgu malzemesi arasında yapışmanın artırılması veya kalıplama kolaylığı sağlamak için çeşitli maddeler kullanmışlardır. Örneğin, Kızıldaş ve arkadaşlarının [14] yapmış oldukları bir çalışmada poli (etilen tereftalat) (PET) ve poli (trimetilen tereftalat) (PTT) polimerlerine mikro kristal selüloz katıp bir polimer kompoziti elde etmişlerdir. Yağlayıcı (lubricant) olarak kompozite struktol ticari isimli bir malzeme kompozitini daha kolay kalıplanması için işlem kolaylaştırıcı olarak katılmıştır. Zhang ve arkadaşları ise [15] yapmış oldukları bir çalışmada polipropilen/mikro kristalin selüloz polimer kompozitlerinde polipropilen ile selüloz arasındaki yapışmanın artırılması kompozite maleik anhidrit aşılı polipropilen (PP-g-MA) ve metil akrilik asit glisidil ester aşılı PP (PP-g-GMA) katmışlardır. Bizim yapmış olduğumuz bu çalışmada herhangi bir yağlayıcı kullanılmamıştır. Valves ve arkadaşları [16] polimer esaslı kompozitlerde dolgu malzemesi olarak kullanılan zeytin çekirdeği konusunda kapsamlı bir review yayınlamışlardır. Benzer bir çalışma ise Banat [17] tarafından yapılmıştır.



Şekil 5. PP/ZÇT/MA-g-PP polimer kompozitinin SEM görüntüleri

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Atık zeytin çekirdeklerinden elde edilen tozların polipropilen matrisli kompozitlerde potansiyel bir dolgu malzemesi olarak kullanımı bu çalışmada ortaya konulmuştur. Elde edilen kompozitte zeytin çekirdeğinin miktarı arttıkça Vicat yumuşama sıcaklığı, ısıl çarpılma sıcaklığı, nem emme miktarı, erime akış indeksi, limit oksijen indeksi, aşınma oranlarını ve morfolojinin nasıl etkilendiği belirlenmiştir. Veriler sonucunda polipropilen içerisindeki zeytin çekirdeği oranının artması ile Vicat yumuşama sıcaklığı, ısıl çarpılma sıcaklığı, nem emme miktarı ve aşınma oranı değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Buna karşılık erime akış ve limit oksijen indeksi değerlerinin ise düştüğü belirlenmiştir. Elde edilen polimer kompozitinin vicat yumuşama ve ısıl çarpılma sıcaklıklarında bir artışın olması ve düşen değerlerde uyumluluk maddesinin oranının veya cinsinin değiştirilmesi gibi çeşitli yöntemler kullanılarak geliştirilebilir olması zeytin çekirdeklerinin polimerlerde dolgu maddesi olarak kullanımları konusunda ümit vaat eden bir durumu oluşturmaktadır.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmaya 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] Naghmouchi I., Espinach F.X., Mutje P., Boufi S. 2015. Polypropylene composites based on lignocellulosic fillers: How the filler morphology affects the composite properties. *Materials Design*, 65: 454-461.
- [2] Asim M., Abdan K., Jawaid M., Nasir M., Dashtizadeh Z., Ishak M.R., Hoque M.E. 2015. A review on pineapple leaves fibre and its composites. *International Journal of Polymer Science*, 2015 (6): 1-16.
- [3] Azwa Z.N., Yousif B.F., Manalo A.C., Karunasena W. 2013. A review on the degradability of polymeric composites base on natural fibres. *Materials Desing*, 47: 424-442.
- [4] Ashori A. 2008. Wood–plastic composites as promising green composites for automotive industries. *Bioresour Technol.*, 99 (11):4661-4667.
- [5] John M.J., Thomas S 2008. Biofibres and biocomposites carbohydr. *Polymer*, 71: 343-364.
- [6] Banat R., Fares M.M. 2015. Olive oil waste filled high density polyethylene bio-composite: mechanical, morphological and water absorption properties. *Int. Journal of Composite Materials*, 5 (5): 133-141.
- [7] Kılıçaslan C. 2016. Zeytin pirinası/polyester kompozitin basma yükü altındaki mekanik özelliklerinin belirlenmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 57 (656): 26-30.
- [8] Tasdemir M. 2017. Effects of olive pit and almond shell powder on polypropylene. *Key Engineering Materials*, 733: 65-68.
- [9] Koutsomitopoulou A.F., Bénézet J.C., Bergeret A., Papanicolaou G.C. 2014. Preparation and characterization of olive pit powder as a filler to PLA-matrix bio-composites. *Powder Technology*, 255: 10-16.
- [10] Djidjelli H., Benachour D., Boukerrou A., Zefouni O., Martinez-Véga J., Farenc J., Kaci M. 2007. Thermal, dielectric and mechanical study of poly(vinyl chloride)/olive pomace composites. *Express Polymer Letters*, 1: 846-852.
- [11] Gümüş B.E., Yağcı Ö., Erdoğan D.C., Taşdemir M. 2019. Dynamical mechanical properties of polypropylene composites filled with olive pit particles. *Journal of Testing and Evaluation*, 47 (4): 2551-2561.
- [12] Ayrılmış N., Büyüksarı U. 2010. Utilization of olive mill sludge in manufacture of lignocellulosic/polypropylene composite. *Journal of Materials Science*, 45 (5): 1336-1342.
- [13] Öztürk N.K., Sever K., Seydibeyoğlu M.Ö., Sütçü M., Sarıkanat M., Seki Y. 2015. Pirina atığı katkılı termoplastik kompozitlerin termokinetik mikser ile üretimi. XIX. Ulusal mekanik kongresi, 24-28 Ağustos 2015 Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 787-793.
- [14] Kızıltas A., Gardner D.J., Han Y., Yang H.S. 2010. Determining the mechanical properties of microcrystalline cellulose (MCC) filled PET/PTT blend composites. *Wood Fiber Sci.*, 42 (2): 165-176.
- [15] Zhang X., Shen J., Yang H., Lin Z., Tan S. 2011. Mechanical properties, morphology, thermal performance, crystallization behavior, and kinetics of PP/microcrystal cellulose composites compatibilized by two different compatibilizers. *J. Thermoplast. Compos. Mater.*, 24 (6): 735-753.
- [16] Valvez S., Maceiras M., Santos P., Reis P.N.B. 2021. Olive Stones as filler for polymer-based composites:a review. *Materials*, 14: 845.
- [17] Banat R. 2019. Olive pomace flour as potential organic filler in composite materials: A brief review. *American Journal of Polymer Science*, 9 (1): 10-15.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Kablosuz Algılayıcı Ağlarında Trafik Kontrollü Gezgin Yönlendirme Yöntemi**

Sercan YALÇIN\*, Ebubekir ERDEM

*Fırat Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye  
(ORCID: 0000-0003-1420-2490) (ORCID: 0000-0001-7093-7016)*

---

### **Öz**

Kablosuz algılayıcı ağlarında (KAA), verimli veri iletimi için algılayıcı düğümleri ve gezgin alıcı (toplayıcı) düğümleri arasında sağlam bir yönlendirme protokolünün tasarlanması çok önemlidir. KAA'da, gezgin alıcı düğümlerin rastgele hareketliliği, patlak trafik durumlarında ağdaki paket gecikmesini artırır. Bu nedenle, bu çalışmada, heterojen KAA'lara dayalı bir patlak trafik kontrollü yönlendirme yöntemi aktarılmıştır. Önerilen yöntemde, algılayıcı düğümleri ağ alanına dağıtıldığında, ağ alanı her birinde belirli sayıda küme bulunan iki küme grubuna bölünmektedir. Algılayıcı ağında, her küme grubuna ait birer gezgin alıcı düğüm görev yapar. Bu gezgin alıcı düğümler, önerilen patlak trafik tabanlı bir gezginlik metodu ile seçilen gezgin yollar sayesinde, küme başlarına varır varmaz tek-atlamalı tutumla tüm verileri toplar. Bu şekilde, enerji yükü ağ arasında paylaştırılarak dengeli enerji tüketimi sağlanır. Önerilen gezginlik modelinde, patlak veri sezildiği anda, gezgin alıcı düğüm yörüngesini patlak verinin olduğu küme başına doğru güncelleyerek ağdaki verileri toplar. Önerilen yöntemi doğrulamak için Ubuntu 14.04 LTS platformunda kurulu NS-2 benzetim yazılımında performans analizleri yapılmıştır. Benzetim sonuçları, önerilen yöntemin güncel çalışmalara kıyasla, ağ ömrünü artırdığını ve ortalama enerji tüketimini azalttığını göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kablosuz Algılayıcı Ağları, Kümeleme ve Yönlendirme Modeli, Gezgin Alıcılı Düğümler, Enerji Verimliliği.

---

## **Traffic Controlled Mobile Routing Method in Wireless Sensor Networks**

---

### **Abstract**

In wireless sensor networks (WSNs), it is essential to design a robust routing protocol between sensor nodes and mobile sinks for data transmission efficiently. In WSN, random mobility of mobile sinks increases packet latency in the network in burst traffic situations. Therefore, in this study, a burst traffic controlled routing method based on heterogeneous WSNs is introduced. In the proposed method, when the sensor nodes are distributed in the network area, the network area is divided into two cluster groups, each with a certain number of clusters. In the sensor network, a mobile sink of each cluster group acts. These mobile sinks collect all data in a single-hop attitude as soon as they arrive at the cluster, thanks to the mobile paths selected with a proposed burst traffic-based mobility method. In this way, the energy load is shared among the network, making it balanced. In the proposed mobility model, once burst data is detected, the mobile sink collects data on the network by updating its trajectory towards the beginning of the cluster where the burst data is located. Performance analyzes have been performed on the NS-2 simulation software installed on Ubuntu 14.04 LTS platform to verify the proposed method. The simulation results show that the proposed method increases the network lifetime and reduces the average energy consumption compared to recent studies.

**Keywords:** Wireless Sensor Networks, Clustering and Routing Model, Mobile Sinks, Energy Efficiency.

---

### **1. Giriş**

Kablosuz Algılayıcı Ağları (KAA), gerçek ortamlarda hizmet vermek için birbirleriyle iletişim kuran dağıtılmış ve ucuz maliyetli birçok algılayıcı düğümlerinden oluşur [1,2]. KAA uygulamaları olarak akıllı şebeke, sağlık hizmetleri, akıllı köprüler, hassas tarım, endüstriyel uygulamalar, kentsel arazi takibi, savaş alanının hedef yeri, fizyolojik veri toplama ve akıllı ulaşım sistemi [3] gibi birçok

---

\*Sorumlu yazar: [svancin@firat.edu.tr](mailto:svancin@firat.edu.tr)

Geliş Tarihi: 15.02.2021, Kabul Tarihi: 16.04.2021

uygulamalar sayılabilir [4]. KAA'da, dağılmış algılayıcı düğümlerinin her birinin birincil işlevi, ortamda algıladıkları verileri diğer algılayıcılara iletmek veya alıcı düğümüne teslim etmektir [5]. Bir alıcı düğümü, KAA'yı mevcut bir iletişim yapısına bağlama yeteneğine sahip sabit bir düğüm veya hareketli (gezin) bir düğümdür [6]. Geleneksel KAA'larda, algılayıcı düğümleri ve merkezi bir alıcı arasındaki veri toplama, tek atlama veya çoklu atlama iletişimlerine dayanır. Bununla birlikte, veri toplama yöntemleri enerji ve yük dengeleme kısıtlamaları ile karşı karşıya kalmaktadır [7,8]. Statik alıcı durumunda, alıcılara yakın olan düğümler, çok atlamalı yolların kesişmesiyle alıcıya doğru daha fazla veri trafiğinin oluşması nedeniyle var olan enerjiyi daha hızlı tüketir [9]. Bu sorun sıcak nokta (hot spot, hole) problemi olarak adlandırılır. Buna karşılık, gezgin alıcı (GA) belirli yörüngeler üzerindeki hareket nedeniyle KAA'da yük dengelemesini ve optimum enerji tüketimini sağlar [10].

Algılayıcı düğümlerinin gezginliği kontrollü ve kontrolsüz gezginlik olmak üzere iki tür olabilir. Kontrol edilemeyen gezginlikte, algılayıcı düğümleri ağ alanında rastgele hareket etmekte serbesttir ancak kontrollü gezginlikte, ağ ömrü boyunca önceden tanımlanmış yolu izlemeleri gerekir. Kontrollü gezginlik ayrıca kendi arasında iki türe ayrılır. Birincisi, GA düğümün ağ ömrü boyunca (sabit geçici olarak kalma, fixed sojourn) konumlarını izleyerek uyarlanabilir gezgin rotanın keşfedebilmesidir. Bu kontrollü gezginlik esnek olmayan gezginlik türü olarak adlandırılır. İkincisi ise ağın ömrünü en üst düzeye çıkarmak için her turdaki gezgin algılayıcı düğümleri için sabit geçici yerleri seçilir. Bu kontrollü gezginlik uyarlanabilir, sağlam ve esnek bir gezginlik türü olarak bilinir [11-13]. Bu çalışmada, adaptif ve kontrollü bir gezginlik tekniği önerilmiştir.

KAA'lar içerdikleri algılayıcı düğüm özelliklerine göre homojen ve heterojen ağlar olmak üzere ayrılırlar. Homojen düğümlü ağlar birbirine eşit fiziksel ve yazılımsal özellikteki düğümleri içerir, heterojen yapıları ise tersi durum söz konusudur. Ağ içerisindeki düğüm çeşitliliğinin olması ve enerjinin farklı miktarda ve sürede tüketilmesi ağın enerji ve yük dengesinin sağlanması açısından heterojen KAA'lar oluşturulması diğerine nispeten avantajlıdır.

Alıcı gezginliği KAA'ya önemli avantajlar sağlasa da, yönlendirme protokolleri tarafından veri iletişimi ve yönetim sorunları ile karşı karşıya kalmaktadır [14]. Bu nedenle, KAA'lardaki gezginlik ile başa çıkmak için yönlendirme protokollerini uyarlamak gerekir. Yönlendirme yapısına bağlı olarak hiyerarşik, düz ve konum tabanlı yönlendirme protokolleri olmak üzere sınıflandırılır [15]. Diğer yönlendirme türleriyle karşılaştırıldığında, hiyerarşik tabanlı yönlendirme protokolleri enerji, ölçeklenebilirlik ve gezgin KAA'ların ömrünü uzatma açısından daha iyi performans sağlar [11]. Mevcut veri toplama yöntemlerinin çoğu, üst üste binmeyen kümeleri bir küme başı (KB) ile üreten KAA'larda kümeleme yöntemi gibi hiyerarşik tabanlı yönlendirme mekanizmasını kullanır [16]. Buna rağmen, algılayıcı düğümleri ve alıcı düğümleri arasında verimli bir veri toplamanın modellenmesi, farklı gezginlik düzenleri üzerinde enerji verimli bir KB seçimi yaparak gerçekçi heterojen KAA'lar tasarlamak kritik önem arz etmektedir.

Zhang ve Wan [17]'in önerdiği patlama trafiğine sahip GA'lar için dinamik yol planlama algoritması (Dynamic Path Planning for Mobile Sink with Burst Traffic, DPPMSBT), KAA'da yükü dengelemeyi ve trafik darboğazlarını önlemeyi amaçlamaktadır. Bu algoritma, ağın ızgara bölümlerini, öncül iz oluşturma, trafik yoğunluğu farkındalığı ve tahmini, kaynaklar işbirliği stratejisi ve dinamik yönlendirme düzenlemesini göz önüne almaktadır.

Naghibi ve Barati [18], algılayıcı ağın coğrafi bölge şeklinde ayarlanması için bir yöntem (Energy efficient geographic routing protocol based on mobile sink, EGRPM) önermiştir. Bu bölgelerdeki hücre olarak adlandırılan alanlarda bulunan düğümler ortamdaki verileri algılar ve bu verileri toplamak için iki GA düğüm kullanır. Düğümler ve GA düğüm arasındaki iletişim hücrede tek sekmeli iletişim hücreleri (SCCs) ve çok sekmeli iletişim hücreleri (Multi-CCs) olmak üzere iki sınıfta gerçekleşir. Bu iki sınıf içerisinde GA düğümler tüm verileri toplar ve ana merkeze iletir. Önerilen bu yöntemler sayesinde ağ ömrü ve paket teslim oranı önemli ölçüde artmasına ve enerji tüketimini azalmasına rağmen, trafik yoğunluğu ve paket çakışması gibi riskli senaryolar önerdikleri çalışmada hesaba katılmamıştır.

Toor ve Jain [12], algılayıcı ağın ömrünü uzatmak için 3 seviyeli heterojen KAA'larda GA düğümler kullanılarak enerji farkındalığı kümeleme tabanlı (Mobile energy aware cluster based multi-hop, MEACBM) bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemle, KB'ler enerjisi en yüksek düğümlerden seçilir. KB'ler küme üyelerinden verileri toplar. Bundan sonra, ağ alanı sektörlere bölünür. Her sektöre ait bir GA düğüm bulunur. Bu alıcı düğümler Beklenti-Maksimizasyon (Expectation-Maximization, EM) algoritması sayesinde KB'lerden verileri toplayarak baz istasyonuna (BS) teslim ederler. Öte yandan,

önerilen şemada, kümelerdeki algılayıcı düğümlerinin ölçeklenebilirliği zayıftır ve GA düğümün hızı adaptif olarak tayin edilmemiştir. Bu yüzden ağdaki enerji dengesi yeterli şekilde sağlanamamıştır.

Yalçın ve Erdem [19], heterojen gezgin ağlar için bakteri etkileşimi temelli KB seçimi ve iletim sınırı menzilli bilişsel yönlendirme algoritması olarak yeni bir yaklaşımla iki algoritma önermiştir. Etkileşim farkındalığı değeri, enerji düğümü derecesi ve bitişik düğümlere olan uzaklığı parametrelerini esas alan açgözlü yaklaşımla daha güvenilir ve güçlü KB seçimi yapılmıştır.

Bu doğrultuda, bu çalışmada önerilen yöntemler ile enerji tasarruflu veri toplanmasını sağlamak için GA'larla patlama trafiği farkındalığı (burst traffic awareness) temelli gezginlik modeli geliştirilmiştir. Önerilen gezginlik modelleri kullanılarak, heterojen KAA'larda enerji yük dengeleme ve ağ ömrünün artırılması gibi birçok sorunlara çözüm sunulmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Önerilen yaklaşım, doğrudan veya komşu KB'ler yoluyla en yakın alıcı düğümlerine ulaşmak için en kısa yollarla ilgili bilgileri içerir ve KB'lerin yardımıyla rotayı dinamik olarak güncellemektedir. Şekil 1, bu çalışmanın yöntemleriyle beraber genel sürecini göstermektedir. Önerilen metodoloji standart trafik senaryolarında en kısa rotaları kullanır. Bu çalışmada 2 tane GA düğüm kullanılmakla birlikte, 1. alıcı düğüm 1. küme grubundan sorumlu, 2. alıcı düğüm 2. küme grubundan sorumlu tutulmaktadır. Patlak trafik ise benzetimde paket hızını ve miktarını artırarak oluşturulmaktadır. Patlama trafiği sırasında, önerilen yaklaşım birden fazla alıcı düğümünden verileri optimum rotalardan yük dengeleme hedefine toplar. Bu trafik hangi küme grubunun dâhilinde ise o gruba ait olan GA devreye girecektir. Bir anlamda, GA düğüm patlak trafik verileri toplaması için öncelik oluşturulur. Daha sonra diğer KB hedeflerine hızını artırarak hareket eder ve algılayıcı verilerini geri kaldığı yerden toplamaya devam eder. Bu şekilde, diğer alıcı düğümlerine alternatif en uygun yol seçerek, normal düğümlerdeki enerji tükenmesini etkili bir şekilde önler. Bu nedenle, önerilen yöntem adaptif bir alıcı hareketliliğine dayalı veri toplama yoluyla ağda dengeli enerji tüketimi sağlar.

### 2.1. Çalışmanın Enerji Modeli

Bu çalışmada daha önceki çalışmamızda [19] önerilen enerji modeline benzer bir model benimsenmiştir. Bu enerji modelinde, toplam enerji tüketimi, veri iletimi ve alımı işlemi sırasında tüketilen enerji, veri algılama için ve kanalı dinleme için tüketilen enerji olmak üzere 4 kategoride ele alınmıştır. Yani, önceki çoğu çalışmalarda, algılama ve dinleme süreçlerinde enerji tüketim analizleri görmezden gelinmiştir. Çünkü bu süreçlerde algılayıcı düğümlerinin daha az enerji tükettiği iddia edilmiştir. Bu anlamda, veri algılama ve kanal dinleme için harcanan enerji maliyetleri de dikkate alınmıştır. Bu sayede daha gerçekçi enerji analizi yapıldığını söyleyebiliriz.

Veri iletimi ve alımı için tüketilen enerji modellerinin analizinde, iletim ve alım tüketimi  $E_{TX/RX}$  için bir algılayıcı düğümünün enerji tüketimi denklem (1)'deki gibi ölçülür. Burada  $l$ , veri boyutudur,  $E_{elec}$  vericiyi veya alıcıyı elektronik olarak çalıştırmak için algılayıcının bit başına enerji tüketimini gösterir,  $e_{fs}$  ve  $e_{amp}$ , sırasıyla boş ve çok yollar için radyo amplifikatörlerinin tiplerini gösterir.  $E_{TX/RX}(l, d)$   $l$  bitleri için veri gönderip alırken enerji tüketimini temsil eder.

$$E_{TX/RX}(l, d) = \begin{cases} lE_{elec} + le_{fs}d^2, & d < d_0 \\ lE_{elec} + le_{amp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

Veri göndermek ve almak için tüketilen enerjinin birbiriyle aynı olduğunu varsayıyoruz. Referans mesafesi  $d_0$  denklem (2)'de hesaplanır.

$$d_0 = \sqrt{\frac{e_{fs}}{e_{amp}}} \quad (2)$$

Kanal dinleme ve veri algılama için tüketilen enerji modelinde ise, bir  $t$  dinleme zamanında, sabit enerji denklem (3)'teki gibi ifade edilebilir.

$$E_{ce} = A + L_{cost} \cdot t \quad (3)$$

Burada,  $A$  sabit bir farkındalık maliyeti,  $L_{cost}$  dinleme maliyetidir. Bununla birlikte, bir Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (Time Division Multiple Access, TDMA)-döngüsü sırasında  $N_{aw}$  farkındalık sayısını hesaplamak gereklidir. Dolayısıyla,  $T$  periyodu ve  $N$  algılayıcı düğümleri için bir periyottaki toplam dinleme maliyeti denklem (4)'te hesaplanmıştır.

$$E_{list} = TN_{aw} N(E_{ce}) \quad (4)$$

Algılama sürecinde enerji tüketiminin dinleme süreci ile aynı olduğu varsayılmaktadır. Bu anlamda,  $E_{sens}$  algılama işleminin enerji tüketimi denklem (5)'teki gibi verilebilir.

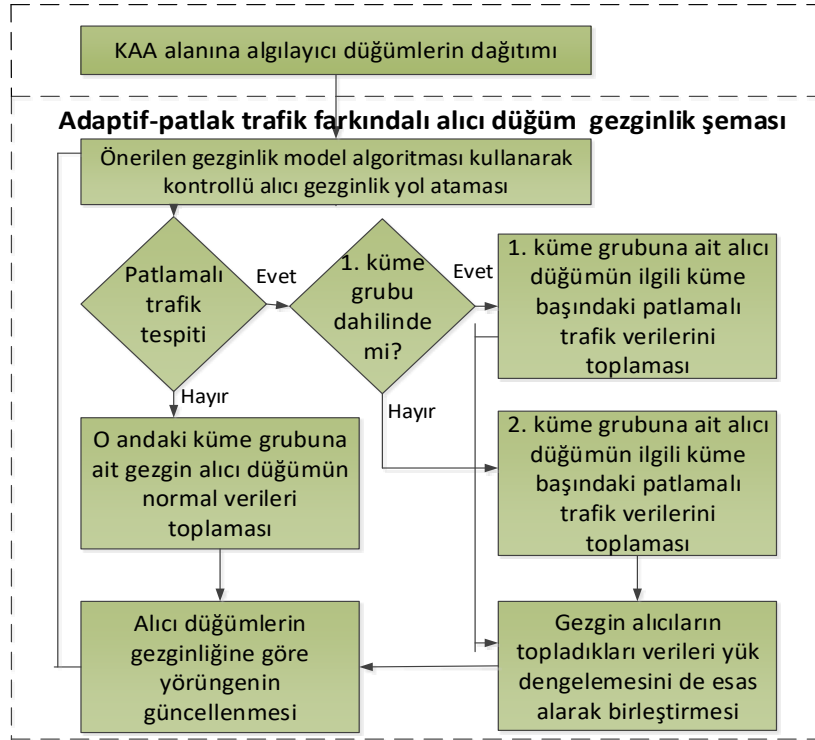
$$E_{sens} = E_{list} \quad (5)$$

Bu nedenle,  $r$  turunda düğüm  $i$  için ilişkili olan toplam enerji tüketimi  $E_i^r$  denklem (6)'ya göre hesaplanır.

$$E_i^r = E_{TX}(l, d) * nd_i + E_{RX}(l, d) * (nd_i - S_i) + 2E_{list} \quad (6)$$

Burada  $nd_i$ , düğüm  $i$ 'nin yük iletimini belirtir ve  $nd_j$  düğüm  $i$ 'nin ilişkili düğümü olan düğüm  $j$ 'nin yük iletimidir.  $S_i$ , düğüm  $i$  tarafından üretilen paketleri ifade eder.  $nd_i$ , denklem (7)'deki gibi hesaplanır. Burada  $f_i$ , düğüm  $i$ 'nin KB olduğunda sahip olduğu küme üyesi düğüm sayısıdır.

$$nd_i = \begin{cases} \sum_{j \in f_i} nd_j + S_i, & \text{eğer } f_i \neq \emptyset \\ S_i, & \text{yoksa} \end{cases} \quad (7)$$



Şekil 1. Çalışmanın önerilen yöntemleriyle beraber genel süreci

## 2.2. Çalışmanın Ağ Modeli

Bu çalışmadaki KAA senaryolarında, farklı boyutlarda ağ alanına farklı sayıda algılayıcı düğümü rastgele dağıtılır. Bir algılayıcı düğümünün bitişik düğümlerden uzaklığı alınan sinyal gücü göstergesi (RSSI) parametresine göre hesaplanabilir. Bu çalışmada, gezgin heterojen KAA oluşturulmuştur. Çalışmamızdaki KAA, sayıları toplam  $N$  olan ve denklem (8)'deki gibi  $N_{nrm}$ ,  $N_{adv}$  ve  $N_{sup}$  olarak temsil edilen normal, gelişmiş ve süper düğümler dâhil olmak üzere 3 seviyeli heterojen yapısına sahiptir.

Normal, gelişmiş ve süper düğümler enerji, veri işleme, iletim kapsamı, iletişim ve birçok özellik bakımından birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Fakat bu çalışmada düğümlerin sadece enerji bakımından farklı olduğunu varsayıyoruz. Ağda, KB'ler genellikle normal düğümler yerine gelişmiş ve/veya süper düğümlerden seçilir. Ağ içerisinde enerji dengesi sağlandığında tüm düğümlerin enerjileri birbirine yakın değerde olabileceğinden dolayı KB'ler normal düğümlerden de seçilebilir. Seçilen KB'lerden veri toplayan GA düğümü sınırsız enerjiye sahip olduğu varsayılmaktadır. Algılayıcı ağındaki kalan düğümler normal düğüm özelliğine sahiptir.

$$N = N_{nrm} + N_{adv} + N_{sup} \quad (8)$$

Gelişmiş ve süper düğümler, normal düğümlerden sırasıyla  $\omega$  ve  $\varphi$  kat fazla enerjiye sahiptir. Ağdaki normal, gelişmiş ve süper düğümlerin enerjileri sırasıyla  $E_{nrm}$ ,  $E_{adv}$  ve  $E_{sup}$  olmak üzere denklem (9)-(11) ile verilebilir.

$$E_{nrm} = E_0 x N_{nrm} \quad (9)$$

$$E_{adv} = E_0 x N_{adv} x (1 + \omega) \quad (10)$$

$$E_{sup} = E_0 x N_{sup} x (1 + \varphi) \quad (11)$$

Burada  $\omega$  ve  $\varphi$ , enerji katsayıları olduğu için fraksiyonel olarak 1 ile toplanmıştır. Buna göre ağın toplam enerjisi  $E_t$  denklem (12)'deki gibi verilebilir. Burada  $E_t$ , farklı türdeki enerjiye sahip tüm düğümlerin enerjisi olduğundan dolayı,  $E_{nrm}$ ,  $E_{adv}$  ve  $E_{sup}$  enerjilerinin toplamından oluşur. Bu toplam enerji denklem (6)'daki enerji tüketimine göre zamanla harcanır ve tamamen biter.

$$E_t = E_{nrm} + E_{adv} + E_{sup} \quad (12)$$

## 2.3. Çalışmanın Patlak Trafik Modeli

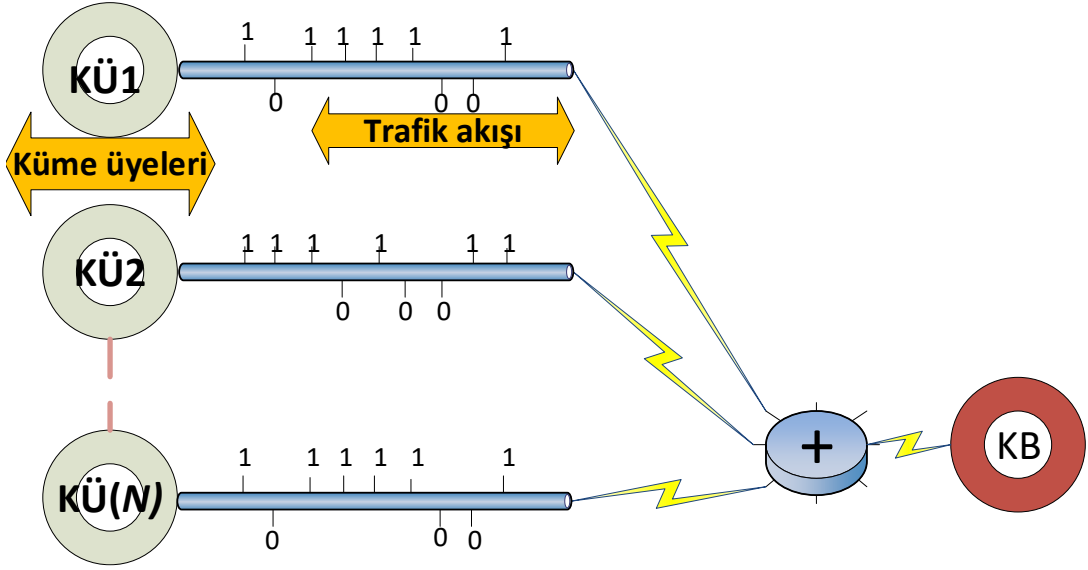
Bu çalışmada, patlak trafik, KB'lerin çevreden ve küme üyelerinden elde ettikleri aşırı şişmiş ve yoğun verilerin oluşturduğu trafik yükü olarak tanımlanır. Normal ve sağlıklı veriler belli bir düğümde düğümün üstesinden gelemeyeceği kadar birikince algılayıcı düğümün çalışmasını bozabilir. Diğer yandan, bazı veriler algılayıcı düğümünde oluşan fiziksel veya yazılımsal arıza sonucu yeteneklerini yitirebilir. Bu zararlı durumlar, çalışmamızdaki trafik senaryolarının ilham kaynağıdır. Bu sebeple, önerilen algoritmada herhangi bir KB düğümünde patlak trafik olduğu tespit edilirse veya tahmin edilirse ki bu patlak trafik farkındalık fonksiyonuna göre belirlenir, veriler kaybolmasın ve algılayıcı düğümünün fonksiyonelliğini kaybetmesin diye ait olduğu KB'nin en yakını ve en yüksek enerjili olan bir başka düğümde yedeklenir. GA düğüm patlak trafik senaryolarında acilen bu verilerin olduğu yedeklenmiş düğüme hareket eder ki patlak trafik verilerini düzgün şekilde toplayabilsin. Bu sayede KB'nin sağlığı bu açıdan garanti altına alınmış olunur ve sağlıklı ve güvenilir verilerin özelliği bozulmadan yedeklenip kaybolma ve paket düşmesi riski azaltılır.

Literatürde, ağ trafiğini modellemek için ON/OFF trafik dağılım modeli önerilmiştir [20]. ON prosesi trafik akışının devam ettiğini, OFF prosesi ise trafiğin akışına ara verildiğini ve uyku durumunda olduğunu gösterir. Bu modele göre, ilk önce her düğüm,  $\lambda$  oranına sahip bir Poisson sürecini izleyen bir trafik üretir, daha sonra her düğüm bir trafiği izler. Paketlerin yalnızca işlem ON durumdayken üretildiği

bir patlak (bursty) işlem tanımlanır. Önceki modellerin hiçbiri, ağır kuyruklu ve kendine benzeyen patlamış trafiği esas almamıştır.

Bu çalışmada, KAA'da küme üye düğümleri tarafından oluşturulan trafiği modellemek için N-BURST trafik modeli önerilmiştir. Burada, ON ifadesi lojik "1" ile OFF ise lojik "0" ile ilişkilendirilmiştir. Tampon taşması olasılığı (buffer overflow probability) gibi performans ölçümleri analitik olarak elde edilip farklı  $B_{dec}$  patlama parametresi (burst parameter) altında KB'lerdeki patlak trafik olduğuna ve bu verilerin yedeklenmesi gerektiğine karar verilmektedir.

Çalışmamızda kullanılan N-Burst 1/0 modeli, ON / OFF modelinin bir türevidir. N-Burst hedefe (KB'ye) varış sürecinde, N bağımsız küme üyesinden gelen 1 / 0 türündeki veri trafik akışlarının KB'lerde birleştirilmesidir. "1" süresince her kaynak  $\lambda B_{dec}$  hızında paketler üretir ve "0" süresi boyunca paket üretmez. Çok fazla ve hızlı veri paketi teorik olarak düşünüldüğünde;  $\lambda B_{dec} \rightarrow \infty$  olursa bir veri bloğundaki tüm paketler aynı anda gelir ve trafik modeli bir yük (bulk) çıktısına dönüşür.



Şekil 2. Önerilen çalışmadaki N-Burst trafik modeli

Oluşturulan KAA modelinde, bir küme bir veya birden fazla algılayıcı küme üyesi düğümlerinden (KÜ) oluşur. Bu düğümler her biri 1-Burst trafik modeline göre veri üretir. Tüm küme üyeleri tarafından oluşturulan verileri toplayan bir KB bulunur. Küme üyeleri, Şekil 2'de gösterildiği gibi doğrudan KB ile iletişim kurabilmektedir. Bu şekilde, N-Burst trafik modelini kullanarak tek düğümlü trafik modelini tanımlıyoruz.  $k$  her düğüm için ortalama varış oranı (1 ve 0 için birlikte ortalama),  $\partial$  düğümler tarafından oluşturulan toplam varış oranıdır (zaman birimi başına paket), burada  $\partial = kK_u$  dir.  $K_u$  bir kümedeki üye düğüm sayısıdır. Bu üye düğümler sadece bir KB'ye veri gönderir.  $n_p$  ve  $\partial_p$ , sırasıyla, bir patlama sırasındaki ortalama paket sayısı ve tepe iletim hızıdır.  $1 = n_p / \partial_p$ , bir patlama için ortalama ON süresidir.  $0$ , seri çekim arasındaki ortalama 0 (uyku süresi) süresidir.  $v$ , KB'nin ortalama paket servis hızıdır (zaman birimi başına paket).  $\rho = \partial / v$ , KB kullanım oranıdır.

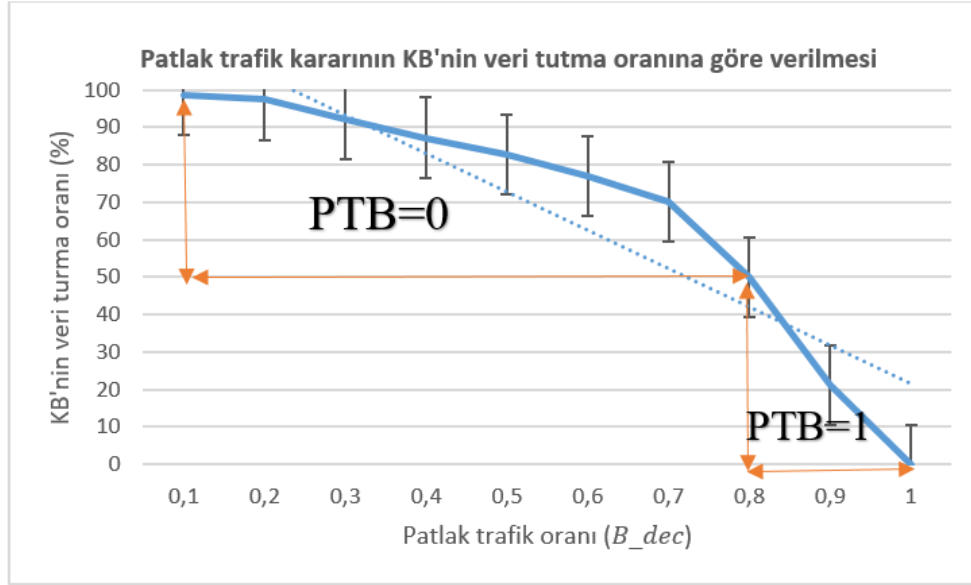
Bütün bu açıklamalara dayanarak, patlaklık (burstiness) parametresi  $B_{dec}$  denklem (13)'teki gibi tanımlanır. Burada  $\rho = \partial / v$ , KB kullanım oranı olduğundan,  $B_{dec}$  1 ile çıkarılarak bulunmuştur.

$$B_{dec} = 1 - \frac{k}{\partial_p} \quad (13)$$

N-küme düğümü KAA trafik ağı modelinde tüm olası dağılımlar için  $B_{dec} = 0$  ve  $B_{dec} = 1$  için sınırlayıcı durumlara bakarak patlak trafiğe karar verilir. Tampon taşma olasılıkları (buffer overflow probability), algılayıcı düğüm arızası gibi nedenlerle patlak trafiğe karar vermek için,  $B_{dec}$ 'in 1'e çok yakın olması gerekir. Paket hızı arttıkça kaynağın bir patlama iletmeye süresini kısalttığı için,  $B_{dec} = 1$ 'de toplu varış limitine yükselir. Ayrıca, bu karar değeri  $B_{dec}$ 'nin monoton olarak artan bir fonksiyonudur.

Denklem (14) ile her KB için patlak trafik bayrağını (PTB) (burst traffic flag, *BTF*) kullanarak patlak trafik olup olmadığına karar verilir.

Şekil 3'te KB'nin veri tutma oranına göre patlak trafik kararının verilmesini göstermektedir. KB'nin veri tutma oranı, bir KB'nin üzerindeki saklayabildiği paket sayısının ölçüsüdür.



Şekil 3. Patlak trafik kararının KB'nin veri tutma oranına göre verilmesi

Şekil 4'te de görüldüğü üzere patlak trafik oranı arttıkça KB'nin veri tutma oranı azalmaktadır. KB'lerin minimum yarı performans ile çalışabildiğini düşünerek  $B_{dec}$  değeri 0.8 iken veri tutma oranı %50'nin altına düşmektedir. Bu yüzden, *PTB* değerini belirlerken  $B_{dec}$  sınır değeri 0.8 olarak belirlenmiştir. Eğer  $B_{dec}$  örneğin 0.8'den büyükse *BTF*=1, değilse *PTB*=0 (normal trafik, smooth traffic) olarak patlak trafik kararı verilmiş olur.

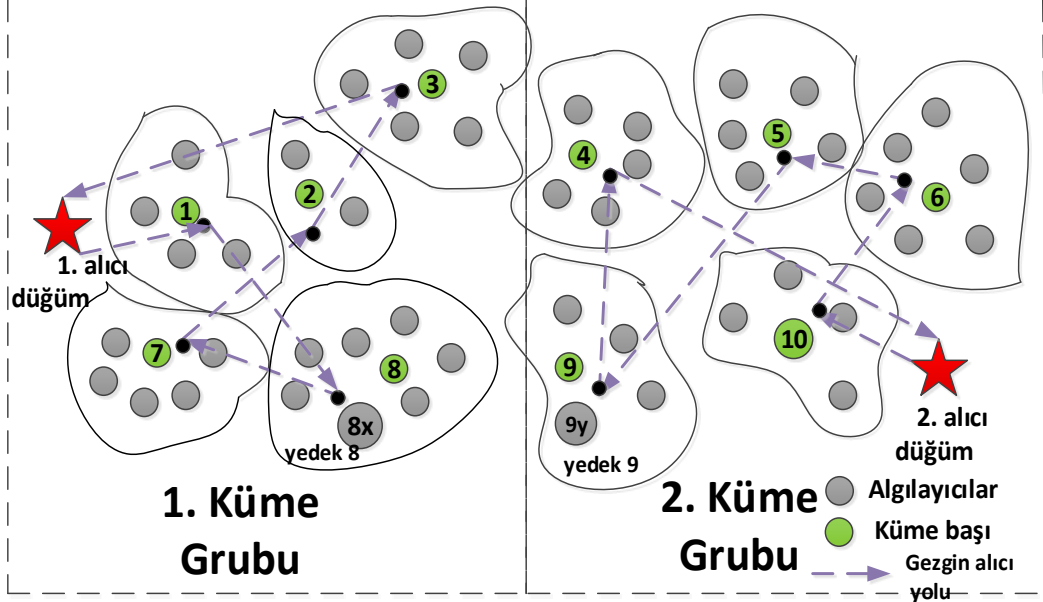
$$PTB = \begin{cases} 1, & \text{eğer } B_{dec} \geq 0.8 \\ 0, & \text{diğer} \end{cases} \quad (14)$$

#### 2.4. Önerilen Mobil Yönlendirme Yöntemi

Önerilen yöntem, optimal rota seçimi ile birlikte 2 adet GA düğüm kullanmaktadır. Önerilen adaptif alıcı gezginlik modeli, optimum yol seçimi KB kapsama sınırına hareket yöntemi ve trafik farkındalı rotalamayı esas aldığı için kontrollü gezginlik model özelliği taşımaktadır.

Şekil 4 önerilen grup kümeli ve patlak trafik farkındalı heterojen KAA topolojisini göstermektedir. Şekil 4'te de görüldüğü üzere 2 farklı küme grubundan sorumlu 2 farklı GA, KB'lerden algılayıcı düğümlerin gönderdiği verileri toplamaktadır. Ağ yapısı oluşurken GA düğümler tüm KB'lere kendilerine dâhil olması için "*JoinRequest*" istek mesajı gönderir. Algoritma 1'e göre bu kümeler alıcı düğümlerden birini tercih etmek zorunda kalır. İlgili KB'ler "*JoinAccept*" cevap mesajı alıcı düğüme göndererek küme grubuna dâhil olmayı kabul ederler. Sonuç olarak 2 farklı küme grubu oluşacaktır. GA düğümler önerilen gezginlik modeline göre KB'lerin kapsama alanına girer girmez verileri toplamaktadır. Önerilen alıcı düğüm gezginlik modeli patlak trafiğin de farkındadır. Yani aşırı yoğun ve şişmiş veriler acil olarak toplanması gerekir. Aksi takdirde bu veriler kaybolabilir. Örneğin, önerilen algoritmaya göre, 1. alıcı düğüm 1. KB'den sonra 2. KB'ye gitmesi gerekirken 8. KB'deki patlak trafik verilerini toplayabilmek için acil olarak 8. KB'nin yedeğini tutan 8. KB'ye en yakın 8x KB'ye gitmek zorunda kalır. Patlak trafiğin olduğu düğüme giderken alıcı düğümün hızı artar. Bu sayede, veri toplama gecikmesi azaltılmış olur. 8x KB 8. KB'deki verilerin kaybolma ihtimaline karşılık verileri tutan bir algılayıcı düğümdür. Aslında, patlamalı trafik oluşacağını sezdiği an her KB'nin yedeğini tutan bir en yakın düğüm bulunur. Daha sonra GA düğüm sırasıyla 7, 2 ve 3. diğer KB'leri ziyaret ederek kaynak noktasına varır ve bir turunu tamamlanmış olur. 2. küme grubunda ise; algoritmaya göre, 2. alıcı düğüm

sırasıyla 10, 6 ve 5. KB'leri ziyaret ettikten sonra 4. KB'ye gitmesi gerekirken 9. KB'deki patlak trafik verilerini toplayabilmek için acil olarak en yakın 9. KB'nin yedeğini tutan 9y KB'ye gitmek zorunda kalır. Daha sonra GA düğüm sırasıyla 4. diğer KB'yi ziyaret ederek en sonunda kaynak noktasına varır ve bir turunu tamamlanmış olur. Bu şekilde patlak trafik farkındalı yöntemle paket kaybı önemli ölçüde azaltılabilmektedir.



Şekil 4. Önerilen grup kümeli ve patlak trafik farkındalı heterojen KAA topolojisi

KB'ler seçildikten sonra ( $KB^r$ ), oluşturulan grafta bulunan çeşitli konumlardaki KB'ler önerilen Algoritma 1'deki *APTSırala* algoritmasına göre sıralanır. Başlangıçtaki graftaki algılayıcı düğüm sıralamalarına göre değil tanımlanan her KB'lerin konumlarını içeren yolların bulunduğu bir graftaki yol güzergâhlarının ağırlık nesnesine ( $w$ ) göre sıralanır. Bu ağırlık nesnesi önerilen efektif ağırlık tabanlı bir fonksiyona göre oluşturulur. GA düğüm, minimum ağırlık nesnesine sahip güzergâhı tüm yol listesinden seçer ve bu yola göre hareket eder.

Daha sonra, adaptif bir GA yönlendirme problemi tanımlıyoruz.

**Problem Tanımlama:** Adaptif gezgin alıcı yönlendirme problemi

Bu aşamada, araç yönlendirme problemi [21] tabanlı bir problemi (*VRP*) tanımlıyoruz. Denklem (15)'te GA'lar tarafından gezilen kenarların uzunluklarını minimize etmek amaçlanır.

$$x_{em} = \begin{cases} 1, & \text{kenar } e, GA_m \text{ tarafından gezildi ise} \\ 0, & \text{Yoksa} \end{cases} \quad (15)$$

Burada,  $x_{em}$ , toplamda  $E$  kenar içerisinde  $e$  kenarının  $m$ . GA tarafından gezilip gezilmediğini tanımlar. Bu çalışmada 2 adet GA var olduğu için  $m=2$ 'dir. Kenar uzunluğu ise denklem (16)'da  $d_e$  ile tanımlanmıştır. Dolayısıyla tüm kenar uzunluklarının minimize edilmesi gerekir.

$$\text{Minimize edilir } \sum_{e \in E} d_e \sum_{m=1}^2 x_{em} \quad (16)$$

Denklem (17) 'de  $y_{im}$   $r$ . tur için  $i$ .  $KB^r_i$  düğümün GA tarafından gezilip gezilmediğini tanımlar. Dahası,  $y_{im}$  değeri  $KB^r$  set içinde herhangi bir  $i$  düğümü mutlaka  $GA_m$  tarafından gezileceği için denklem (18)'deki gibi toplamı 1'dir.

$$y_{im} = \begin{cases} 1, & KB^r_i, GA_m \text{ tarafından gezildi ise} \\ 0, & \text{Yoksa} \end{cases} \quad (17)$$

$$\sum_{m=1}^2 y_{im} = 1 \quad \forall i \in KB^r \text{ set} \setminus \{0\} \quad (18)$$



$x_{em}$  ve  $y_{im}$  birbiriyle kenar düğüm ilişkisi çift yönlü olduğundan ötürü denklem (19) sağlanmalıdır.

$$\sum_{e \in \gamma(i)} x_{em} = 2y_{im} \quad \forall i \in KB^r \text{ set } m=1,2 \quad (19)$$

Burada  $\gamma(i)$ ,  $i$ . düğüm için kenar-düğüm bağlantısını ifade etmektedir. Ayrıca GA düğüm için  $r$ . tur için tüm  $KB^r$  set içindeki düğümleri dolaşacağı ve diğer tur için başlangıç noktasına döneceği için kenarlar düğümlerden fazla olacağından ötürü  $x_{em} \geq 2y_{jm}$  şartı denklem (20)'deki gibi sağlanmalıdır.

$$\sum_{e \in \gamma(S)} x_{em} \geq 2y_{jm} \quad \forall i \in KB^r \text{ set} \setminus \{0\}, \\ j \in S, m=1,2 \quad (20)$$

Bu probleme çözüm sunmak adına Problem Çözümü'nde denklem (22) ve (23) ile hesaplayabilmek için, Algoritma 1'i öneriyoruz.

**Algoritma 1.** Ağırlık-patlak trafik değere göre KB sıralama algoritması (*APT*sırala).

1: **Giriş:**  $G(V, E)$ ,  $r$ .

2: **Çıkış:**  $P(t)$

3:  $Y = VRRP(G)$ ,  $Y = \{Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_T\}$

4:     **for**  $i = 1$  to  $T$  **do**

5:          $y[i, j] \leftarrow Y^{(ij)}$

6:          $Y_{cost} [i, j] \leftarrow w(Y^{(ij)})$

7:         **while**  $Mini < k < j$  **d**

8:              $Y_{cost}' = \{Y_{cost} [i, k] + Y_{cost} [k + 1, j]\}$

9:             **if**  $Y_{cost}' \leq Y_{cost} [i, j]$  **then**

10:                  $y[i, j] \leftarrow Y_{cost}'$

11:                  $P(t) \leftarrow y[i, j]$

12:             **end if**

13:         **end while**

14:     **end for**

15: **return**  $P(t)$

**Problem Çözümü:** Ağırlık-patlak trafik değere göre KB sıralama algoritması (*APT*sırala).

Denklem (21)'de,  $z_{im}$ ,  $m$ . GA grubuna ait olan  $i$ . KB düğümü için patlak trafiğe sahip olup olmadığını belirler.

$$z_{im} = \begin{cases} 1, & PTB = 1 \text{ ise} \\ 0, & PTB = 0 \text{ ise} \end{cases} \quad (21)$$

Dolayısıyla,  $x_{em}$ ,  $y_{im}$ ,  $z_{im}$  kullanılarak tüm  $KB^r$  'ler için yol sıralamaları hesaplanmak için denklem (22) tasarlanır. Burada,  $v_m$ , GA düğümün adaptif belirlenmiş hızıdır. Bu ifade minimize edilerek  $Y$  olarak tanımlanan birçok GA yol güzergâhları oluşur.

$$\text{Minimize edilir } \max_{1 \leq m=2} \sum_{e \in E} d_e x_{em} \frac{\sum_{i \in KB^r \text{ set}} y_{im} z_{im}}{2 * v_m} \quad (22)$$

Daha sonra, elde edilen  $Y$  yollarını ağırlık sıralamasından da geçirmek için grafitan yararlanılır. Bir graf  $G = (V, E)$  ile ifade edilirse ve belirli bir kaynak ( $k$ )-hedef ( $h$ ) verilen  $k - h$  ile ilişkisinde,  $Y = \{Y_1, \dots, Y_T\}$  arasında bir gezgin yol bulunur.  $T$  gezgin yol sayısıdır. Bu yolun ağırlığı (*weight*,  $w$ ) denklem (23)'teki gibi hesaplanır.  $v_m$  ise gezginlik hızı olarak kullanılmaktadır.

$$w = w(Y) = \sum_{i=1}^T w_i (Y_i) + \sum_{i=1}^{T-1} c * (Y_i, Y_{i+1}) \quad (23)$$

$$c = \frac{1}{B_{dec}} \quad (24)$$

$w$ 'si minimum olan minimum gezgin yol olarak atanır. Ağırlığı ( $w$ ) belirleyen  $c$  değerinin özelliği ağırlık parametresine ve yoldaki KB'lere ait patlak trafiğe göre denklem (24)'e göre belirlenir.  $y[i, j] = Y^{(ij)} \dots Y^{(ij)}$   $j-i+1$  benzer yollar olup  $Y_{cost} [i, k]$ ,  $Y_{cost} [k + 1, j]$  iki dizinin birleştirilmesi anlamına gelir. Algoritma 1'e göre  $Y = VRP(G)$  tanımlaması yapılır. Son olarak maliyeti en düşük olan  $Y_{cost}'$  yol, GA düğümün güzergâhı  $P(t)$  olarak atanmak için kullanılır.

**Varsayım:** Kablosuz ağda, her küme gruplarına ait GA düğümler graftaki tüm  $y[i,j]$  güzergâhlarını ve KB düğüm koordinatlarını bilmektedir. Başlangıçta ağdaki tüm KB'ler düğüm enerjilerine göre seçilmiş bulunmaktadır.

Burada asıl amaç sadece olabildiğince en kısa yolla GA güzergâhları belirlemek değil, diğer çalışmaların aksine adaptif-efektif ve patlak trafik farkındalı bir GA gezginlik modelleri oluşturmaktır. Aslında, GA yol güzergâhı Algoritma 1'e göre sıralı şekilde belli olur.

Patlak trafik farkındalı adaptif gezginlik modeli (*PTGM*), Algoritma 2'de sözde kod olarak sunulmuştur.

**Algoritma 2** Patlak trafik farkındalı adaptif gezginlik modeli (*PTGM*).

```

1: Giriş:  $G(V, E)$ ,  $r$ .
2: Çıkış:  $p_1(t)$ ,  $p_2(t)$ 
3:  $GA = KNN(G)$ ,  $GA = \{GA_1, GA_2\}$ 
 $P = \{KB_1, KB_2, KB_3, \dots, KB_n\}$ 
4: for all  $KB_i \in P$  do
5:   if  $KB_i \in GA_1$  then
6:      $K_1 \leftarrow APTsırala(GA_1)$ 
7:     while all  $KB_i.KN(i) \in K_1$  do
8:        $\kappa_i \leftarrow K_1.KN(i)$ ;
9:        $d_{\kappa_i} \leftarrow \gamma(\kappa_i, \kappa_{i+1})$ 
10:       $\widehat{K}_1 = \widehat{K}_1 \cup \{d_{\kappa_i}\}$ 
11:    end while
12:   else
13:      $K_2 \leftarrow APTsırala(GA_2)$ 
14:     while all  $KB_i.KN(i) \in K_2$  do
15:        $\kappa_i \leftarrow K_2.KN(i)$ 
16:        $d_{\kappa_i} \leftarrow \gamma(\kappa_i, \kappa_{i+1})$ 
17:        $\widehat{K}_2 = \widehat{K}_2 \cup \{d_{\kappa_i}\}$ 
18:     end while
19:   end if
20: end for
21: for  $i = 0$  to  $P.length() + 1$  do
22:    $\widehat{K}_1$ 'yi  $p_1(t)$ 'e ekle,  $t = 2i$ 
23:    $\widehat{K}_2$ 'yi  $p_2(t)$ 'e ekle,  $t = 2i$ 
24: end for
25: return  $p_1(t)$ ,  $p_2(t)$ 

```

GA düğümlerin yörüngelerini belirlerken bir protokol tarafından kullanılan yolun maliyetinin, aynı ağ geçmişi için optimum gezgin yolun maliyetine (*cost*) olan ortalama oranı dikkate alınmıştır. Bir oturumda kullanılan yolun topoloji değişiklikleri gibi ağ dinamikleri nedeniyle zaman içinde değişebileceği düşünülmüştür. Küme grubu içerisinde alıcı düğümün en kısa yolu bulunurken optimizasyon problemlerine tipik olarak uygulanan dinamik programlama metodu kullanılmaktadır. Küme grubundaki tüm olası yollar bir  $G(V, E)$  grafında kaydedilir. Bu grupta  $GA_1$  ve  $GA_2$  en yakın komşuluğa göre  $GA = KNN(G)$  şeklinde gruplanır. Daha sonra KB'ler kümesi  $P$ 'ye dâhil olanlar hangi GA'ya bağlıysa o gruba *APTsırala* algoritması uygulanarak  $K_1$  ve  $K_2$  sıralı KB kümeleri elde edilir. Bundan sonra KB'lerin konum noktalarının bulunması için  $KN(i)$ 'ler öklit algoritmasıyla  $\kappa_i$  olarak belirlenir.  $d_{\kappa_i}$  kesişim noktalarının uzaklıkları belirlenerek bu uzaklıklar  $\widehat{K}_1$  ve  $\widehat{K}_2$  olarak birleştirilir.

Son olarak bu birleştirilen uzunluklar GA'ların yol güzergâhları olarak  $p_1(t)$  ve  $p_2(t)$  atanır. Sonuç olarak; adaptif ve trafik farkındalı gezginlik modeli üretilmiş olur.

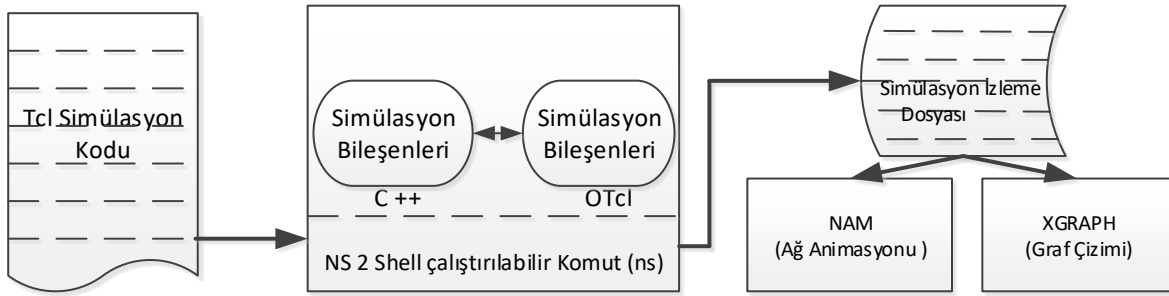
### 3. Bulgular ve Tartışma

Önerilen BTA-MM olarak adlandırılan şema, Ubuntu 14.04 LTS işletim sisteminde kurulu NS-2 ortamını kullanarak benzetimler yoluyla mevcut yöntemler olan DPPMSBT [17], MEACBM [12] ve EGRPM [18] yöntemleriyle karşılaştırılmıştır.

#### 3.1. Benzetim Kurulumu

Bu çalışmada kullanılan benzetim parametreleri için Tablo 1'i sunuyoruz. Şekil 5'ten de görüldüğü üzere NS-2 programında yazılan tüm benzetim kodları Tcl benzetim kodlarında tutulur. Terminal ekranında proje dosyasının olduğu yere ulaşıp "*proje.tcl*" dosyası çalıştırıldığında benzetim bileşenleri C++ ve OTcl (Object Tcl, Nesne Tcl) altyapısıyla NS-2 Shell çalıştırılabilir komut satırlarına dönüşür. Bu şekilde oluşan benzetim izleme dosyası (trace file), Ağ animasyon (Network Animation, NAM) dosyaları sayesinde ağ animasyonu yapılmasına olanak sağlar. AWK kodları kullanarak izleme dosyaları (Trace File) çıktı olarak alınmıştır. AWK, ismini Alfred Aho, Peter Weinberger ve Brian Kernighan adlı yazarların soyadlarının baş harflerinden almış yorumlanabilir bir programlama dilidir. AWK programlama dilinin metin işleme, biçimlendirilmiş metin raporları üretmek, aritmetik işlem yapmak, dize işlemleri yapmak ve daha pek çok işlem gerçekleştirme özelliği vardır.

Benzetim senaryolarında ".tr" uzantılı dosyalar ve NS-2'ye kurduğumuz XGraph programı sayesinde performans analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu dosyalarda oluşan analiz verileri excel formatında performans sonucu olarak sunulabilir.



Şekil 5. NS2'de benzetim dosyaları ile ağ animasyonun ve graf çiziminin yapılması

BONNMOTION aracı kullanarak adaptif gezginlik senaryoları oluşturulmuş ve oluşturulan komut dosyalarını TCL komut dosyalarına entegre edebilmeleri için desteklenen NS-2 biçimine dönüştürülmüştür. Sabit bit oranı (Constant bit rate, CBR) ve transfer kontrol protokol (Transfer control protocol, TCP)'nin rasgele trafik bağlantıları, trafik senaryosu oluşturucu komut dosyası (*cbrgen.tcl*) kullanılarak GA düğümler arasında ayarlanabilir.

Kablosuz gezgin düğümler arasında CBR ve TCP trafik bağlantıları oluşturmak için kullanılabilir. Bu dosya önerilen yöntemle geliştirilmiştir. Trafik bağlantısı dosyası oluşturmak için, CBR düğüm sayısı ve aralarında ayarlanacak maksimum bağlantı sayısının tanımlanması gerekir. CBR genellikle sınırlı kapasite kanallarındaki multimedya trafiğini simüle etmek veya analiz edilen diğer uygulamaların performansını etkilemek için arka plan trafiğini doldurmak için kullanılır. TCP kaynakları, ağına yüküne adapte oldukları için seçilmemektedir. Benzetimler, CBR trafik kaynaklarına sahip farklı sayıda düğümler için saniyede birden fazla paket hızında (örn. 2, 3, 4 vs.) trafik modelleri üretilmiştir. Belirli saniyelerle duraklama süreleri, minimum ve maksimum hız, belirli topoloji sınırına sahip farklı sayıda düğüm kullanan ve benzetim süresi için gezginlik modelleri oluşturulmuştur. Çalışmamızdaki benzetimlerde, örnek olarak  $v = 150$  paket/sn,  $\partial_p = 10$ ,  $\partial = 50$  paket ve  $K_u$  Algoritma 1'den sonra belirlenen herhangi bir KB'ye ilişkili olan küme üye sayısıdır. Bu değerler verilerek patlak trafik senaryoları oluşturulmuştur.

**Tablo 1.** Benzetimlerde kullanılan parametreler

Parametreler	Değerler
Ağ simülatörü	NS-2
Toplam düğüm sayısı ( $N$ )	100-500
Ağ alanı	200 x 200 m <sup>2</sup> -500 x 500 m <sup>2</sup>
Normal düğüm sayısı	$N * 0.6$
Gelişmiş düğüm sayısı	$N * 0.3$
Süper düğüm sayısı	$N * 0.1$
Normal düğüm başlangıç enerjisi	1 J
Gelişmiş düğüm başlangıç enerjisi	2 J
Veri paket boyutu ( $L$ )	2000 bit
İletişim aralığı ( $CR$ )	30 m
Algılayıcı düğüm dağıtımı	Tekdüze
Baz istasyonu (BS)	(0,0)
Benzetim süresi	2000 saniye
$N_{ack}$	200 bit
$p$	0.2
$k$	2500
$A$	40
$t_{elec}$	$0.3 \times 10^{-3}$ saniye
$N_{cog}$	4000
$v$	150 paket/sn
$\partial_p$	10
$\partial$	50 paket
$\alpha$	0.01
$\omega$	0.02
$\varphi$	0.03

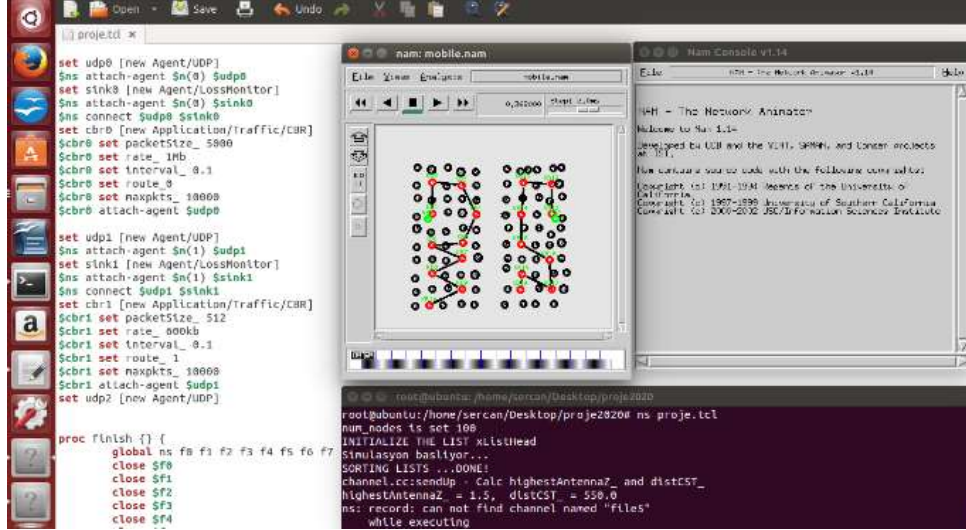
Şekil 6’da önerilen kümeleme ve KB sıralama için yazılan Algoritma 1’in kod parçasını göstermektedir. Şekil 6’dan da görüldüğü üzere örnek olarak 3 düğümün komşuluk düğümleri belirlenmiştir.

```
#Kümeleme algoritmasına göre dugumlerin komşu olarak belirlenmesi
set b1 0
set a1 [ expr $count{0}+$count{1} ]
for {set i $count{0}} {$i < $a1 } {incr i} {
set neighbour2($b1) $nei{$i}
set dd "set neighbournode(1) $neighbour2($b1)"
puts $outl $dd
set b1 [ expr $b1+1 ]
}
set b2 0
set a2 [ expr $a1+$count{2} ]
for {set i $a1} {$i < $a2 } {incr i} {
set neighbour3($b2) $nei{$i}
set dd "set neighbournode(2) $neighbour3($b2)"
puts $outl $dd
set b2 [ expr $b2+1 ]
}
set b3 0
set a3 [ expr $a2+$count{3} ]
for {set i $a2} {$i < $a3 } {incr i} {
set neighbour4($b3) $nei{$i}
set dd "set neighbournode(3) $neighbour4($b3)"
puts $outl $dd
set b3 [ expr $b3+1 ]
}
```

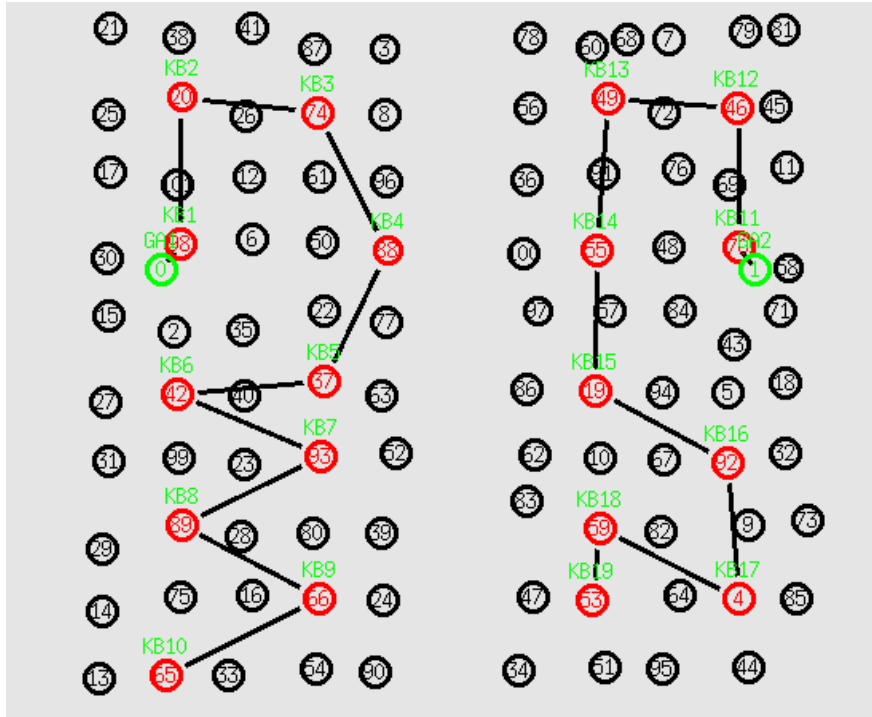
**Şekil 6.** Kümelemede düğümlerin komşu düğümlerinin sıralanarak KB’lerin bağlanması

Şekil 7, çalışmadaki gezgin düğümlerin yapılandırma kodlarını ve animasyon dosyalarının çalıştırılması esnasındaki örnek bir görüntüsünü vermektedir. Şekil 7’de, “proje.tcl” dosyası, “mobile.nam” dosyası ve terminal ekranı bir arada nasıl kullanıldığı aktarılmıştır ve proje dosyalarının çalışma şekli gösterilmiştir. Şekil 8, 500 × 500 m<sup>2</sup> ağ boyutunda konuşlandırılmış 100 düğüm için önerilen kümeleme oluşumuyla heterojen ağ modelini göstermektedir. Ağda, KB’ler kırmızı boyalı düğümlerle temsil edilirken diğerleri siyah boyalı düğümlerdir. Yeşil renkli GA1 ve GA2 ise sırasıyla 1. ve 2. küme grubuna ait gezgin alıcı düğümleri temsil eder. Şekil 8’den de açıkça görülmektedir ki GA’lar

KB'lerin konum noktalarına eriştikleri zaman verileri bu düğümlerden toplarlar. Dahası, GA1 ve GA2'nin mobil yörüngeleri birbirinden farklı olmaktadır. Toplam mobil yörünge uzunluğu bu iki GA'nın aldığı yol uzunluğunun toplamı şeklinde hesaplanır. Böylece düğüm trafik yoğunluğu esas alınarak ağdaki veri çarpışması olabildiğince azaltılarak enerji verimliliği iyileştirilmiş olur. Benzetimlerde KAA-1 ve KAA-2 olmak üzere 2 adet senaryo düşünülmüştür. KAA-1 ve KAA-2, sırasıyla 200 x 200 m<sup>2</sup> ve 500 x 500 m<sup>2</sup> 'lik ağ alanlarından oluşan ağ simülasyon senaryolarını belirtmektedir.



Şekil 7. Çalışmadaki gezgin düğümlerin yapılandırma kodları ve animasyon dosyalarının çalıştırılması



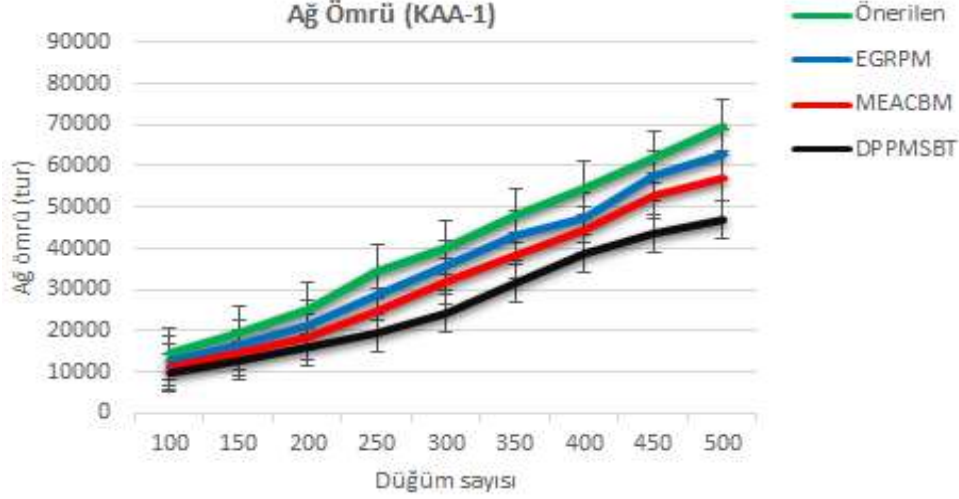
Şekil 8. Oluşturulan kümeli bir KAA topolojisi: KB'lerin seçilmesi ve GA yörüngesinin belirlenmesi

## 3.2. Benzetim Sonuçlarının Değerlendirilmesi

### 3.2.1. Ağ Ömrünün Değerlendirilmesi

Ağ ömrü simülasyon süresince gezgin alıcının toplam mobil tur sayısıdır ( $R$ ). Bu performans analizinde, ağın yoğunluğuna göre değerlendirmek için ağ alanına 100 ile 500 düğüm arasında değişen düğümler

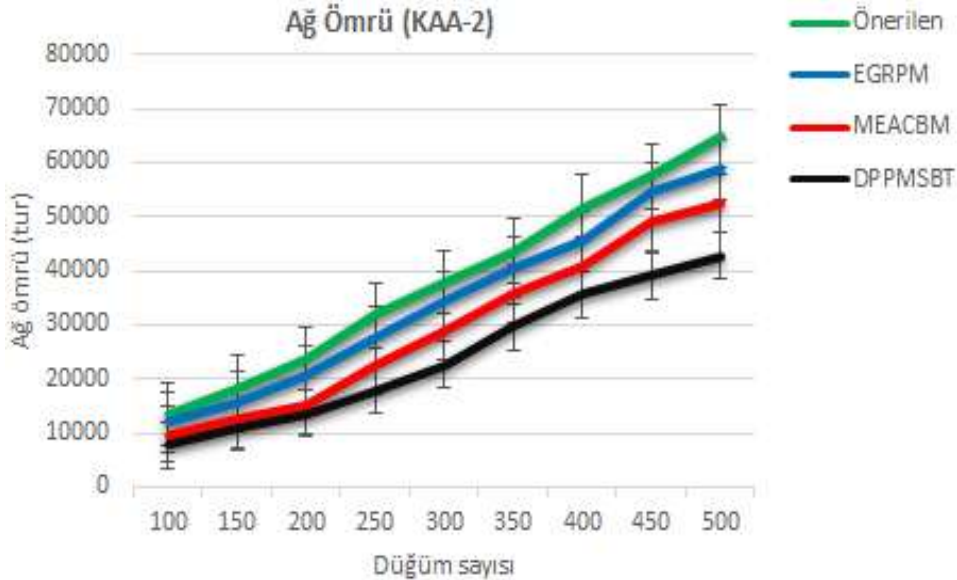
dağıtılmıştır. Önerilen yöntem, KAA-1 ve KAA-2 olmak üzere iki adet senaryo ile tüm algoritmalar arasında değerlendirilmiştir. Şekil 9'dan, 100 düğümlü ağda, önerilen yöntemle 14528 tur ağ ömrü başarılmasına rağmen, EGRPM, MEACBM ve DPPMSBT yöntemlerinde sırayla 12761, 11245 ve 9820 tur başarı sağlanabildiği görülmektedir. Şekil 9 ve Şekil 10'dan, ağdaki düğüm sayısı arttıkça ağ ömrünün de arttığı gözlenmiştir.



Şekil 9. Ağ ömrünün ağdaki düğüm sayısına göre performans analizi (KAA-1)

Şekil 9'dan da anlaşıldığı üzere, 500 düğümlü ağda, önerilen yöntemle 69843 tur ağ ömrü başarılmasına rağmen, EGRPM, MEACBM ve DPPMSBT yöntemlerinde sırayla 62749, 57267 ve 46878 tur başarı sağlanmıştır.

Şekil 11'den, ağ alanı arttıkça bütün algoritmalar için ağ ömrünün azaldığı gözlenmiştir. Ancak, önerilen yöntem çalıştırıldığında 500 x 500 m<sup>2</sup>'lik ve 500 düğümlü ağda en yüksek olarak 64924 ağ ömrü elde edilmiştir. Görüldüğü üzere en yüksek performans önerilen metotla başarılmıştır. Bunun nedeni, önerilen yöntemlerin en iyi KB ve gezgin GA yolu keşfedebilmesidir.



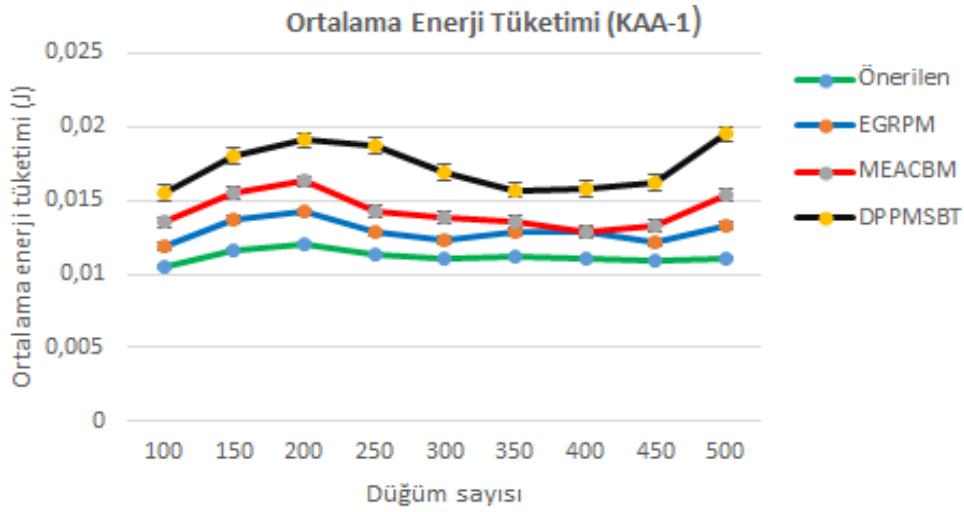
Şekil 10. Ağ ömrünün ağdaki düğüm sayısına göre performans analizi (KAA-2)

### 3.2.2. Ortalama Enerji Tüketiminin Değerlendirilmesi

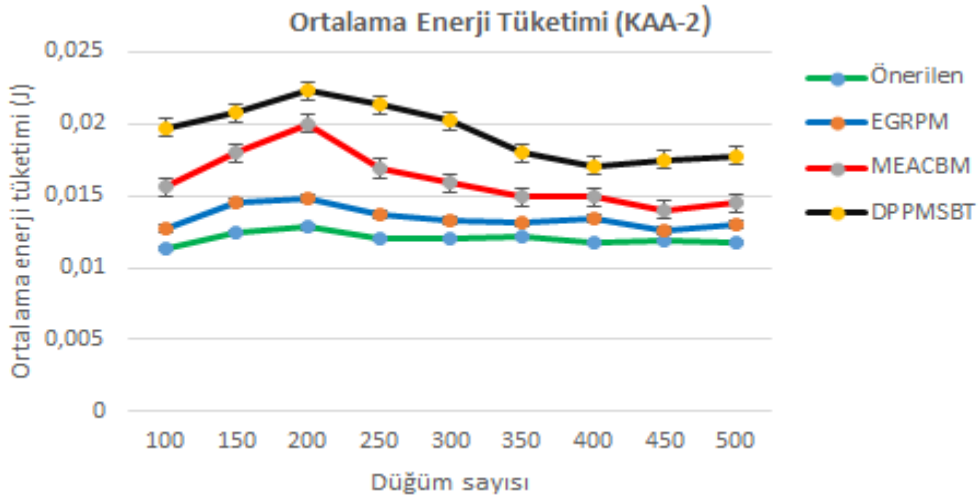
Ortalama enerji tüketimini ağdaki düğümler tarafından tüketilen ortalama enerji miktarı olarak denklem (25)'teki gibi tanımlıyoruz. Burada,  $N_{ec}$  ağda tüketilen toplam enerji miktarıdır. Önerilen yöntem, KAA-

1 ve KAA-2 olmak üzere iki adet senaryo ile tüm algoritmalar arasında değerlendirilmiştir. Bu performans analizinde, ağı yoğunluğuna göre değerlendirmek için ağ alanına 100 ile 500 düğüm arasında değişen düğümler dağıtılmıştır. Benzetimler için Tablo 1'deki parametreler kullanılmıştır. Şekil 11 ve 12'de görüldüğü gibi önerilen algoritma ile en düşük ortalama enerji tüketiminin sağlandığı görülmektedir. Örneğin Şekil 11 (KAA-1), 100 düğümlü ağda, önerilen algoritma, EGRPM, MEACBM ve DPPMSBT yöntemleri çalıştığı sırada sırasıyla 0.0105, 0.0119, 0.0135 ve 0.0155 J ortalama enerji tüketimine sebep olduğunu açıkça göstermektedir. Şekil 12'den (KAA-2), büyük ölçekli ağlarda tüm algoritmalarda ortalama enerji tüketim artışının yaşandığı anlaşılmaktadır. Ancak, minimum enerji tüketimi önerilen algoritma tarafından sağlanır. Önerilen patlak trafik farkındalı yöntem ile ağda optimum ve dengeli kümeleme alt yapısı elde edilmiş ve önerilen algoritma en iyi performansı göstermiştir.

$$E_{ort} = \frac{N_{ec}}{R} \quad (25)$$



Şekil 11. Ortalama enerji tüketiminin ağdaki düğüm sayısına göre performans analizi (KAA-1)



Şekil 12. Ortalama enerji tüketiminin ağdaki düğüm sayısına göre performans analizi (KAA-2)

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, KAA'larda enerji tüketimi, gezgin yol planlaması ve patlak veri trafiği problemlerini çözebilmek için heterojen KAA'larda yeni bir trafik kontrollü yönlendirme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde, iki farklı yöntem önerilmiştir. Algoritma 1'de, ağırlık-patlak trafik değere göre küme başı sıralama algoritması (APT sırala) geliştirilmiştir. Algoritma 2'de ise, patlak trafik farkındalı adaptif gezginlik modeli (PTGM) önerilmiştir. Algoritma 2, Algoritma 1 ile birlikte çalıştırıldığında, gezgin

alıcılar tüm KB'lerin sınırına girer girmez tek-atlamalı tutumla tüm verileri toplar dolaşarak ağdaki tüm verileri toplarlar. Önerilen protokolü var olan çalışmalarla kıyaslamak için NS-2 benzetim platformunda ağ ömrü ve ortalama enerji tüketimi kriterlerince performans analizleri yapılmıştır. Benzetim sonuçları, önerilen protokolün diğer çalışmalardan üstün sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Ancak, bu çalışmada gezgin alıcı düğümlerin hızları tam olarak belirlenememiştir. Ayrıca, önerilen algoritmaların patlak trafik karar değerleri optimize edilmemiştir. Bu nedenle gelecek çalışmalarımızda, bu çalışmadaki algoritmaları adaptif gezgin hız algoritması ve patlak trafik karar mekanizmalarıyla birleştirilerek daha verimli yöntemler önerilmesi planlanmaktadır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TUBITAK) tarafından 120E379 numaralı proje ile desteklenmiştir.

### **Yazarların Katkısı**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamıştır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Singh J., Kaur R., Singh D. 2020. A survey and taxonomy on energy management schemes in wireless sensor networks. *Journal of Systems Architecture*, 111: <https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2020.101782>.
- [2] Mehrabi A., Kim K. 2015. Maximizing data collection throughput on a path in energy harvesting sensor networks using a mobile sink. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 15 (3): 690-704.
- [3] Vancin S., Erdem E. 2017. Implementation of the vehicle recognition systems using wireless magnetic sensors. *Sadhana Springer, Indian Academy of Sciences*, 42 (6): 841-854.
- [4] Khan R.A., Pathan A.S.K. 2018. The state-of-the-art wireless body area sensor networks: A survey. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 14 (4): 1-23.
- [5] Shi J., Wei X., Zhu W. 2016. An efficient algorithm for energy management in wireless sensor networks via employing multiple mobile sinks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12 (1): 1-9.
- [6] Kim B.S., Park H., Kim K.H., Godfrey D., Kim K.I. 2017. A survey on real-time communications in wireless sensor networks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017, 1-13.
- [7] Thomson C., Wadhaj I., Tan Z., Al-Dubai A. 2021. Towards an energy balancing solution for wireless sensor network with mobile sink node. *Computer Communications*, 170: 50-64.
- [8] Yarinezhad R., Hashemi S.N. 2019. Solving the load balanced clustering and routing problems in WSNs with an *fpt*-Approximation algorithm and a grid structure. *Pervasive and Mobile Computing*, 58: 101033.
- [9] Thomas S., Mathew T. 2018. Intelligent Path Discovery for a Mobile Sink in Wireless Sensor Network. *Procedia Computer Science*, 143: 749-756.
- [10] Mohamed R.E., Saleh A.I., Abdelrazzak M., Smara A.S. 2017. Energy-efficient routing protocols for solving energy hole problem in wireless sensor networks. *Computer Networks*, 114: 51-66.
- [11] Sabor N., Sasaki S., Abo-Zahhad M., Ahmed S.M. 2017. A comprehensive survey on hierarchical-based routing protocols for mobile wireless sensor networks: review, taxonomy, and future directions. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2017: 1-23.



- [12] Toor A.S., Jain A.K. 2019. Energy Aware Cluster Based Multi-hop Energy Efficient Routing Protocol using Multiple Mobile Nodes (MEACBM) in Wireless Sensor Networks. *International Journal of Electronics and Communications (AEÜ)*, 102: 42-53.
- [13] Darabkh K.A., Odetallah S.M., Alqudah Z., Khalifeh A.F., Shurman M.M. 2019. Energy-Aware and Density-Based Clustering and Relaying Protocol (EA-DB-CRP) for gathering data in wireless sensor networks. *Applied Soft Computing*, 80: 154-166.
- [14] Parashar V., Mishra B., Tomar G.S. 2020. Energy Aware Communication in Wireless Sensor Network: A Survey. *Materialstoday: Proceedings*, 29 (2): 512-523.
- [15] Daas M.S., Chikhi S., Bourenname El-Bay. 2021. A dynamic multi-sink routing protocol for static and mobile self-organizing wireless networks: A routing protocol for Internet of Things. *Ad Hoc Networks*, 117: <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2021.102495>.
- [16] Shahraki A., Taherkordi A., Haugen Q., Eliassen F. 2020. Clustering objectives in wireless sensor networks: A survey and research direction analysis. *Computer Networks*, 180: <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107376>.
- [17] Zhang L., Wan C. 2019. Dynamic Path Planning Design for Mobile Sink with Burst Traffic in a Region of WSN. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2019, Article ID 2435712: 1-8.
- [18] Naghibi M., Barati H. 2020. EGRPM: Energy efficient geographic routing protocol based on mobile sink in wireless sensor networks. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 25 (2020): 1-10.
- [19] Yalçın S., Erdem E. 2019. Bacteria Interactive Cost and Balanced-Compromised Approach to Clustering and Transmission Boundary-Range Cognitive Routing in Mobile Heterogeneous Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 19: 867.
- [20] Agamy A.F., Mohammed A.M. 2017. Performance Modeling of WSN with Bursty Delivery Mode. *Computer Science of Cornell University*, 1-12.
- [21] Christofides N., Mingozzi A., Toth P. 1979. *The Vehicle Routing Problem*. Wiley, Chichester, UK, 315-338.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Harran Ören Yeri Kazısında Bulunan Kabartma Yazıların Üç Boyutlu Olarak Modellenmesi**

Nizar POLAT<sup>1</sup>, Mehmet ÖNAL<sup>2</sup>, Yunus KAYA<sup>1\*</sup>, Abdulkadir MEMDUHOĞLU<sup>1</sup>,  
Neslihan KAYA<sup>3</sup>, Mustafa ULUKAVAK<sup>1</sup>, Süheyla İrem MUTLU<sup>2</sup>, Semih MUTLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Arkeoloji Bölümü, Şanlıurfa

<sup>3</sup>Sorbonne University, Department of Archaeology, Paris, France

(ORCID: 0000-0002-6061-7796) (ORCID: 0000-0002-5182-4443) (ORCID: 0000-0003-2319-4998)

(ORCID: 0000-0002-9072-869X) (ORCID: 0000-0001-8401-6306) (ORCID: 0000-0003-2092-3075)

(ORCID: 0000-0001-7935-2890) (ORCID: 0000-0003-2920-6275)

---

### **Öz**

Kültürel miras olarak da nitelendirilen arkeolojik eserlerin korunması ve kayıt altına alınarak gelecek nesillere ulaştırılması insanlığın ortak görevi olarak kabul edilebilir. Kültürel mirasın belgelenmesinde öncelikle tarihi eserlerin mevcut durumu belirlenmelidir. Bunun için literatürde çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Bu bağlamda, son zamanlarda teknolojik gelişmelere paralel olarak kültürel mirasın dokümantasyonu çalışmalarında fotogrametri tekniği yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Çoğunlukla harita ve sayısal yükseklik modeli gibi topografik ürünlerin elde edilmesi amacıyla kullanılan fotogrametri, iki boyutlu fotoğraflardan üç boyutlu bilgi sağlamasından dolayı farklı disiplinlere de katkıda bulunmaktadır. Bu sebeple arkeolojik eserlerin sayısal olarak dokümantasyonu çalışmalarda ciddi avantajlar sağlamaktadır. Bu çalışmada, Harran Ören Yeri kazı alanında bulunan tahrip olmuş bazı kabartma yazı örnekleri yersel fotogrametri ve hareketten Hareket Tabanlı Yapısal Algılama (SfM) yöntemiyle üç boyutlu olarak modellenmiştir. Çalışma sonunda yazılar için sayısal yüzey modeli oluşturulmuş ve bazı harf ve rakamlar kayıt altına alınmıştır. Yazılarda deformasyon ve eksiklikler bulunduğu için anlamlı bir kelime çıkarılmamıştır. Ancak çalışmanın sonuçları yersel fotogrametri ve SfM yönteminin avantajlarını barındırmaktadır. Arkeolojik alanlarda elde edilen benzersiz yapıtların fotogrametrik yöntemle ölçekli bir şekilde kayıt altına alınması önemlidir.

**Anahtar kelimeler:** Arkeoloji, Fotogrametri, 3B Model, Harran, Kitabe.

---

## **Three-Dimensional Modeling of Relief Scriptures Found in Harran Ruins Excavation**

### **Abstract**

It can be accepted as the common duty of humanity to protect archaeological artifacts as a part of cultural heritage and to deliver them to future generations by documenting them. In order to document cultural heritage, primarily the current status of historical artifacts should be determined. Various techniques are used in the literature for this. In this context, with the recent technological developments, photogrammetry technique has been used extensively in the documentation of cultural heritage. Photogrammetry, which is mostly used to obtain topographic products such as maps and digital elevation models, contributes to different disciplines as it provides three-dimensional information from two-dimensional photographs. Therefore, the digital documentation of archaeological artifacts provides serious advantages in studies. In this study, some of the relief scriptures found in the Harran Ruins excavation area were modeled as three dimensions by using terrestrial photogrammetry and the Structure from Motion (SfM) method. At the end of the study, a digital surface model was created for the scriptures and some letters and numbers were documented. Since there are deformations and deficiencies in the scriptures, no meaningful word has been derived. However, the results of the study have the advantages of the terrestrial photogrammetry and SfM method. It is important to document the unique artifacts obtained in archaeological sites on a scale with the photogrammetric method.

**Keywords:** Archaeology, Photogrammetry, 3D Model, Harran, Scripture.

---

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

Geliş Tarihi: 17.02.2021, Kabul Tarihi: 01.04.2021

## 1. Giriş

Tarihi eserler, yüzlerce yıllık bilgiye ev sahipliği yapan kültürel miraslardır ve bu bilgiler sonraki nesillere aktarılmalıdır. Bu tarihi miraslar, eski uygarlığın yaşam biçimini ve estetik anlayışını yansıtırken; savaşlar, depremler gibi doğal ve yapay etkilerden dolayı zaman içinde değişime uğramışlardır. Tarihi eserin doğal dokularının zarar görmeden belgelenmesi ve korunması, gelecek nesillere aktarılması için vazgeçilmez bir unsurdur. Sadece ülkemizde değil, dünyanın birçok yerinde kültürel mirasların zarar gördüğü bir gerçektir. Bu nedenle kültürel mirasın belgelenmesi çalışmaları tüm dünyada popüler konular arasındadır.

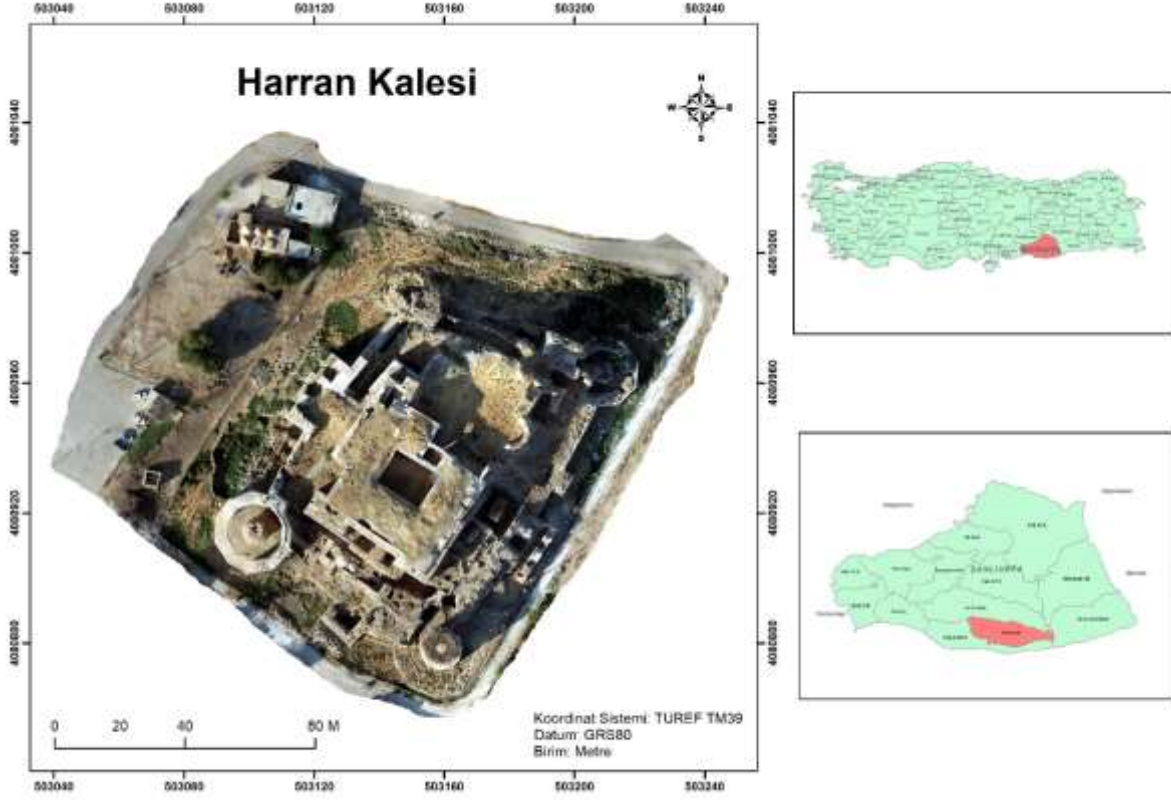
Tarihi alanların ve kültürel mirasların belgelenmesi, karmaşık ve çok yönlü bir süreçtir [1,2] Tarihi veya kültürel yapının dokümantasyonu, üç boyutlu (3B) uzayda yapının mevcut durumunu (şekil ve konum) belirlemek için gerekli olan etüt, süreç, depolama ve sunum adımlarının tamamını kapsar [3]. Kültürel mirasların belgelenmesi için birkaç teknik vardır [4,5]. Çok önemli ve gerekli olan bu tekniklerin başında fotogrametri [6-9] ve tarama yöntemleri [10] gelmektedir [4,11,12]. Bu noktada fotogrametrinin kısa sürede güvenilir bilgi sağlayabilmesi büyük bir avantajdır [13,14].

Günümüzde, fotogrametri ve bilgisayarlı görüş disiplinlerinin gelişmesiyle, görüntü tabanlı modelleme teknikleri lazer taramaya ciddi bir rakip haline gelmiştir [15]. Görüntü tabanlı modellemenin bazı dikkate değer avantajları şunlardır: düşük maliyetli ve renkli bilgiler içerir, kalibre edilmiş veya kalibre edilmemiş kameralar kabul edilebilir [16] ve lazer tarayıcıdan daha yoğun nokta bulutu oluşturabilir. Bu noktada klasik fotogrametriden farklı olarak hareket tabanlı yapısal algılama (Structure from Motion -SfM) yaklaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır [8]. SfM, Fotogrametri ile aynı temel koşullar altında çalışır. İlgili nesnenin 3B yapısını elde etmek için üst üste binen görüntüler kullanılır. *Agisoft Photoscan* gibi birçok ticari yazılım da 3B modelleme için yaygın olarak kullanılmaktadır. Genel olarak fotoğrafları eşleme, seyrek ve yoğun nokta bulutu üretme, üç boyutlu model, sayısal yükseklik modeli ve ortofoto gibi birçok ürün üretmeye imkân vermektedir. Görüntü işleme adımları ciddi zaman alabilmektedir. Bu sebeple tam performanslı bir 3B model üretimi için yüksek performanslı bilgisayar kullanımı özellikle önerilmektedir [17]. Bu çalışmada tarihi Harran Ören Yeri arkeolojik alanında bulunan Arapça yazılı kitabelerden bazı örneklerin SfM metoduyla üç boyutlu modelleri sayısal olarak oluşturulmuş ve harfler belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Çalışma, Şanlıurfa'nın Harran ilçesinde bulunan Harran Ören Yeri, İçkale'deki kazı alanında yapılmıştır (Şekil 1). İnsan uygarlığının çok eski yerleşim yerlerinden birisi olan Harran bölgesinin duvar yapıları ve altyapısı çok uzun bir süre içinde inşa edilmiş, onarılmış, büyütülmüş veya küçültülmüştür. Tarihi M.Ö. 5000 yılına kadar uzanan Eski Harran bölgesi Yukarı Mezopotamya'da yer alan önemli bir şehirdir. Bölgede farklı uygarlıklardan kalma pek çok sayıda tarihi eser bulunmaktadır. Bunlardan en önemlilerinden birisi de Harran kalesidir. Aktif kazı ve onarımın tamamlandığı kısımlar turistik amaçlı ziyarete açıktır. İlgili bölgeye ilişkin farklı zamanlarda arkeolojik çalışma yapılmıştır. Günümüzde Kültür ve Turizm Bakanlığı, Türk Tarih Kurumu, Harran Üniversitesi ve yerel desteklerle Prof. Dr. Mehmet ÖNAL ve arkeoloji ekibi tarafından Harran Ören Yeri'nde arkeolojik kazı çalışmaları yürütmektedir. İçkale'de yapılan çalışmalarda Kale Hamamı [18,19], Güney-Doğu Kapısı ve dikdörtgen kulesi ile kalenin batısında 2. savunma sistemi meydana çıkarılmıştır. Kazı çalışmaları, kale köprüsü kalıntılarında devam etmektedir. Çalışmada, Harran İçkale'nin 2. katında, Hamam'dan merkezi yapıya geçilen holde (Yazıt 2 ve Yazıt 3) ve Güney Doğu Galeri'de (Yazıt 1) bulunan Arapça yazılı taşlar çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan bu objelerden Yazıt 1 (HRK.15.12J-11f. Yüzey) koduyla, Yazıt 2 (HRK.20.12J-10e.404) koduyla ve Yazıt 3 (HRK.20.12J-10e.401) koduyla Harran kazıları kapsamında adlandırılmıştır.



Şekil 1. Harran kalesi arkeolojik kazı alanı

## 2.2. Ekipman

Arkeolojik alandaki yazılı taşlar yersel fotogrametri tekniğiyle belgelenmiştir. Çalışmada belgeleme işleminin hassas bir şekilde yapılabilmesi için objenin tamamını kapsayacak şekilde bindirmeli fotoğraflar gerekmektedir. Çalışmada bu işlem için Canon EOS 2000D model DSLR fotoğraf makinesi kullanılmıştır (Şekil 2). Kullanılan sayısal fotoğraf makinesi ilişkin bilgiler Tablo 1’de verilmiştir.



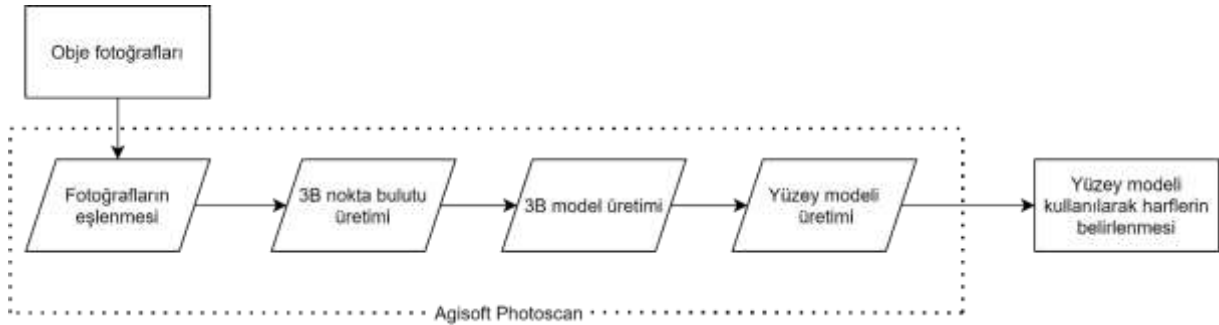
Şekil 2. Çalışmada kullanılan fotoğraf makinesi

Tablo 1. Kullanılan fotoğraf makinesinin teknik özellikleri

Özellik	Değer
Mega piksel	24.1
Maksimum Görüntü Çözünürlüğü	6000 x 4000
Ağırlık	475 g
Boyut	129 x 101.3 x 77.6 mm
Sensör Boyutu	22.3 x 14.9 mm

### 2.3. Yöntem

Çalışmada yerden çekilen fotoğraflarla üç farklı modele ait yoğun nokta bulutu ve 3B model üretilmiştir. İnsan boyundan daha büyük olmayan yapılar için kullanışlı bir yöntem olan yersel fotogrametri basit sayısal el kameralarıyla çekilen fotoğrafları yüksek hassasiyetli 3B modele dönüştürebilmektedir. Çalışmaya konu olan kabartma yazıları dünyada çok yoğun olarak kullanılan SfM metoduyla 3B olarak modellenmiştir. SfM yaklaşımı bilgisayarla görme topluluğu tarafından otomatik bir görüntü eşleme algoritması elde etmek için geliştirilmiş olsa da Stereoskopik Fotogrametri ile aynı temel koşullar altında çalışmaktadır [20-23]. Örtüşen görüntüler, ilgilenilen nesnenin 3B formunu elde etmek için kullanılır. Bununla birlikte, geleneksel Fotogrametri ile SfM arasında temel bir fark vardır. Geleneksel Fotogrametride, bir görüntüdeki noktaların 3B konumunu belirlemek için kameraların 3B konumu veya yer kontrol noktalarının (YKN) 3B konumu bilinmelidir. Bunun aksine, SfM, önceden tanımlanmış herhangi bir bilinen YKN seti olmadan geometrik parametreleri (yönelim, dahili ve harici parametreler) otomatik olarak belirler [24]. Bunun yerine, bu parametreler, aynı özelliklerin otomatik olarak eşleştirildiği yüksek düzeyde örtüşen bir görüntü seti kullanılarak eşzamanlı olarak çözülür [21]. Ardından, yinelemeli, doğrusal olmayan en küçük kareleri en aza indirme işlemi, eşleşen özellikleri görüntüden görüntüye izleyerek kamera konumlarını ve nesne koordinatlarını tahmin eder. Geleneksel fotogrametri ile karşılaştırıldığında, belirlenen kamera konumları görüntü uzayındadır, yani obje alanı göz önüne alındığında ölçek ve yönelim yoktur. Bu durum, harita üretimi gibi konularda az sayıda yer kontrol noktası kullanılarak 3 boyutlu benzerlik dönüşümü ile çözülmektedir [22]. Nesne modellenmesinde ise çoğu zaman ölçek belirlemek yeterli olmaktadır. Nesnenin kullanışlı bir 3B geometrisini elde etmek için, görüntülerin nesneyi tam olarak kaplaması gerekir. Bu şartın sağlanması için kameranın objeyi her açıdan görüntülemesinin gerçekleşmesi gereklidir. Çalışmada takip edilen adımlara ait iş akışı grafiği Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 3. İş akışı grafiği

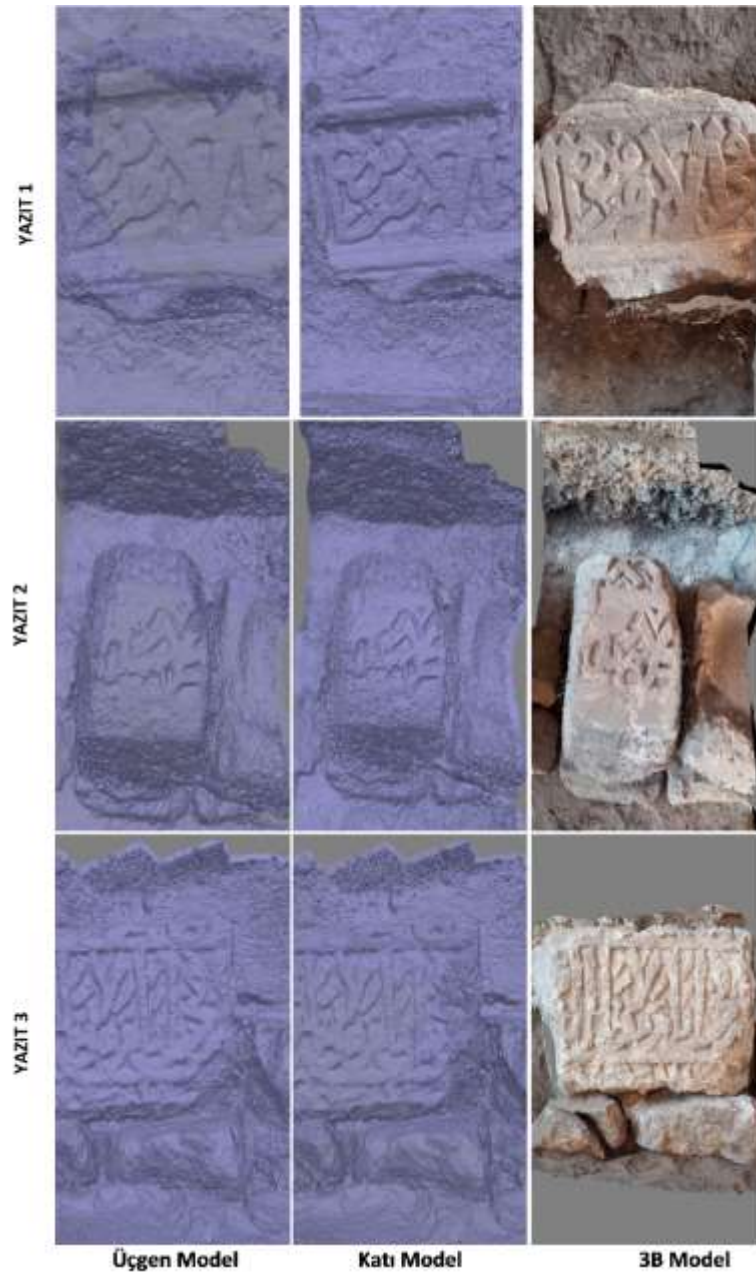
### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada tarihi Harran Ören Yeri arkeolojik kazı alanında tespit edilen üç farklı kesme taş üzerine kabartma yöntemiyle yazılmış Arapça yazıtlar ele alınmıştır. Kazı sonrası elde ettiğimiz kitabe parçaları zamanla kırılmış ve fiziksel değişime uğramıştır (Şekil 4). Geçirdiği fiziksel değişimler sonucu kitabelerin bazı kısımlarının okunması zorlaşmıştır. Kitabelerin sayısal olarak belgelenmesi için fotogrametri yöntemi ile 3B modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla kazılar sırasında bulunan ve sınıflandırılmayı bekleyen üç farklı yazı parçası örnek olarak incelenmiştir (Şekil 4).

Üç yazı parçası için yersel olarak sırasıyla 35, 46 ve 29 fotoğraf çekilmiştir. Yazıları tam olarak modelleyebilmek için mümkün olduğunca objelerin her yönden fotoğrafları alınmıştır. Taşlar kale duvarı dibine sıralandığı için duvar tarafından istenildiği sayıda fotoğraf elde edilememiştir. Çekilen fotoğraflar iş akışı grafiğinde verilen prosedür doğrultusunda işlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Örnek yazı parçalarına ait fotoğraflar



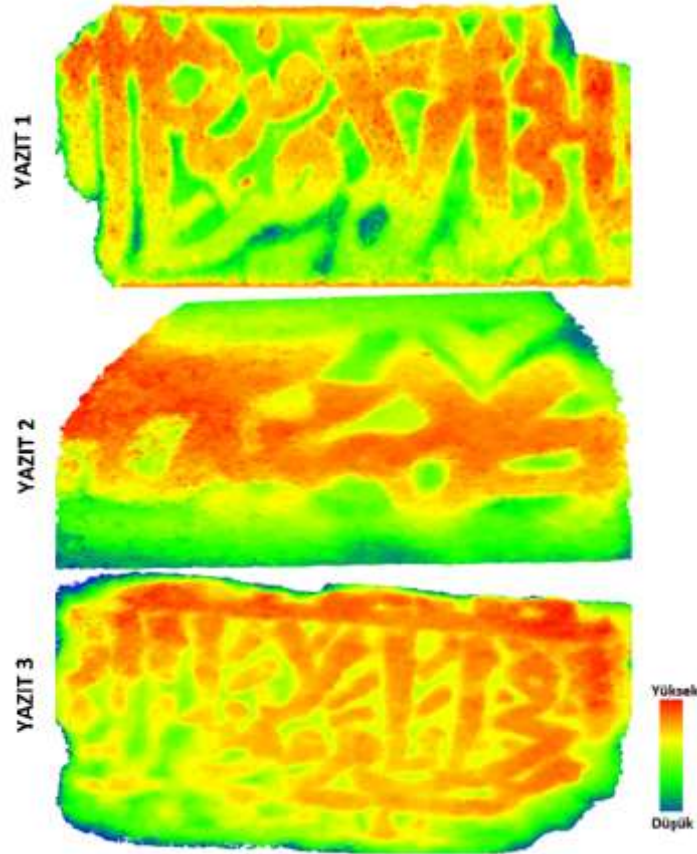
Şekil 5. Çalışma kapsamında yazılar için üretilen Üçgen, Katı ve 3B Model

Üretilen modeller farklı yazılımlarda kullanılabilir şekilde farklı dijital formatlara dönüştürülebilir durumdadır. Üretilen modellere ait bazı bilgiler Tablo 2 de verilmiştir.

**Tablo 2.** Yazı parçalarına ait bilgiler

	Fotoğraf Sayısı	Yoğun Nokta Bulutu	3B Model Üçgen Sayısı
Yazıt 1 (HRK.15.12J-11f. Yüzey)	35	8 297 347	55 315
Yazıt 2 (HRK.20.12J-10e.404)	46	10 829 555	63 912
Yazıt 3 (HRK.20.12J-10e.401)	29	5 672 835	40 293

Tablo 2’de de görüldüğü gibi çalışmada kullanılan taşlara ait nokta bulutları fotoğraf sayısı ile paraleldir. Fotoğraf sayısının en çok olduğu Yazıt 2’de en yoğun nokta bulutu üretilmiştir. Yazıt 3’te fotoğraf sayısı az olduğu için oluşturulan nokta bulutu da azdır. 3B model üçgen sayısı da nokta bulutu sayısına orantılı olarak artıp azalmaktadır. En düşük beş milyonun üzerinde 3B nokta üretilen yazılar, yüksek yoğunluk ile modellenmiştir. Üretilen nokta bulutlarından 3B modeller elde edilmiş ve bu modeller gerçek renk dokusuyla kaplanarak fotorealistik modeller elde edilmiştir. Modellerdeki harflerin daha net görselleştirmesi amacıyla modellerin sadece yazıların bulunduğu yüzeyi alınmış ve yüzeyin yükseklik modeli elde edilmiştir (Şekil 6). Üretilen yükseklik modeli sayesinde harflerin oluşturduğu kabartılar zeminden farklı bir şekilde renklendirildiği için harflerin okunabilirliği artırılmıştır.



**Şekil 6.** Yazı yüzeylerine ait yükseklik modeli

Bir anlamda harflerin taş üzerindeki kabartma haritası ya da derinlik haritası diyebileceğimiz bu model ile harflerdeki aşınma ve deformasyon daha net gözlenmiştir. Üretilen yüzey modellerinden, ciddi deformasyon olmasına rağmen uygulanan bu yöntem ile bazı Arapça harflerin okunmasını mümkün kılmıştır (Tablo 2).

**Tablo 3.** Yüzey modellerinden okunan bazı Arapça harfler

Arapça Harf	ا	ف	لا	ض	ر	م	ن	خ	ل
Türkçe Okunuş	Elif	Fe	Lamelif	Dat	Ra	Mim	Nun	Hı	Lam

Bazı Arapça harfler net okunurken bazı harfler okunamayacak durumda karşımıza çıkmaktadır. Harflerin okunmasını zorlaştıran en büyük etki kitabe yüzeyleri aşırı şekilde tahrip olmasıdır. Kitabe yüzeyindeki aşınma her harfte aynı şekilde görülmemektedir. Bu durum kitabede ortaya çıkan ve net bir şekilde anlaşılabilen harflerin birleştirmeye bir sonuca varılabildiğini sağlamaktadır.

Yazılardan anlamlı kelime elde edilememiştir. Çünkü her bir modelin ait olduğu cümlede önceki ve sonraki kelimeler bilinmemektedir. Ayrıca önemli oranda deformasyon bulunmaktadır. Bu noktada en dezavantajlı durum yazıların kırılmış olmasından ziyade okunmalarını doğrudan etkileyecek olan erime ve aşınma durumudur. Bilindiği gibi kabartma taş yazılarında aşınma olması, ilgili harfin silinmesi demektir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Gelecek nesillere aktarılması gereken kültürel miraslarımızın korunması ve belgelenmesi bakımından çok önemlidir. Bu kapsamda, Harran arkeolojik kazı alanında bulunan Arapça sülüs yazılı taşlardan seçilen örnekler fotogrametrik yöntemle modellenmiştir. Gerçekleştirilen üç boyutlu modelleme ile elde edilen dijital kayıtlar, eserlerin sayısal olarak arşivlerin oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Bunların yanı sıra elde edilen üç boyutlu modeller restorasyon ve restitüsyon çalışmalarında da kullanılabilir niteliktedir. Elde edilen üç boyutlu model ve nokta bulutu gibi fotogrametrik ürünler farklı disiplinlerdeki çalışmaların ihtiyaçlarına da cevap verecek durumdadır. Çalışmada üç farklı taş yazı parçası seçilmiş ve fotoğrafları çekilerek fotogrametrik olarak işlenmiştir. Sonuçta üç boyutlu model ve yazı yüzeyine ait sayısal yüzey modeli elde edilmiştir. Sayısal yüzey modelinden okunabilen harfler okunarak kayıt altına alınmıştır. Aşınma, kırılma ve yosun gibi çevresel etmenlerden dolayı zarar gören yazı parçaları, çıplak gözle okunması ve algılanması zor bir durumdur. Fotogrametrik yöntemle 3B olarak elde edilen modeller sayesinde algı ve okuma kolaylığı elde edilmektedir. Bu noktada objelerin kale içerisinde kısmen loş bir ortamda olması ve aydınlatmanın yetersiz olması en büyük zordur. Bu sorun flaş kullanılarak aşılmıştır. Sonuç olarak fotogrametrik yaklaşım, dijital belgeleme ve üç boyutlu modelleme açısından ciddi katkılar sunmaktadır. Önümüzdeki çalışmalarda kazı bölgesindeki diğer yazıtların da üç boyutlu modellenmesi ve mümkün olurda sayısal ortamda uygun parçaların birleştirilmesi yönünde planlamalar yapılmaktadır.

#### Yazarların Katkısı

Yazarların makaleye olan katkıları eşit miktardadır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Kulur S., Yilmazturk F. 2005. 3D Reconstruction of Small Historical Objects to Exhibit in Virtual Museum by Means of Digital Photogrammetry. CIPA XX. International Symposium, International Cooperation to Save the World's Cultural Heritage, 26 Sep.–01 Oct., Torino, Italy.
- [2] Ulvi A., Yakar M., Yiğit A.Y., Kaya Y. 2020. İHA ve Yersel Fotogrametrik Teknikler Kullanarak Aksaray Kızıl Kilise'nin 3 Boyutlu Nokta Bulutu ve Modelinin Üretilmesi. Geomatik Dergisi, 5 (1): 22-30.



- [3] Georgopoulos A., Ioannidis G. 2004. Photogrammetric and Surveying Methods for the Geometric Recording of Archaeological Monuments, Archaeological Surveys. FIG Working Week 2004, May 22– 27, 2004, Athens, Greece.
- [4] Bohler W., Heinz G. 1999. Documentation, surveying, photogrammetry. XVII CIPA Symposium. Recife, Olinda.
- [5] Şanlıoğlu İ., Zeybek M., Karauğuz G. 2013. Photogrammetric Survey and 3D Modeling of Ivриз Rock Relief in Late Hittite Era. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, 13 (2): 147-157.
- [6] Kaya Y., Yiğit A.Y., Ulvi A., Yakar M. 2021. Arkeolojik Alanların Dokümantasyonunda Fotogrametrik Tekniklerinin Doğruluklarının Karşılaştırmalı Analizi: Konya Yunuslar Örneği. *Harita Dergisi*, 165: 57-72.
- [7] Ulukavak M., Memduhoğlu A., Şenol H.İ., Polat N. 2019. Excavation Monitoring With UAV in Şanlıurfa Castle Archaeological Site. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1 (1): 23-26.
- [8] Polat N., Önal M., Ernst F.B., Şenol H.İ., Memduhoğlu A., Mutlu S., Mutlu S.İ., Budan M.A., Turgut, M., Kara H. 2020. Harran Ören Yeri Arkeolojik Kazı Alanınının Çıkarılan Bazı Küçük Arkeolojik Buluntuların Fotogrametrik Olarak 3B Modellenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 2 (2): 55-59.
- [9] Ulukavak M., Memduhoğlu A., Şenol H.İ., Polat N. 2019. The Use of UAV and Photogrammetry in Digital Documentation. *Mersin Photogrammetry Journal*, 1 (1): 17-22.
- [10] Senol H.I., Erdogan S., Onal M., Ulukavak M., Memduhoglu A., Mutlu S., Ernst F.B., Yilmaz, M. 2017. 3D Modeling of A Bazaar in Ancient Harran City Using Laser Scanning Technique. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42.
- [11] Scherer M. 2002. About the Synthesis of Different Methods in Surveying. XVIII International Symposium of CIPA, Potsdam, Germany.
- [12] Şenol H.İ., Memduhoglu A., Ulukavak M. 2020. Multi Instrumental Documentation and 3D Modelling of an Archaeological Site: a Case Study in Kizilkoyun Necropolis Area. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11 (3): 1241-1250.
- [13] Yakar M., Yıldız F., Özkütük A., Neşeli O., Kurhan E., Durdu O. 2011. Sultanhanı Kervansarayı Fotogrametrik Rölöve Alımı ve 3 Boyutlu Modelleme Çalışması. 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.
- [14] Şasi A., Yakar M. 2018. Photogrammetric Modelling of Hasbey Dar'ülhuffaz (Masjid) Using an Unmanned Aerial Vehicle. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 3 (1): 6-11.
- [15] Remondino F., Barazzetti L., Nex F., Scaioni M., Sarazzi D. 2011. UAV Photogrammetry for Mapping and 3D Modeling Current Status and Future Perspectives. *ISPRS ICWG I/V UAV-g Conference*, Zurich, Switzerland.
- [16] Colomina I., Blázquez M., Molina P., Parés M.E., Wis M. 2008. Towards a New Paradigm for High-Resolution Low-Cost Photogrammetry and Remote Sensing. *IAPRS&SIS*, 1201-1206.
- [17] Siebert S., Teizer J. 2014. Mobile 3D Mapping for Surveying Earthwork Projects Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) System. *Autom. Constr.*, 41: 1-14.
- [18] Önal M. 2019. Harran 2017 Yılı Çalışmaları, 40. Kazı Sonuçları Toplantısı 2. Cilt, Ankara, 632-650.
- [19] Önal M. 2020. Harran 2018 Yılı Çalışmaları, 41. Kazı Sonuçları Toplantısı 3. Cilt, Ankara, 157-180.
- [20] Tanskanen P., Kolev K., Meier L., Camposeco F., Saurer O., Pollefeys M. 2013. Live Metric 3D Reconstruction on Mobile Phones. in: 2013 IEEE Int. Conf. Comput. Vis., IEEE, 65-72.
- [21] Snavely N.K. 2009. Scene Reconstruction and Visualization From Internet Photo Collections. Doctoral Thesis, University of Washington.
- [22] Westoby M.J., Brasington J., Glasser N.F., Hambrey M.J., Reynolds J.M. 2012. Structure-from-Motion'photogrammetry: A Low-Cost, Effective Tool for Geoscience Applications. *Geomorphology*, 179: 300-314.
- [23] Micheletti N., Chandler J.H., Lane S.N. 2015. Investigating the geomorphological potential of freely available and accessible structure-from-motion photogrammetry using a smartphone. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40 (4): 473-486.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Fuzzy Logic Based Power Factor Correction in Single Phase AC-DC System**

Mehmet Akif ŞENOL \*

*Beykent University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Electrical-Electronics Engineering,  
Istanbul, Turkey  
(ORCID: 0000-0002-3797-1965)*

---

### **Abstract**

In recent years, there has been a significant increase in the number of power electronics converters used in both industrial and home appliances devices. The utilization of electronic ballasts and switching mode power supply in power conservation introduced the trouble of power quality. The currents used by these devices are not sinusoidal and these currents are known as non-linear. Boost type power factor correction (PFC) converters are becoming popular due to their conformity in power system quality problems. Conventionally, power factor correction converters were controlled using Proportional-Integral-Differential (PID) controller to reduce harmonic disturbances and enhance the power factor (PF). Conversely, for non-linear system, their performances are not very acceptable. Because PFC circuit is not linear, in this paper fuzzy logic (FL) controller used to adjust the gain PID controller to improve the performance is presented. It is proposed that when there is fluctuation in the voltage input, the input current should be made by a FL controller. This FL controller has a great effect by keeping the phase angle between current and voltage at a very small value, bringing the PF factor closer to 1.0. This great effect has also been demonstrated in experimental studies. The proposed FL based PFC controller converter is analyzed in MATLAB/Simulink environment under variable loads and different voltages. The Performance results (total harmonic distortion, PF and efficiency) has been calculated for different input voltage and different loads. From these results it can be seen that the PF value is always improved to a value greater than 0.985, efficiency is more than 85% and total harmonic distortion of current is around 4% to 12,5%. The performance results of the FL based PFC is in acceptable ranges in terms of THD according to IEC 61000-3-2. For the THD values the cubic polynomial regression analysis was performed in MATLAB/ Basic Toolbox. (Version R2020b).

**Keywords:** Power factor correction (PFC), fuzzy logic (FL), total harmonic distortion (THD), AC-DC rectifier, boost converter.

---

## **Tek Fazlı AC-DC Sistemde Bulanık Mantık Tabanlı Güç Faktörü Düzeltmesi**

---

### **Öz**

Son yıllarda hem endüstriyel hem de ev ve benzeri yerlerde kullanılan alet ve cihazlarda bulunan güç elektroniği dönüştürücülerinin sayısında önemli bir artış olmuştur. Güç tasarrufunda elektronik balastların ve anahtarlamalı güç kaynağının kullanılması güç kalitesi sorununu beraberinde getirmiştir. Bu cihazların kullandığı akımlar sinüzoidal değildir ve bu akımlar doğrusal olmayan akımlar olarak bilinir. Yükseltici (boost) tipi güç faktörü düzeltme (PFC) dönüştürücülerini, güç sistemi kalite sorunlarındaki uygunlukları nedeniyle popüler hale gelmiştir. Geleneksel olarak, güç faktörü düzeltme dönüştürücülerini, harmonik bozulmaları azaltmak ve güç faktörünü (PF) geliştirmek için Oransal-İntegral-Diferansiyel (PID) denetleyici kullanılarak kontrol edilmektedir. Ancak bunların, doğrusal olmayan sistem için performansları çok kabul edilebilir değildir. PFC devresi doğrusal olmadığından, bu makalede, performansını iyileştirmek için kazanç PID denetleyicisini ayarlamak için kullanılan bulanık mantık (FL) denetleyicisi öngörülmüştür. Gerilim girişinde dalgalanma olduğu zaman, giriş akımının bir FL kontrolörü tarafından yapılması önerilmektedir. Bu FL kontrolör, akım ve gerilim arasındaki faz açısını çok küçük bir değerde tutarak PF faktörünü 1.0'a yaklaştırarak büyük bir performansa sahiptir. Bu büyük performans, deneysel çalışmalarla da gösterilmiştir. Önerilen FL tabanlı PFC denetleyici dönüştürücü, MATLAB / Simulink ortamında değişken yükler ve farklı gerilimler altında analiz edilmiştir. Performans sonuçları (Toplam harmonik bozulma, PF ve verimlilik) farklı giriş gerilimleri ve farklı yükler için hesaplanmıştır. FL tabanlı PFC'nin performans THD sonuçları IEC 61000-3-2'e göre kabul edilebilir aralıklardadır. THD değerleri için MATLAB/Basic Toolbox'da (R2020b versiyonu) kübik polinomlu regresyon analizi yapılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Güç faktörü düzeltme (PFC), bulanık mantık (FL), toplam harmonik bozulma (THD), AC-DC doğrultucu, yükseltici (boost) tip dönüştürücü

---

\*Corresponding author: [akifsenol@beykent.edu.tr](mailto:akifsenol@beykent.edu.tr)

Received: 17.02.2021, Accepted: 19.04.2021

## 1. Introduction

Now day's electric power has been used in the different linear and nonlinear loads. The nonlinear loads used in the power system are energy efficient ballasts, solid state motor system and personal computers etc. The shape of the current is non-sinusoidal due to nonlinear loads and it introduced the trouble of power quality. Modern rectifiers and associated devices are drawing the non-sinusoidal current and it is distorted with harmonics. Generally, a switched mode power supply uses the diode rectifier in the AC-DC conversion systems. Due to diode rectifier, input current of the AC system draws the non-sinusoidal current i.e., short pulsating current [1]. The peak value of the current is always high in the diode rectifier to supply the same amount of power in form of short pulses. Due to this effect, electrical distribution system components such as circuit breakers, wiring, etc. are under stress. Due to this, harmonics are generated in the current, PF of the supply system is reduced due to non-sinusoidal current and total harmonic level not at standard level [2]. To reduce the stresses in the equipment of the power system and increase the real power flow from input to load side, PFC circuit could be added in the power system to enhance the shape of the input current and PF circuit should modify to unity angle between current's phasor and voltage's phasor of the input supply system [3,4].

The PFC is very important in the power electronic system and it is most powerful technique in power electronics system. PFC can be classified into two areas, one is passive PFC and second one is active PFC. The passive elements are used in passive PFC such as inductor and capacitor. This will modify the non-sinusoidal current into sinusoidal current but this method not control the output dc voltage at constant level. The semiconductor device incorporates with passive elements to modify the input current's shape as well as regulate the output dc voltage of the AC-DC system.

Normally, active PFC circuits utilize the function of the boost, buck-boost DC-DC converter after rectifier circuit of the AC-DC system and it will improve the power factor of the system [1-3]. Most of the PF circuits are uses the Buck or boost converter topology because it has high PF capability.

Conversely, losses are arise in the diode bridge rectifier in conservative PFC circuits. Normally, current of the AC-DC system are passes through the power semiconductor elements at each switching cycles. The converter efficiency reduces due to forward voltage drop and losses in the diode bridge rectifier. In order to overcome this problem, more research efforts are done by the researcher for developing the bridgeless based PFC techniques. The current will flow minimum number power semiconductor elements in the bridgeless PFC circuit which leads to reduce the losses and increases the efficiency of the system and also enhance the PF of the system [5-8].

Normally, PFC and output regulation of the single phase AC-DC system is developed using proportional integral controller but it has some disadvantages such as to obtain gain parameter of the proportional integral controller, it need exact model of the system and it is more complex for the considered system. Normally, gain parameter of the system is obtained by means of trial and error method but this method takes more time to tune the gain parameter of the PI controller. In general, gain parameter of the PI controller is fixed for all operating conditions of the system but it will degrade the system performance. In order to overcome these problems, in this paper FL controlled PFC and output voltage controller is designed for single phase AC-DC system [9, 10]. The organization of the paper as follows, DC-DC boost converter for single phase AC-DC system is explained in section 2. Voltage regulation by fuzzy tuned PI controller is described in the section 3. MATLAB simulation and results are discussed in the section 4. In section 5, concluding remarks are provided.

## 2. Material and Method

### 2.1. Boost Converter for Single Phase AC-DC System

The block diagram for single phase AC-DC boost converter system is shown in Fig. 1. The boost converter circuit is connected at the output end of the bridge rectifier and rectifier is connected to input ac supply system. The boost converter consists of the diode, inductor, and power semiconductor elements. The output is taken from the capacitor CO and this voltage always constant. The output of the capacitor is connected with resistive load.

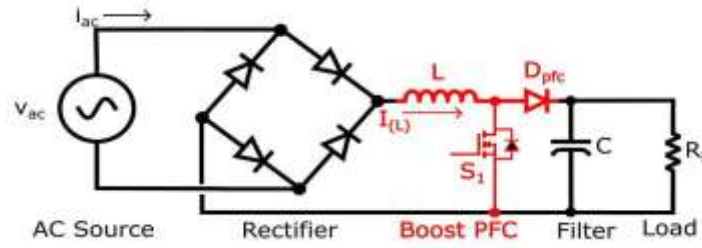


Figure 1. AC-DC boost converter system

It has two modes of operation according to the state of the switch. In the first mode of operation the switch is in on state ( $u=1$ ), the inductor current accumulates and inductor stores the energy in form magnetic effect and the load is supplied by the capacitor. For this conditions inductor voltage is given by the following equation,

$$v_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

and capacitor current is given by the following equation

$$i_c = C \frac{dv_c}{dt} \quad (2)$$

The second mode of operation is obtained by turning the switch to off state ( $u=0$ ). Inductor current cannot change suddenly and the diode becomes forward biased providing way for the inductor current. The energy stored in the inductor together with the input source transferred to the output. In this case voltage across the inductor becomes

$$v_L = V_s - v_c = L \frac{di_L}{dt} \quad (3)$$

the inductor current is given by following equation,

$$i_L = i_c + i_R = C \frac{dv_c}{dt} + \frac{v_c}{R} \quad (4)$$

by considering capacitor voltage and the current through the inductor as state variable and combining equations (1), (3) and (2), (4) with  $u$  which is the control input taking the discrete values 0 and 1 representing the switch position then we have

$$\frac{di_L}{dt} = -(1 - u) \frac{v_c}{L} + \frac{V_s}{L} \quad (5)$$

$$\frac{dv_c}{dt} = (1 - u) \frac{i_L}{C} + \frac{v_c}{RC} \quad (6)$$

## 2.2. Fuzzy logic based regulation voltage in AC-DC system

The output voltage of the AC-DC system is controlled by means of the closed loop manner. The fuzzy inference systems are considered as a nonlinear control system of the FL system. The fuzzy inference system process the input values in between 0 to 1 i.e., fuzzy value. The major steps involved in the design of the FL system is fuzzification, rule base and defuzzification. General structure of the FL inference system shown in Fig. 2.

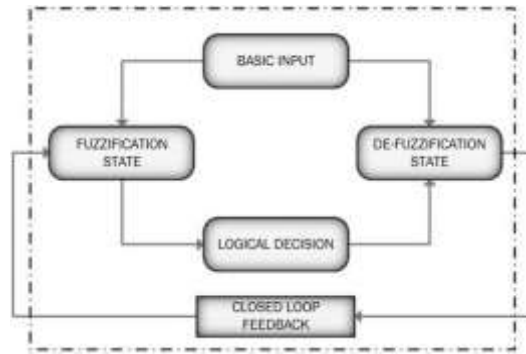


Figure 2. Fuzzy Logic control

Normally, FL system receives the two inputs such as voltage error and rate of change of voltage error. The membership functions are assigned for the input variable in fuzzification stage [11-15]. In fuzzification stage, crisp value of the input is converted into fuzzy value. Input variable are distributed with seven membership function with forty nine rules. These fuzzy rules are used to control the system thus by regulate the output voltage of the system. Final step in the fuzzy inference system is defuzzification. In defuzzification, fuzzy value converted into crisp value.

### 2.3. Fuzzy tuned PI Controller

The arrangement of fuzzy tuned PI controller is given in figure 3 and FL is used for modification of PI controller gain at entire working conditions. In this study it is used the mamdani fuzzy inference system [16]. The arrangement of FL controller is shown in Fig. 4. It has two inputs i.e., voltage error and the rate of change of voltage error and two outputs ( $K_P$  and  $K_I$ ). Each input has distributed with five bell shaped membership function.

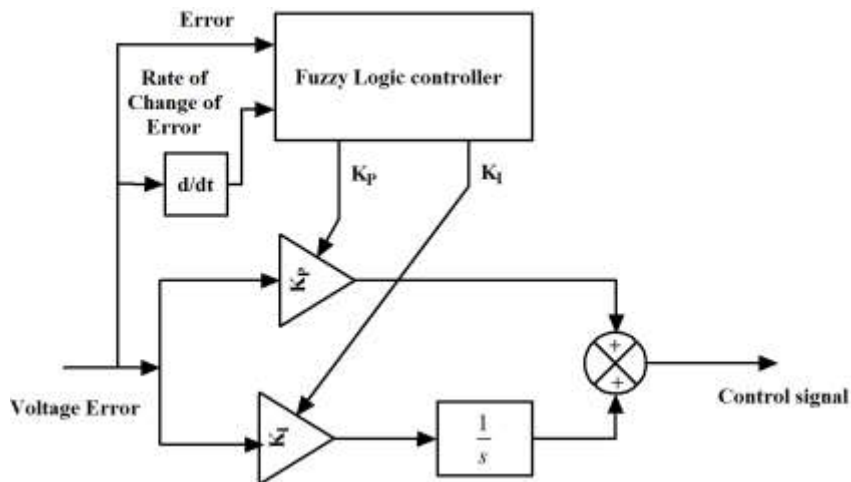


Figure 3. Fuzzy PI Controller

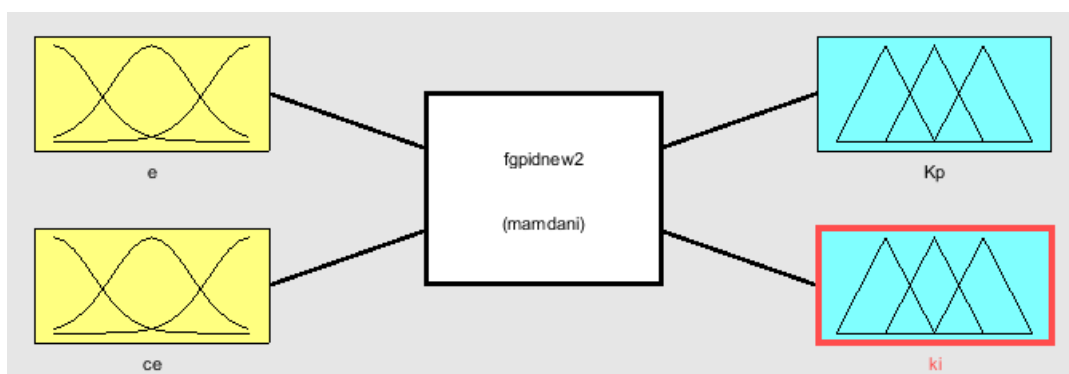
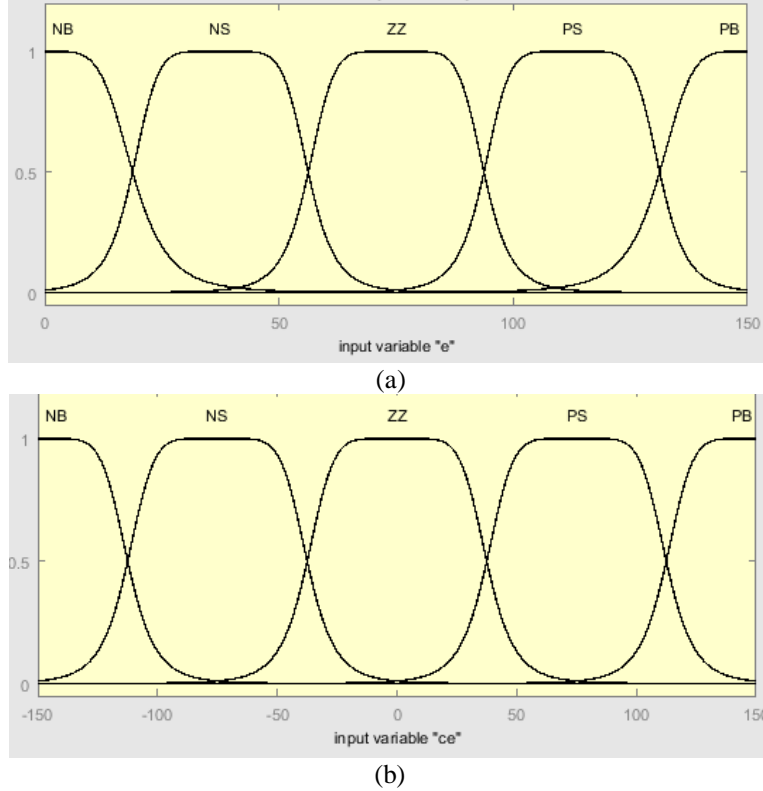


Figure 4. Proposed structure of fuzzy logic controller

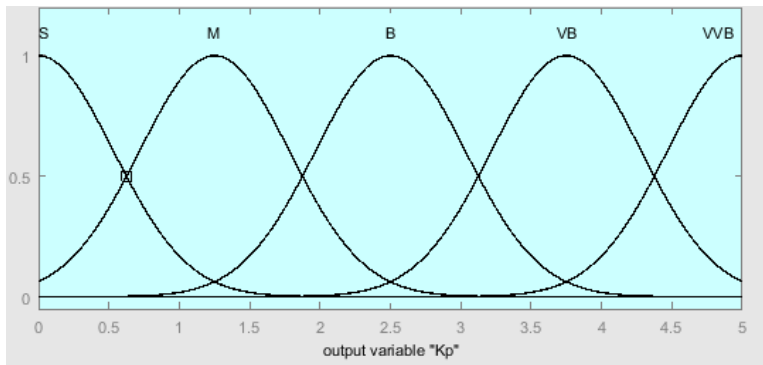
Allocation of input membership function is shown in Figure 5(a) & (b). The general bell shaped membership function is given in the equation (7) as,

$$f(x; a, b, c) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x-c}{a} \right|^{2b}} \tag{7}$$



**Figure 5.** a) Five functions for voltage error (b) Five functions for rate of voltage error's change

Generally, three parameters determine a bell curve function. Parameter a represents half the width of the bell curve. Parameter b controls the slopes at the intersection points of the curves. Parameter c decides the centre of the resultant membership function. The error of the input voltage vary from 0 to 150, rate of change of voltage error vary from -150 to 150. Also five membership functions denoted by Positive-Small (PS), Positive-Big (PB), Negative-Small (NS), Zero (Z), and Negative-Big (NB).



**Figure 5.** (c) Gaussian norms functions for rate of change of voltage error

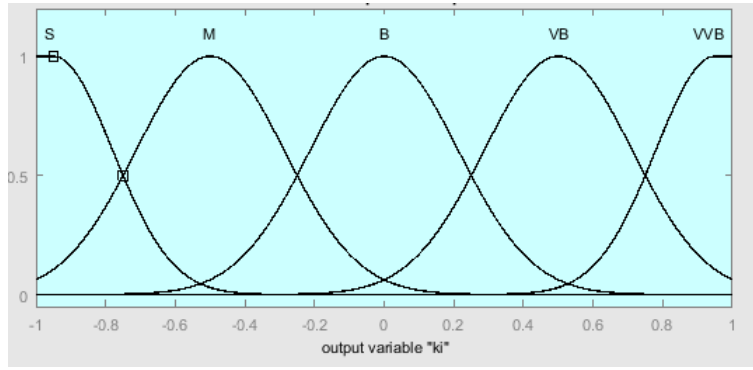


Figure 5. (d) Gaussian norms functions for rate of change of voltage error

Likewise, every output is spread with five Gaussian norms functions. These functions are shown in Figure 5(c) & (d). The comprehensive Gaussian function is given by the following equation (8) as,

$$f(x; \sigma, c) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} \tag{8}$$

In equation (8),  $c$  is the center of the function and  $\sigma$  is width of the function [16]. These five functions are indicating by Very-Very Big (VVB), Very Big (VB), Big (B), Medium (M), and Small (S). The proportional gain change between 0 and 5 and integral gain change between -1 and 1. In total, 25 rules occur for the FL gain tuner, and several rules are given in equation (9).

- rule 1: if  $e$  is NB and  $\Delta e$  is NB then ( $K_p$  is VVB)( $K_i$  is VVB)  
 ⋮  
 rule 25: if  $e$  is PB and  $\Delta e$  is PB then ( $K_p$  is S)( $K_i$  is S) (9)

Table 1. Fuzzy rule base for fuzzy tuned PI controller

Voltage Error	Rate of voltage error's change						Voltage Error	Rate of voltage error's change					
	$K_p$	NB	NS	Z	PS	PB		$K_i$	NB	NS	Z	PS	PB
NB	VVB	VB	VVB	VB	B	B	NB	VB	VVB	B	B	B	
NS	VB	VB	VVB	VB	B	B	NS	VVB	VB	VVB	B	M	
Z	VVB	VVB	PB	PS	PS	S	Z	PB	M	S	S	S	
PS	B	M	M	M	M	M	PS	M	B	M	S	S	
PB	M	M	S	M	S	S	PB	M	S	S	PS	PS	

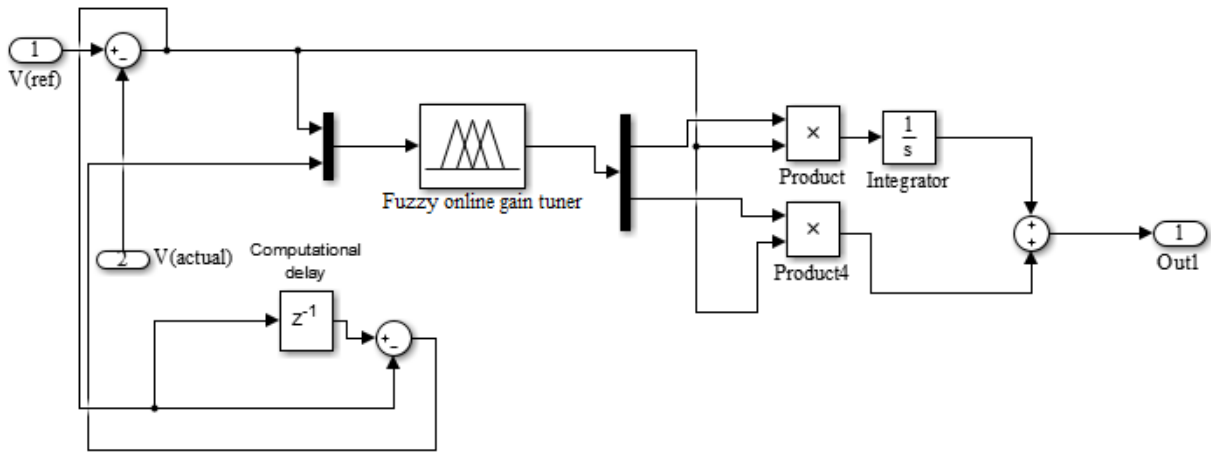
In Table I, the overall fuzzy rule is given for the fuzzy tuner. The Fuzzy system employs the centroid defuzzification technique and it is the most widely used technique and it gives accurate results. This defuzzification gives the center of area beneath the curve. It is given by the equation (10) as,

$$gain_{k_p, k_i, k_d \text{ and } k_c} = \frac{\int \mu_A(x) x dx}{\int \mu_A(x) dx} \tag{10}$$

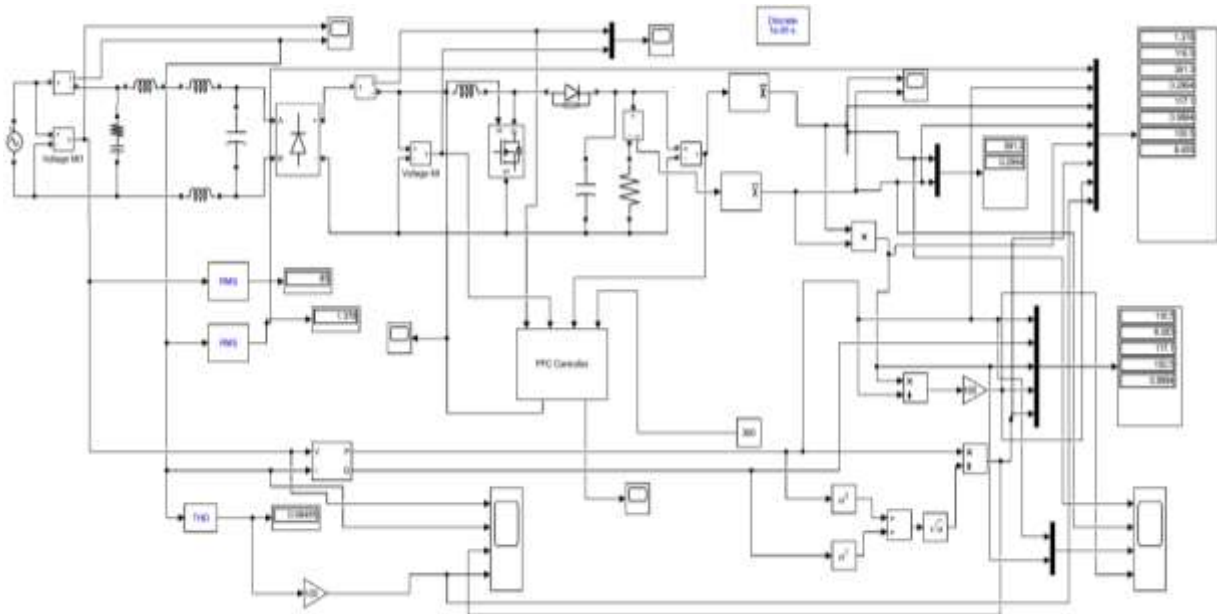
The output from the fuzzy tuner is then multiplied with PI controller. The output gives the control signal to the system. In Fig. 6 the simulink model of the system is given.

### 3. Results and Discussions

In order to test the effectiveness of the proposed fuzzy based PFC for single phase AC–DC system, MATLAB simulation have been carried out. The overall simulation diagram of the proposed system is shown in Fig. 7. The system consists of single phase supply, fully wave diode rectifier, DC-DC boost converter, electrical load, PFC controller with FL control and measurement systems.



**Figure 6.** Simulink model of fuzzy PI controller



**Figure 7.** Overall Simulation model of the Fuzzy based PFC for single phase AC-DC systems

The single phase system has been tested for different input voltage level such as 80 V, 95 V, 110 V, 115 V, 125 V, 140 V, 155 V, 170 V, 185 V, 200 V and 220V with different loading conditions such as 0.5 kΩ, 0.6 kΩ, 0.7 kΩ, 0.8 kΩ, 0.9 kΩ and 1.0 kΩ. The input current, input voltage, input power, output voltage, output current, output power, efficiency, and total harmonic distortion for current is shown in Table 2 for 1.0 kΩ loading conditions.

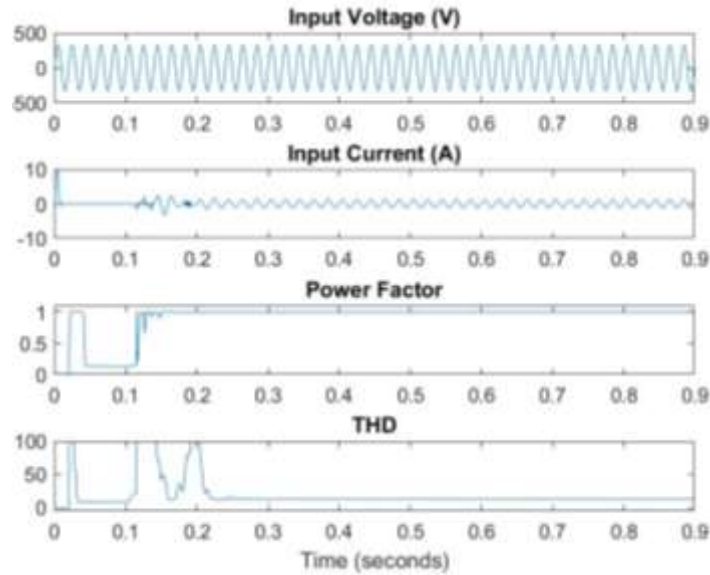
From the Table 2, it is observed that PF of the system in maintain at 0.99, efficiency of the system is vary from 85,94 to 91,82 % with voltage vary from 80 volts to 220 volts, total harmonic distortion of the system is vary from 6,60 % to 12,52 % with voltage vary from 80 volts to 220 volts. Input and output result waveforms are shown in the Figure 8 and Figure 9 for loading of 1.0 kΩ with 220 volts input voltage supply settings.



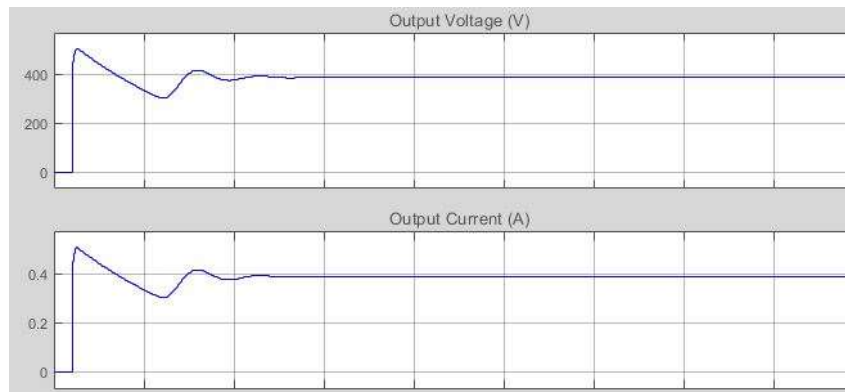
**Table 2.** Results of the system at 1.0 kΩ with different input voltage

$V_{in}(V)$	$I_{in}(A)$	$P_{in}(W)$	$V_o(V)$	$I_o(A)$	$P_o(W)$	PF	Efficiency (%)	THD (%)
80.000	2.076	165.582	389.940	0.388	152.050	0.997	91.828	6.600
95.000	1.786	169.331	389.950	0.389	152.060	0.998	89.801	7.530
110.000	1.569	172.417	389.990	0.389	152.090	0.999	88.210	8.070
125.000	1.399	174.700	389.960	0.387	152.070	0.999	87.046	7.920
140.000	1.264	176.783	390.020	0.390	152.120	0.999	86.049	8.030
155.000	1.149	177.739	389.970	0.389	152.080	0.998	85.564	8.040
170.000	1.051	178.134	389.970	0.389	152.070	0.997	85.368	8.050
185.000	0.967	178.179	389.970	0.389	152.080	0.996	85.352	8.880
200.000	0.896	178.125	390.030	0.390	152.120	0.994	85.401	9.520
220.000	0.793	176.641	389.980	0.389	152.080	0.990	85.943	12.520

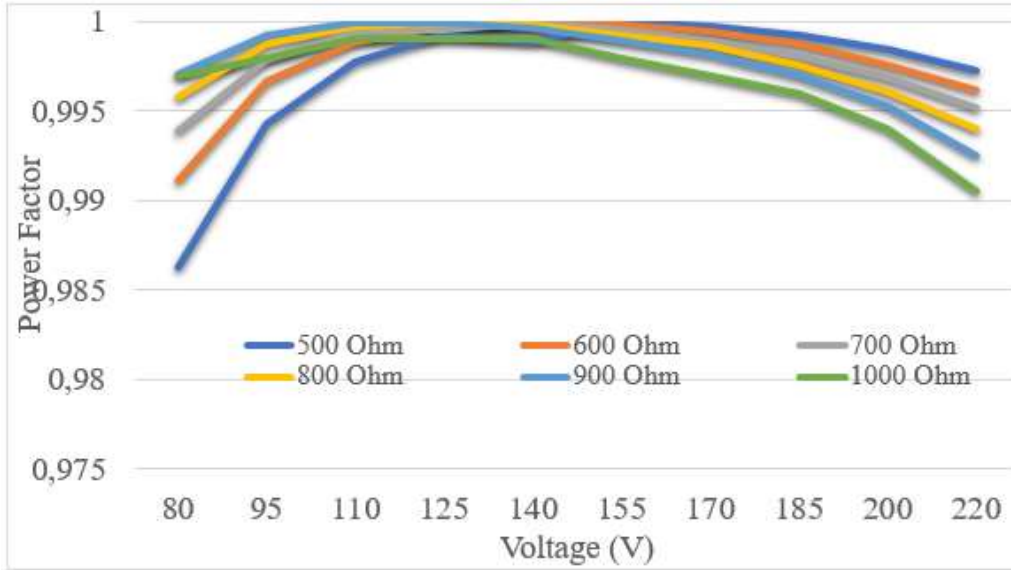
The results of PF, efficiency and THD for different voltage with different loading condition is shown in the Fig. 10, Fig. 11 and Fig. 12 respectively. Figure 10 shows the family of PF curves. The shapes of these curves are like an arc curve. Figure 11 shows the family of efficiency curves. It is seen that efficiency values decrease as the load resistance and the voltage increases. Figure 12 shows the family of THD curves. It is seen that as the load resistance and the voltage increases, the THD values also increase. From these results, PF system always more than 0.985, efficiency is more than 85 % and total harmonic distortion of current is around 4% to 12,5%. The performance results of the FL based PFC is in acceptable ranges in terms of THD according to IEC 61000-3-2. The proposed FL based PFC controller is work better for the single phase AC-DC systems.



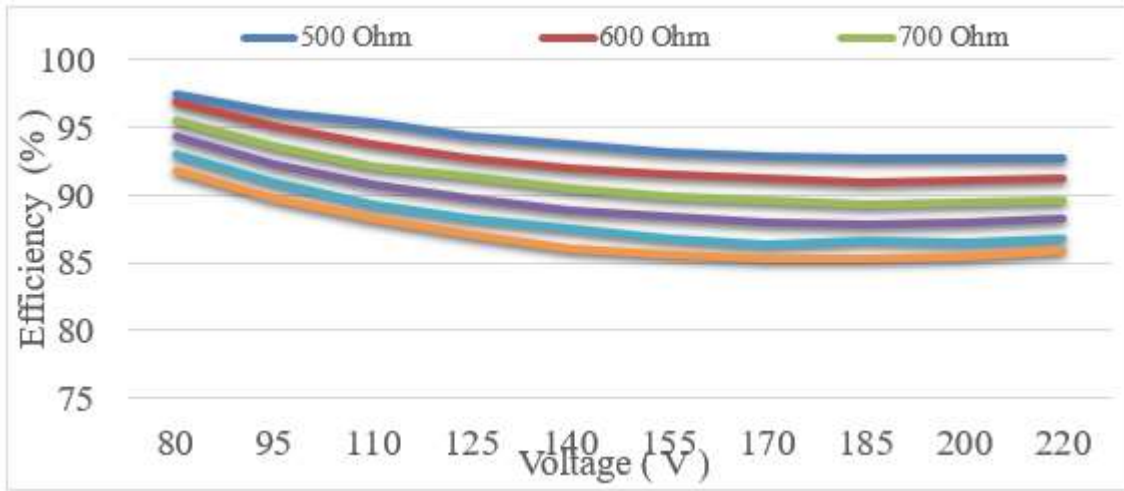
**Figure 8.** Input results of the system at 1.0 kΩ loading with input voltage of 220 volts



**Figure 9.** Output results of the system at 1.0 kΩ loading with input voltage of 220 volts



**Figure 10.** Power factor vs input voltage for different loads



**Figure 11.** Efficiency vs input voltage for different loads

For the THD values given in Figure 12, taking into account the shapes of the curves, a cubic-shaped polynomial regression analysis was performed in the form of  $y = ax^3 + bx^2 + cx + d$ . As a result of the analysis, the following THD polynomials are obtained, with  $V$  being the input voltage. The THD curves family is given in Figure 13 according to cubic polynomials regression results. The cubic-shaped polynomial regression analysis is developed MATLAB - Basic Toolbox (version R2020b) with a personal computer.

$$\text{THD} = 2,78 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 0,001157 \cdot V^2 + 0,1789 \cdot V - 4,093 \quad \text{for } 500 \Omega \text{ load} \quad (11)$$

$$\text{THD} = 2,674 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 0,001126 \cdot V^2 + 0,1754 \cdot V - 3,279 \quad \text{for } 600 \Omega \text{ load} \quad (12)$$

$$\text{THD} = 5,377 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 0,002274 \cdot V^2 + 0,3272 \cdot V - 9,073 \quad \text{for } 700 \Omega \text{ load} \quad (13)$$

$$\text{THD} = 4,302 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 0,001821 \cdot V^2 + 0,2666 \cdot V - 5,982 \quad \text{for } 800 \Omega \text{ load} \quad (14)$$

$$\text{THD} = 5,37 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 0,002258 \cdot V^2 + 0,3203 \cdot V - 7,602 \quad \text{for } 900 \Omega \text{ load} \quad (15)$$

$$\text{THD} = 8,978 \cdot 10^{-6} \cdot V^3 - 0,003722 \cdot V^2 + 0,5085 \cdot V - 14,86 \quad \text{for } 1000 \Omega \text{ load} \quad (16)$$

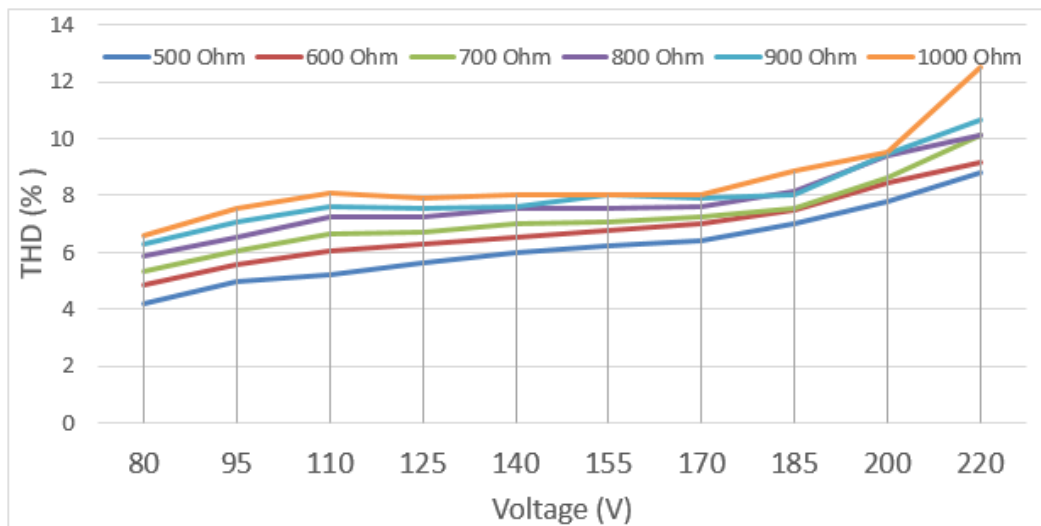


Figure 12. THD of input current vs input voltage for different loads

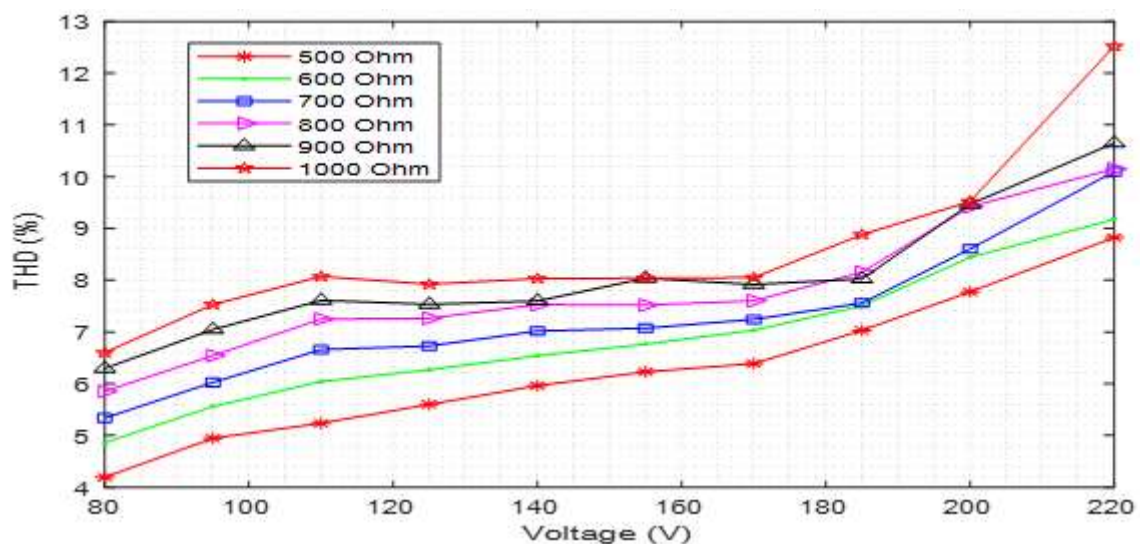


Figure 13. THD vs input voltage (V) for different loads in according with regression analysis

#### 4. Conclusion

FL based PFC for single phase AC - DC system is developed and simulated. The system consists of less number of elements and have high efficiency makes this system a suitable one for PFC circuit for low power applications. The overall system is developed using MATLAB – Simulink environment in closed loop manner with FL control. The output voltage of the system is regulated using Fuzzy tuned proportional derivative controller. The stable output voltage is obtained due to Fuzzy tuned PI controller. The designed controller is outperforming the all aspects such as enhance PF, high efficiency and low total harmonic current in the system. In the near future, the production of FL controlled PFC circuits as an integrated part of the devices in nonlinear loads will result in the improvement of the low voltage network in terms of PFC and THD.

#### Author's Contributions

All contributions belong to the author in this paper.

#### 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] Chiu H.J., Lo Y.K., Lee H.C., Cheng S.J., Yan Y.C., Lin C.Y., Wang T.H, Mou S.C. 2010. A single-stage soft-switching fly back converter for power-factor-correction applications. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, 57 (6): 2187-2190.
- [2] Sahid M.R., Yatim A.H.M., Taufik T. 2010. A new AC-DC converter using bridgeless SEPIC. in *Proc. IEEE Annu. Conf. Ind. Electron. Soc.*, 286-290.
- [3] Jang Y., Jovanović M.M. 2011. Bridgeless high-power-factor buck converter. *IEEE Trans. Power Electron*, 26 (2): 602-611.
- [4] Su B., Zhang J., Lu Z. 2011. Totem-pole boost bridgeless PFC rectifier with simple zero-current detection and full-range ZVS operating at the boundary of DCM/CCM. *IEEE Trans. Power Electron*, 26 (2): 427-435.
- [5] Balestero J.P., Tofoli F.L., Fernandes R.C., Torrico-Bascope G.V., de Seixas F.J. 2012. Power factor correction boost converter based on the three-state switching cell. *IEEE Trans. Ind. Electron*, 59 (3): 1565-1577.
- [6] Fardoun A.A., Al-Saffar M. 2014. A Bridgeless Resonant Pseudo Boost PFC Rectifier. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 29 (11).
- [7] Singh S., Bist V., Singh B., Bhuvanewari G. 2015. Power factor correction in switched mode power supply for computers using canonical switching cell converter. *IET Power Electronics*, 8 (2): 234-244.
- [8] Genc N., Iskender I., Celik M. 2014. Application of interleaved bridgeless boost PFC converter without current sensing. 2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2014), 24-25 March, Langkawi, 1-6.
- [9] Kessal A., Rahmani L., Mostefai M. 2012. Power factor correction based on fuzzy logic controller with fixed switching frequency. *Elektronika ir elektrotechnika*, 118 (2): 67-72.
- [10] Faucher J.D., Caux S., Maussion P. 2009. Fuzzy controller tuning of a boost rectifier unity power factor correction by experimental designs. *Electr Eng.*, 91 (3): 167-176.
- [11] Yu Q., Du S. 1996. Comparison of fuzzy logic and digital PI control of single phase power factor pre-regulator for an on-line UPS. *Proceedings of the 1996 IEEE IECON 22nd international conference*, 06 August, Taipei, 1796-1801.
- [12] Suciú C., Dafinca L., Kansara M., Margineanu I. 2000. Switched capacitor fuzzy control for power factor correction in inductive circuits. 2000 IEEE 31st Annual Power Electronics Specialists Conference. *Conference Proceedings (Cat. No.00CH37018)*, Galway, 2000, 773-777.
- [13] Bouafassa A., Rahmani L., Kessal A., Babes B. 2014. Unity power factor Converter based on a Fuzzy controller and Predictive Input Current. *ISA transactions*, Elsevier, 1817-1821.
- [14] Lenine D., Babu C.S., Shankaraiah G. 2012. Performance Evaluation of Fuzzy and PI Controller for Boost Converter with Active PFC. *International Journal of Power Electronics and Drive System (IJPEDS)*, 2 (4): 445-453.
- [15] Khoshooei A., Moghani J.S. 2004. Implementation of a single input fuzzy controller for a high power factor boost converter. 2004 IEEE Region 10 Conference TENCON 2004., Chiang Mai, 69-72.
- [16] Premkumar K., Manikandan B.V. 2014. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System based speed controller for brushless DC motor. *Neurocomputing*, 138 (1): 260-270.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Saldırı Tespiti için Makine Öğrenme Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi

Mehmet BURUKANLI<sup>1</sup>, Musa ÇIBUK<sup>2\*</sup>, Ümit BUDAK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Enformatik Bölümü, Bitlis

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bitlis

<sup>3</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitlis

(ORCID: 0000-0003-4459-0455) (ORCID: 0000-0001-9028-2221) (ORCID: 0000-0003-4082-383X)

---

### Öz

İnternet ve ağ teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, siber saldırılar ve izinsiz erişimlerin başta olduğu birçok dezavantajı beraberinde getirmektedir. Bu girişimlerin önceden tespiti, olası saldırıların gerçekleşmeden önlenmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada makine öğrenme yaklaşımlarının saldırı tespiti üzerindeki performansları araştırılmıştır. Tüm deneyler, açık erişime sunulmuş ve yaygın olarak kullanılan KDD'99 veri kümesi altındaki KDD10CORRECTED ve KDDTEST setleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırıcı olarak, KA, TÖ ve DVM tercih edilmiştir. Veri setleri hem doğrudan sınıflandırıcıların girişi olarak hem de boyut indirgeme tekniği olan TBA uygulanarak sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma aşamasında 5-kat çapraz doğrulama tekniği kullanılmıştır. En iyi başarımlar oranları KDD10CORRECTED veri setinde üzerinde %99,99 ile Torbalama sınıflandırıcısı, KDDTEST veri setinde üzerinde %97,90 ile Torbalama sınıflandırıcısı, KDD10CORRECTED+KDDTEST veri setinde üzerinde %100 ile Torbalama sınıflandırıcısı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar kıyaslanarak rapor edilmiştir. Sonuçlar gelecekteki çalışmalar için cesaret vericidir.

**Anahtar kelimeler:** Saldırı tespiti, topluluk öğrenme, destek vektör makinesi, karar ağacı, temel bileşen analizi.

---

## Comparative Analysis of Machine Learning Methods for Intrusion Detection

---

### Abstract

Rapid developments of internet and network technologies have brought about many disadvantages, including cyber-attacks and intrusions. The detection of these initiatives beforehand provides the prevention of probable attacks. In this study, the performance of machine learning approaches on intrusion detection has investigated. All experiments have conducted on KDD10CORRECTED and KDDTEST sub-sets of the publicly available KDD'99 dataset. As the classifier, Decision Tree, Ensemble Learning and Support Vector Machine have preferred. Data sets are classified as both directly input of the classifiers and by using Principal Component Analysis, which is a size reduction technique. 5-fold cross-validation technique has used in the classification stage. The best performance rates have been achieved above the KDD10CORRECTED data set with the Bagging classifier with 99.99%, above the KDDTEST data set with the Bagging classifier with 97.90%, and above the KDD10CORRECTED + KDDTEST data set with the Bagging classifier with 100%. The results have reported by comparing. The results are encouraging for future studies.

**Keywords:** Intrusion detection, ensemble learning, support vector machine, decision tree, principal component analysis.

---

### 1. Giriş

Son yıllarda internetin yaygın kullanımı, güvenlik tehlikelerini de beraberinde getirmektedir. Özellikle internet üzerinden yapılan e-ticaret uygulamaları ciddi oranda tehlikeli saldırılara maruz kalmaktadır. Bu saldırılar, kritik iş uygulamalarında iş gücü, zaman ve ürün kaybına yol açarak şirketlerin ciddi anlamda zarara uğratılmasına neden olmaktadır. Örneğin; çalışanların hataları, bilgisayar virüsleri ve

---

\*Sorumlu yazar: [mcibuk@beu.edu.tr](mailto:mcibuk@beu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 24.02.2021, Kabul Tarihi: 29.04.2021

hizmet engelleme (denial of service - DoS) saldırıları bunlardan bir kaçıdır. Yapılan saldırılar sonucu önemli bilgi kayıpları olmakta ve gizli kalması gereken bilgiler ifşa edilebilmektedir. İnternetteki güvenlik açıkları, insanları internete karşı güvensiz hale getirmekte ve web tabanlı şirketlere ve kamu hizmetlerine büyük zarar verebilmektedir. Bu yüzden şirketler ve kamu hizmetleri yürüten kurumlar, güvenlik tedbirlerini arttırmakta ve olası tehditlerin üstesinden gelmek amacıyla daha büyük yatırımlar yapmak zorunda kalmaktadırlar. Bundan dolayı, bilgisayar sistemlerinin güvenliğini sağlayan araçlar gittikçe önem kazanmakta, özellikle de Saldırı Tespit Sistemlerine (STS) duyulan önem her geçen gün artmaktadır. STS, ağ üzerinden yapılan her türlü saldırılara karşı bilişim sistemlerinin korunmasına yardımcı olup, uyarı niteliği taşıyan yazılım veya donanım bileşenlerinin tümüne denilmektedir [1]. STS kullanılarak ağ üzerinden yapılan saldırılar tespit edilebilmekte ve ilgili mekanizmalar harekete geçirilerek engellenebilmektedir. STS uygulamalarında makine öğrenmesi, veri madenciliği vb. farklı yöntemler kullanılsa da yapay zekâ tekniklerine dayalı yöntemler de sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Literatürde saldırı tespiti için yapılan bazı çalışmaları şöyle sıralayabiliriz.

Burukanlı ve ark. [2] yaptıkları çalışmada makine öğrenme algoritmaları kullanarak saldırı tespiti gerçekleştirmişlerdir. KDD'99 veri setinin %100'lük kısmı üzerinde 5-kat çapraz doğrulama yapmışlardır. En iyi başarımları %100 oranıyla Topluluk Öğrenme (TÖ) sınıflandırıcılarından olan torbalı ağaçlar (bagged trees) algoritması elde etmiştir. Sağiroğlu ve ark [1] yaptıkları çalışmada, Çok Katlı Ağlar (ÇKA) tabanlı etkili bir STS geliştirmişlerdir. KDD'99 veri setinden 65536 örnek kullanmışlardır. Elde ettikleri en yüksek başarımları oranı % 97,92 ve en düşük başarımları oranı ise %81,93 olarak gerçekleşmiştir. Sonawane ve ark. [3] yaptıkları çalışmada, Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Temel Bileşen Analizi (TBA) tabanlı ağ modeli kullanılarak saldırı tespiti gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, her iki algoritmanın kıyaslanması yapılmış olup, YSA'nın TBA'ya göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Aburomman ve ark. [4] yaptıkları çalışmada, TÖ sınıflandırıcısı kullanılarak saldırı tespiti uygulamalarına yeni bir boyut kazandırmışlardır. Çalışmalarında, en iyi başarımları oranı %85,17 olarak gerçekleşmiştir. Golovko ve ark. [5] çalışmalarında, TBA, Devirdaim Sinir Ağları ve ÇKA ağ modellerini kullanarak saldırı tespiti yapmışlardır. Model 1, Model 2 ve Model 3 olarak 3 tane model önermişlerdir. Çalışmalarında, en iyi performansı Model 3'ün DoS veri setinde %99,9 olarak gerçekleştiğini gözlemlemişlerdir. Wang ve ark. [6] yaptıkları çalışmada, TBA tabanlı model kullanarak saldırı tespiti gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada sonucunda, başarımları oranı %98,8 olarak gerçekleşmiştir. Sonawane ve ark. [7] yaptıkları çalışmada, TBA, Çekirdek TBA+Bayes tabanlı sinir ağ modelleri kullanarak saldırı tespiti gerçekleştirmişlerdir. TBA sinir ağ modeli ile Çekirdek TBA+Bayes Sinir Ağ Modelleri birbirleriyle kıyaslamışlardır. En iyi performansı %92,70 ile Çekirdek TBA+Bayes Sinir Ağ Modeli elde etmiştir. Mukkamala ve ark. [8] yaptıkları çalışmada, sinir ağlar ve destek vektör makinelerini kullanarak saldırı tespitini gerçekleştirmişlerdir. Her iki öğrenme algoritması %99'un üzerinde başarımları elde etmiştir.

Bu çalışmada makine öğrenme yaklaşımlarının saldırı tespiti üzerindeki performansları araştırılmış olup. Tüm deneyler, açık erişime sunulmuş ve yaygın olarak kullanılan KDD'99 veri kümesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırıcı olarak, KA, TÖ ve DVM tercih edilmiştir. Sınıflandırma aşamasında 5-kat çapraz doğrulama tekniği kullanılmış olup, TÖ sınıflandırıcıların daha iyi başarımları elde ettiği gözlemlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. KDD'99 veri seti

DARPA veri seti, ilk olarak Amerika Birleşik Devletlerinin Hava Kuvvetleri Ağı örnek alınarak tasarlanmış bir benzetim veri seti kümesidir [9]. DARPA tarafından desteklenen ilk çalışma Massachusetts Teknoloji Üniversitesi (MIT) tarafından 1998 yılında gerçekleştirilmiştir.

DARPA veri seti bir takım ön işlemlerden geçirilerek KDD'99 veri seti elde edilmiştir. KDD'99, 9 temel özellik ve 32 adet türetilmiş özellik olmak üzere toplamda 41 adet özellikten oluşan bir veri setidir [10]. KDD'99 veri setinin kullanılmasının amacı; saldırı tespiti için eğitim ve test işlemleri bakımından kolaylık sağlamasıdır. Bu çalışmada kullanılan KDD10CORRECTED veri seti 494021 örnekten, KDDTEST veri seti 311029 örnekten ve bu iki veri setinin birleşiminden elde edilen KDD10CORRECTED+KDDTEST veri seti 805050 örnekten oluşmaktadır [10].

KDD10CORRECTED, KDDTEST ve KDD10CORRECTED+KDDTEST veri setlerinde bulunan saldırı tiplerinin miktarları ve yüzdelik oranları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** KDD10CORRECTED, KDDTEST ve KDD10CORRECTED+KDDTEST veri setlerinde bulunan saldırı tiplerinin miktarları ve yüzdelik oranları [10, 11]

Saldırı Tipi	KDD10CORRECTED		KDDTEST		KDD10CORRECTED+KDDTEST	
	Miktarı	Yüzdelik Oranı (%)	Miktarı	Yüzdelik Oranı (%)	Miktarı	Yüzdelik Oranı (%)
apache2	-	-	794	0,2552	794	0,0986
back	2203	0,4459	1098	0,3530	3301	0,4100
buffer_overflow	30	0,0060	22	0,0070	52	0,0064
ftp_write	8	0,0016	3	0,0009	11	0,0013
guess_passwd	53	0,0107	4367	1,4040	4420	0,5490
httptunnel	-	-	158	0,0507	158	0,0196
imap	12	0,0024	1	0,0003	13	0,0016
ipsweep	1247	0,2524	306	0,0983	1553	0,1929
land	21	0,0042	9	0,0028	30	0,0037
loadmodule	9	0,0018	2	0,0006	11	0,0013
mailbomb	-	-	5000	1,6075	5000	0,6210
mscan	-	-	1053	0,3385	1053	0,1307
multihop	7	0,0014	18	0,0057	25	0,0031
named	-	-	17	0,0054	17	0,0021
neptune	107201	21,6996	58001	18,6481	165202	20,5207
nmap	231	0,0467	84	0,0270	315	0,0391
normal	97278	19,6910	60593	19,4814	157871	19,6100
perl	3	0,0006	2	0,0006	5	0,0006
phf	4	0,0008	2	0,0006	6	0,0007
pod	264	0,0534	87	0,0279	351	0,0435
portsweep	1040	0,2105	354	0,1138	1394	0,1731
processtable	-	-	759	0,2440	759	0,0942
ps	-	-	16	0,0051	16	0,0019
rootkit	10	0,0020	13	0,0041	23	0,0028
saint	-	-	736	0,2366	736	0,0914
satan	1589	0,3216	1633	0,5250	3222	0,4002
sendmail	-	-	17	0,0054	17	0,0021
smurf	280790	56,8376	164091	52,7574	444881	55,2612
snmpgetattack	-	-	7741	2,4888	7741	0,9615
snmpguess	-	-	2406	0,7735	2406	0,2988
spy	2	0,0004	-	-	2	0,0002
sqlattack	-	-	2	0,0006	2	0,0002
teardrop	979	0,1981	12	0,0038	991	0,1230
udpstorm	-	-	2	0,0006	2	0,0002
warezclient	1020	0,2064	-	-	1020	0,1267
warezmaster	20	0,0040	1602	0,5150	1622	0,2014
worm	-	-	2	0,0006	2	0,0002
xlock	-	-	9	0,0028	9	0,0011
xsnoop	-	-	4	0,0012	4	0,0004
xterm	-	-	13	0,0041	13	0,0016
<b>Toplam</b>	<b>494021</b>	<b>100</b>	<b>311029</b>	<b>100</b>	<b>805050</b>	<b>100</b>

Tablo 2’de KDD’99 veri setinin 41 özelliği ve bu özelliklerin tipleri ve Tablo 3’te ise KDD’99 veri setinin birkaç örneği gösterilmiştir.





## 2.2. Temel Bileşen Analizi

Temel Bileşen Analizi (TBA), bilgisayar bilimlerinde boyut azaltmak için kullanılan bir yöntemdir [12]. TBA, sinyal işleme, görüntü işleme ve yapay zekâ tekniklerinde boyut azaltmak için sıkça kullanılan tekniklerden bir tanesidir [11]. TBA, var olan verinin daha az sayıda boyutla ifade etmesi, fazla öneme sahip olmayan boyutların çıkarılması ve önemli olan boyutların kullanılması olayı olarak da ifade edilebilir [11, 13].

Bir giriş dizi vektörü  $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n \in R^n (n < m)$  ve  $\sum_{t=1}^m X_t = 0$  ise [11, 14], vektörlerin kovaryans matrisi denklem (1)'deki gibi hesaplanır:

$$C = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m X_t X_t^T \quad (1)$$

$$\lambda_t U_t = C U_t \quad (2)$$

Burada;  $\lambda_t, U_t, k$  ve  $\theta$ , sırasıyla  $C$  kovaryansın öz değeri, öz vektörlerin özdeşi, öz vektörlerin en büyüğü ve eşik değeri en büyük  $k$  öz vektörünün yaklaşık duyarlılığını ifade eder [11, 14].

$$\sum_{t=1}^k \lambda_t \setminus \sum_{t=1}^m \lambda_t \geq \theta \quad (3)$$

$\theta$ , eşik değerine bakılarak;

$$U = [U_1, U_2, U_3, \dots, U_k] \quad (4)$$

$$\Lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_k] \quad (5)$$

$$S = U^T X_t \quad (6)$$

Elde edilen yeni boyut vektörü denklem (6)'daki gibi hesaplanır [11, 14].

## 2.3. Karar Ağacı

Karar Ağaçları (KA), sınıflandırma ve tahmin için sıklıkla başvurulan bir öğrenme yaklaşımıdır. Düşük maliyetli olması, anlaşılması ve yorumlanması kolay olması bakımından sıklıkla tercih edilmektedir.

KA'larında belirsizlik ve kararsızlık önemli bir sorundur bunun üstesinden gelmek için en yaygın olarak kullanılan entropi ölçümü kullanılmaktadır. Entropi ölçümü ne kadar fazla ise çıkan sonuçlar da o oranda belirsiz ve kararsız olmaktadır. Bu yüzden, KA'larında entropi ölçüsü en az olan alanlar tercih edilmektedir [2, 11, 15, 16].

Entropi değeri denklem (7)'deki gibi hesaplanır [11, 15].

$$Entropi(S) = \sum_i^C -p_i \log p_i \quad (7)$$

Burada;

$C$ , hedef özellikteki değer sayısı (sınıfların sayısı) veya bir özelliğe atanan maksimum değer sayısı

$p_i$ ,  $i$  sınıfındaki örneklerin sayısı

Bir özelliğin bilgi kazancı denklem (8)'deki gibi hesaplanır [11].

$$Kazanç(S, A) = Entropi(S) - \sum_{V \in (A)} \frac{|S_V|}{S} Entropi(S_V) \quad (8)$$

Burada;  $A$ : Özellik,  $V$ :  $A$  özelliğinin bir olası değeri,  $S_V$ :  $V$  değeri için örneklerin sayısı,  $S$ : tüm veri örneklerinin sayısıdır [11].

## 2.4. Topluluk Öğrenme

Topluluk Öğrenme (TÖ), birçok öğrenme algoritmasının bir arada kullanılmasıdır [2, 11]. Diğer bir deyişle; TÖ, birçok zayıf öğrenme algoritmasının birleştirilerek daha güçlü ve daha iyi sonuçlar elde eden bir öğrenme algoritmasının oluşturulması yöntemidir [2, 11]. Tek bir algoritmaya göre daha iyi sonuç vermektedir. TÖ, en iyi sınıflandırma yöntemlerinden biridir [17]. Ayrıca genelleme yetenekleri oldukça güçlüdür. TÖ, sınıflandırma ve regresyon için sıkça kullanılan öğrenme yöntemidir. En yaygın kullanılan TÖ teknikleri Bagging ve Boosting'tır [2, 11].

## 2.5. Destek Vektör Makinesi

Destek Vektör Makinesi (DVM), sınıflandırma ve regresyon problemlerinin çözümü için sıkça kullanılan bir denetimli öğrenme yöntemidir [2]. DVM, oldukça yüksek genelleme yapabileme yeteneğine sahiptir.

DVM'nin en önemli avantajı yüksek oranda başarılı sonuçlar elde etmeleridir. En önemli dezavantajı ise çok geç sonuç vermeleridir. DVM, marginini maksimum yapan bir en uygun ayırıcı düzlemi oluşturmaya çalışmaktadır. Örneğin, bir örnek uzayında eğitim örnekleri denklem (9)'daki formülle birbirinde ayrılabilir [11].

$$f(x) = w \cdot x + b = 0 \quad (9)$$

Doğrusal olmayan durumlarda çekirdek adı verilen fonksiyonlar kullanılmaktadır. Sınıflandırma yapılırken yüksek boyutlu uzaya taşınan vektörler doğrusal olarak ayrılmaktadır. Ayrılan düzlemler içerisinde sınıflara uzaklığı en fazla olan doğrusal ayırıcı olarak belirlenmektedir. Yüzeyle en yakın vektörler belirlenerek en yakın uzaklık tespit edilir.

$K = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)\}$  bir eğitim seti olarak verilsin.  $i = 1, 2, \dots, N$ .  $x_i \in R^n$  ve  $y_i \in \{-1, 1\}$ .

$K$ 'nin optimal ayrılabilir bir hiper düzlemi ( $f(x) = w \cdot x + b = 0$ ) olarak tanımlanabilir [11].

Burada;

$$f(x) = (w_0 \cdot x) + b_0 \quad (10)$$

$$w_0 = \sum_{j=1}^N y_j \alpha_j^0 x_j \quad (11)$$

$w_0 = (w_0^1, w_0^2, \dots, w_0^n)$  ve  $x = (x^1, x^2, \dots, x^n)$  olarak verilmiş olsun. Bu durumda bu iki vektörün iç çarpımı denklem (12)'de gösterilmiştir.

$$(w_0 \cdot x) = \sum_{i=1}^n w_0^i \cdot x^i \quad (12)$$

$$b_0 = y_i - (x_i \cdot \sum_{j=1}^N y_j \alpha_j^0 x_j) \quad (13)$$

Denklem (11)'deki  $w_0$ , denklem (10)'da yerine yazılırsa denklem (14) elde edilir.

$$f(x) = \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i^0(x_i \cdot x) + b_0 \quad (14)$$

$$y_i(w_0 \cdot x_i - b) \geq 1, i = 1, 2, \dots, N.$$

Denklem (15)'teki optimal hiper düzlem karar fonksiyonu kullanarak iki sınıfın birbirinden doğrusal olarak ayrılıp ayrılmadığı kontrol edilebilir[8, 11, 18–21].

$$f(x) = \text{sgn}(w \cdot x + b) = \text{sgn}\left(\sum_{i=1}^N \alpha_i y_i(x_i \cdot x) + b\right) \quad (15)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada on iki farklı sınıflandırma algoritması kullanılarak KDD10CORRECTED, KDDTEST ve KDD10CORRECTED+KDDTEST veri setleri üzerinde, her bir sınıflandırıcının başarımları elde edilmiştir. KDD10CORRECTED ve KDDTEST veri setleri, 4 çekirdekli Intel Core i5-4590S işlemci, 4 GB Ram ve Intel HD Graphics 4600 bilgisayarda eğitilmiştir.

KDD10CORRECTED+KDDTEST veri seti ise veri miktarının fazla olmasından dolayı Intel Xeon E5620 (2 işlemci 8 çekirdek), 16 GB Ram ve NVIDIA Quadro K2000 ekran kartı olan iş istasyonunda eğitilmiştir. Tüm deneyler MATLAB ortamında sınıflandırma öğrenme aracı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir sınıflandırma yönteminin varsayılan özellikleri kullanılmıştır. Tablo 4'te TÖ sınıflandırıcıların temel özellikleri, Tablo 5'te DVM sınıflandırıcıların temel özellikleri ve Tablo 6'da ise KA sınıflandırıcıların temel özellikleri gösterilmiştir.

**Tablo 4.** TÖ sınıflandırıcıların temel özellikleri

Ana Teknik	Kullanılan Teknik	TBA	Öğrenici Tipi	Maksimum Bölme Sayısı	Öğrenici Sayısı	Öğrenme Oranı
TÖ	Uyarlamalı Güçlendirme	Pasif/ Aktif	Karar Ağacı	20	30	0.1
TÖ	Torbalama	Pasif/ Aktif	Karar Ağacı	-	30	-
TÖ	Rastgele Alt Örneklemeye Artırma	Pasif/ Aktif	Karar Ağacı	20	30	0.1

**Tablo 5.** DVM sınıflandırıcıların temel özellikleri

Ana Teknik	Kullanılan Teknik	TBA	Çekirdek Fonksiyonu	Çekirdek Ölçeği	Kutu Kısıtlama Seviyesi	Çoklu Sınıf Metodu	Verileri Standartlaştırma
DVM	Doğrusal DVM	Pasif/ Aktif	Doğrusal	Otomatik	1	Bire Karşı Bir	Evet
DVM	Karesel DVM	Pasif/ Aktif	Karesel	Otomatik	1	Bire Karşı Bir	Evet
DVM	Kübik DVM	Pasif/ Aktif	Kübik	Otomatik	1	Bire Karşı Bir	Evet
DVM	Hassas Gauss DVM	Pasif/ Aktif	Gauss	1.6	1	Bire Karşı Bir	Evet
DVM	Ortalama Gauss DVM	Pasif/ Aktif	Gauss	6.4	1	Bire Karşı Bir	Evet
DVM	Kaba Gauss DVM	Pasif/ Aktif	Gauss	26	1	Bire Karşı Bir	Evet

**Tablo 6.** KA sınıflandırıcıların temel özellikleri

Ana Teknik	Kullanılan Teknik	TBA	Maksimum Bölme Sayısı	Bölme Kriteri	Vekil Karar Bölmeleri
KA	Hassas Ağaç	Pasif/Aktif	100	Gini'nin Çeşitlilik İndeksi	Pasif
KA	Ortalama Ağaç	Pasif/Aktif	20	Gini'nin Çeşitlilik İndeksi	Pasif
KA	Kaba Ağaç	Pasif/Aktif	4	Gini'nin Çeşitlilik İndeksi	Pasif

Bu çalışmada kullanılan on iki adet sınıflandırıcının değerlendirme metrikleri için Tablo 7'de hata matrisi kullanılarak elde edilmiştir.

**Tablo 7.** Hata matrisi [11]

Hata Matrisi		Tahmin Edilen Sınıf	
		Pozitif (Saldırı)	Negatif (Normal)
Gerçek Sınıf	Pozitif (Saldırı)	Doğru Pozitif (DP)	Yanlış Negatif (YN)
	Negatif (Normal)	Yanlış Pozitif (YP)	Doğru Negatif (DN)

**Doğru Pozitif (DP):** Gerçekte pozitif (saldırı) olan ve tahmin edildiğinde de pozitif (saldırı) olarak sınıflandırılan örnekleri ifade etmektedir.

**Yanlış Negatif (YN):** Gerçekte pozitif (saldırı) olan ve tahmin edildiğinde de negatif (normal) olarak sınıflandırılan örnekleri ifade etmektedir.

**Yanlış Pozitif (YP):** Gerçekte negatif (normal) olan ve tahmin edildiğinde de pozitif (saldırı) olarak sınıflandırılan örnekleri ifade etmektedir.

**Doğru Negatif (DN):** Gerçekte negatif (normal) olan ve tahmin edildiğinde de negatif (normal) olarak sınıflandırılan örnekleri ifade etmektedir. Denklem (16)'da bu çalışmada kullanılan başarımlar ölçütü verilmiştir [2, 11, 22].

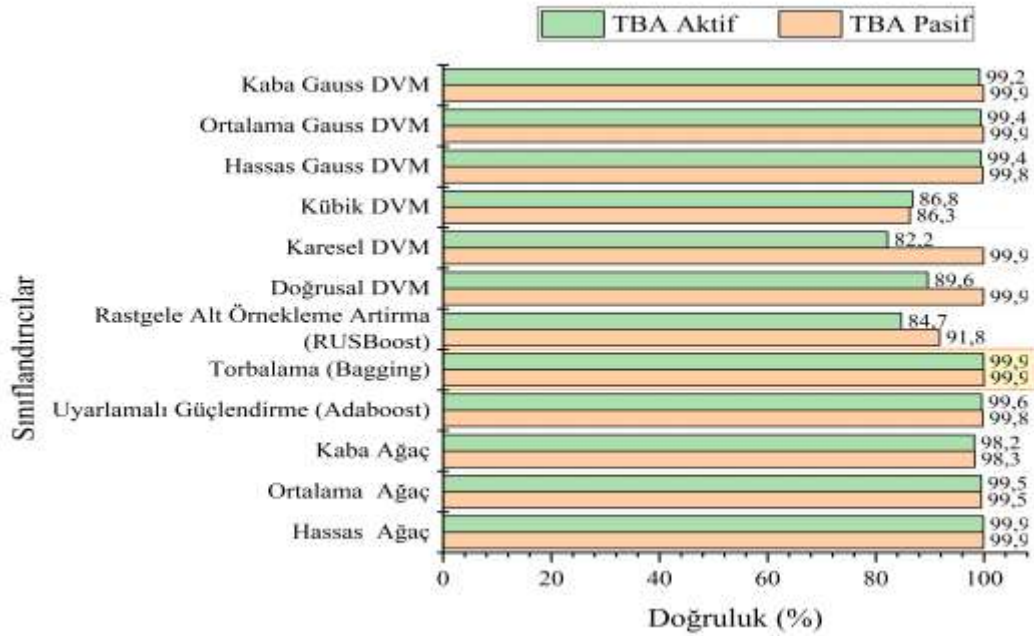
$$Doğruluk (Accuracy) = \frac{DP + DN}{DP + YN + YP + DN} \quad (16)$$

Tablo 8'de KDD10CORRECTED veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performans karşılaştırılması, Tablo 9'da KDDTEST veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performans karşılaştırılması ve Tablo 10'da ise KDD10CORRECTED+KDDTEST veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performans karşılaştırılması gösterilmiştir.

**Tablo 8.** KDD10CORRECTED veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performans karşılaştırılması

Sınıflandırıcılar	TBA Pasif		TBA Aktif	
	Doğruluk	Eğitim Süresi (sn)	Doğruluk	Eğitim Süresi (sn)
Hassas Ağaç	%99,90	831,58	%99,90	762,08
Ortalama Ağaç	%99,50	1028,9	%99,50	744,09
Kaba Ağaç	%98,30	894,34	%98,20	687,03
Uyarlamalı Güçlendirme (Adaboost)	%99,80	636,4	%99,60	598,14
<b>Torbalama (Bagging)</b>	<b>%99,99</b>	<b>446,68</b>	<b>%99,90</b>	<b>368,73</b>
Rastgele Alt Örnekleme Artırma (RUSBoost)	%91,80	399,99	%84,70	359,64
Doğrusal DVM	%99,90	2769	%89,60	12228
Karesel DVM	%99,90	6919,4	%82,20	65404
Küçük DVM	%86,30	62429	%86,80	130300
Hassas Gauss DVM	%99,80	15394	%99,40	1783,3
Ortalama Gauss DVM	%99,90	4177,8	%99,40	1807
Kaba Gauss DVM	%99,90	2917,6	%99,20	2628,5

Yapılan çalışma sonucunda Tablo 8’de görüldüğü gibi, 12 sınıflandırıcı arasında TBA pasif durumda iken en iyi performansı TÖ sınıflandırıcısından olan %99,99 ile Torbalama sınıflandırıcısı elde etmiştir. En kötü performansı ise DVM sınıflandırıcısından olan %86,30 ile Kübik DVM sınıflandırıcısı elde etmiştir. Öte yandan, TBA aktif durumda iken en iyi performansları TÖ sınıflandırıcısından olan %99,90 ile Torbalama sınıflandırıcısı ile KA sınıflandırıcısından olan %99,90 ile Hassas Ağaç elde etmiştir. Torbalama sınıflandırıcısı ile Hassas Ağaç sınıflandırıcısı aynı başarı oranına sahip olmasına rağmen, eğitim ve test süresi bakımından en iyi sonucu yaklaşık 369 sn ile Torbalama sınıflandırıcısı elde etmiştir. En kötü performansı ise DVM sınıflandırıcısından olan %82,2 ile Karesel DVM sınıflandırıcısı elde etmiştir. KDD10CORRECTED veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performanslarının karşılaştırılması konunun daha iyi anlaşılması için Şekil 1’de grafiksel olarak da gösterilmiştir.



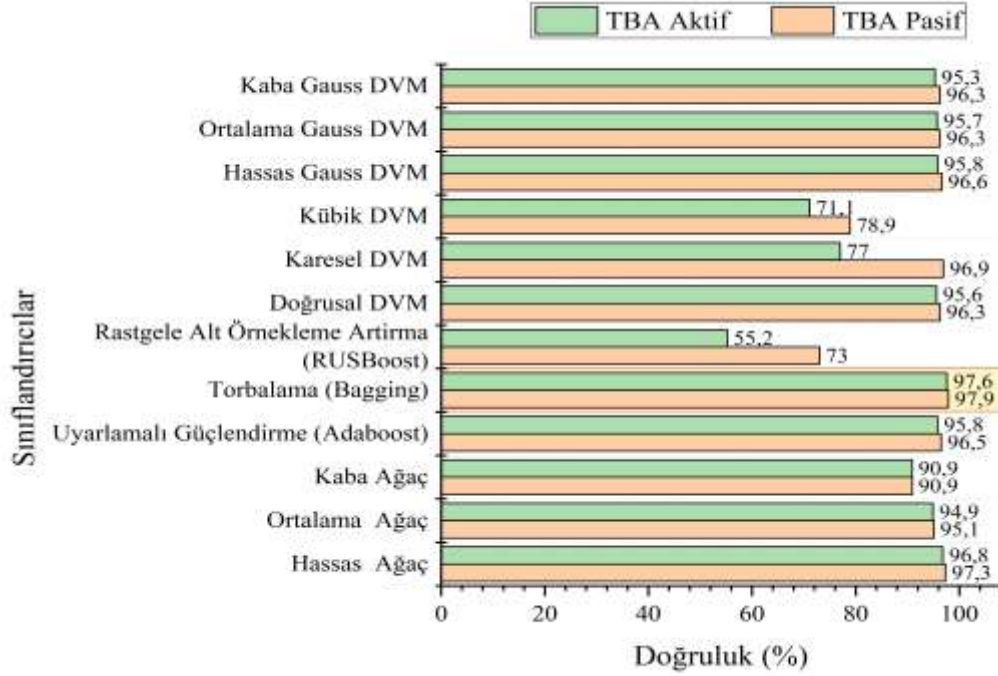
Şekil 1. KDD10CORRECTED veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performans karşılaştırılması

Tablo 9. KDDTEST veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performans karşılaştırılması

Sınıflandırıcılar	TBA Pasif		TBA Aktif	
	Doğruluk	Eğitim Süresi (sn)	Doğruluk	Eğitim Süresi (sn)
Hassas Ağaç	%97,30	22,822	%96,80	30,893
Ortalama Ağaç	%95,10	13,347	%94,90	22,018
Kaba Ağaç	%90,90	10,544	%90,90	22,015
Uyarlamalı Güçlendirme (Adaboost)	%96,50	599,6	%95,80	480,98
<b>Torbalama (Bagging)</b>	<b>%97,90</b>	<b>296,73</b>	<b>%97,60</b>	<b>236,55</b>
Rastgele Alt Örnekleme Artırma (RUSBoost)	%73,00	376,24	%55,20	367,3
Doğrusal DVM	%96,30	9507,7	%95,60	14826
Karesel DVM	%96,90	16756	%77,00	25586
Kübik DVM	%78,90	125060	%71,10	74122
Hassas Gauss DVM	%96,60	15306	%95,80	5308,9
Ortalama Gauss DVM	%96,30	13022	%95,70	5519,9
Kaba Gauss DVM	%96,30	10493	%95,30	8058

Yapılan çalışma sonucunda Tablo 9’da görüldüğü gibi, 12 sınıflandırıcı arasında TBA pasif durumda iken en iyi performansı TÖ sınıflandırıcısından olan %97,9 ile Torbalama sınıflandırıcısı elde etmiştir. En kötü performansı ise TÖ sınıflandırıcısından olan %73 ile Rastgele Alt Örnekleme Artırma

sınıflandırıcısı elde etmiştir. Öte yandan, TBA aktif durumda iken en iyi performansı TÖ sınıflandırıcısından olan %97,60 ile Torbalama sınıflandırıcısı elde etmiştir. En kötü performansı ise DVM sınıflandırıcısından olan %71,10 ile Kübik DVM sınıflandırıcısı elde etmiştir. KDDTEST veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performanslarının karşılaştırılması konunun daha iyi anlaşılması için Şekil 2’de grafiksel olarak da gösterilmiştir.

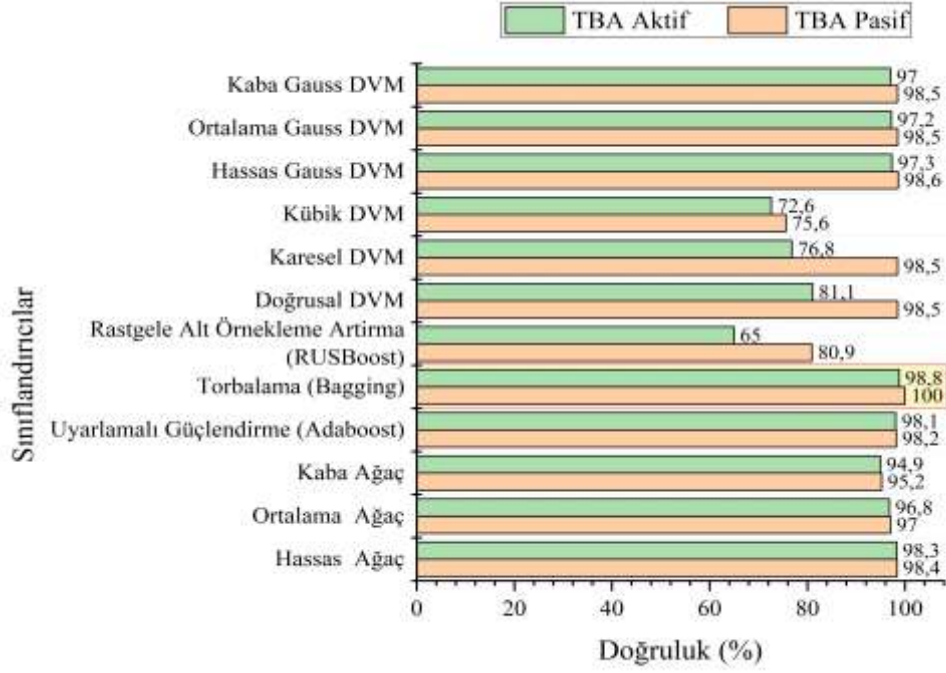


Şekil 2. KDDTEST veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performans karşılaştırılması

Tablo 10. KDD10CORRECTED+KDDTEST veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performans karşılaştırılması

Sınıflandırıcılar	TBA Pasif		TBA Aktif	
	Doğruluk	Eğitim Süresi (sn)	Doğruluk	Eğitim Süresi (sn)
Hassas Ağaç	%98,40	62,736	%98,30	100,72
Ortalama Ağaç	%97,00	43,566	%96,80	61,132
Kaba Ağaç	%95,20	37,23	%94,90	75,452
Uyarlamalı Güçlendirme (Adaboost)	%98,20	2080,5	%98,10	1612
<b>Torbalama (Bagging)</b>	<b>%100,00</b>	<b>1191,5</b>	<b>%98,80</b>	<b>951,76</b>
Rastgele Alt Örneklem Artırma (RUSBoost)	%80,90	1298,6	%65,00	1211,1
Doğrusal DVM	%98,50	11720	%81,10	57348
Karesel DVM	%98,50	89777	%76,80	273860
Kübik DVM	%75,60	668140	%72,60	486570
Hassas Gauss DVM	%98,60	75506	%97,30	8522,3
Ortalama Gauss DVM	%98,50	20729	%97,20	8861
Kaba Gauss DVM	%98,50	13795	%97,00	13070

Yapılan çalışma sonucunda Tablo 10’da görüldüğü gibi, 12 sınıflandırıcı arasında TBA pasif durumda iken en iyi performansı TÖ sınıflandırıcısından olan %100 ile Torbalama sınıflandırıcısı elde etmiştir. En kötü performansı ise DVM sınıflandırıcısından olan %75,60 ile Kübik DVM sınıflandırıcısı elde etmiştir. Öte yandan, TBA aktif durumda iken en iyi performansı TÖ sınıflandırıcısından olan %98,80 ile Torbalama sınıflandırıcısı elde etmiştir. En kötü performansı ise TÖ sınıflandırıcısından olan %65,00 ile Rastgele Alt Örneklem Artırma sınıflandırıcısı elde etmiştir. KDD10CORRECTED+KDDTEST veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performanslarının karşılaştırılması konunun daha iyi anlaşılması için Şekil 3’de grafiksel olarak da gösterilmiştir.



Şekil 3. KDD10CORRECTED+KDDTEST veri seti üzerinde 12 adet sınıflandırıcının performans karşılaştırılması

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, günümüzde en çok kullanılan makine öğrenme sınıflandırıcıları kullanılarak saldırı tespiti gerçekleştirilmiştir. Makine öğrenme sınıflandırıcıları olarak; KA, TÖ ve DVM sınıflandırıcıları tercih edilmiştir. Bu üç sınıflandırma tekniği kullanılarak KDD'99 veri kümesi altındaki bulunan; KDD10CORRECTED, KDDTEST ve KDD10CORRECTED+KDDTEST veri seti üzerinde sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma aşamasında 5-kat çapraz doğrulama tekniği kullanılmış olup, en iyi başarımlar oranlarına Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10 incelendiğinde KDD10CORRECTED veri setinde üzerinde %99,99, KDDTEST veri setinde üzerinde %97,90 ve KDD10CORRECTED+KDDTEST veri setinde üzerinde %100 ile Torbalama sınıflandırıcısı sahip olmuştur. Bunun nedeni olarak TÖ sınıflandırıcıların birden fazla iyi başarımlar gösteren algoritmaları birleştirilerek başarımlar oranını mümkün olduğunca yükseltilmesi olarak düşünülebilir. Sonuç olarak bu tarz çalışmalar için TÖ sınıflandırıcıları, KA ve DVM'ye göre daha iyi başarımlar elde ettiği görülmüştür. Bu veri setleri için TÖ sınıflandırıcılarından olan Torbalama sınıflandırıcısının tercih edilmesi daha yerinde olacaktır.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Sağiroğlu Ş., Yolaçan E.N., Yavanoğlu U. 2011. Zeki Saldırı Tespit Sistemi Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi. J Fac Eng Arch Gazi Univ, 26 (2): 325-340.

- [2] Burukanlı M., Budak Ü., Çıbuk M. 2019. Saldırı Tespit Sistemlerinde Makine Öğrenme Metotlarının Kullanımı. In: Uluslararası Bilim ve Mühendislik Sempozyumu, 20-22 Haziran 2019, Siirt, Türkiye, 1052-1057.
- [3] Sonawane H.A., Pattewar T.M. 2015. A Comparative Performance Evaluation of Intrusion Detection Based on Neural Network and PCA. In: 2015 Int. Conf. Commun. Signal Process. ICCSP 2015, 841-845.
- [4] Aburomman A.A. Reaz M.B.I. 2017. A Survey of Intrusion Detection Systems Based on Ensemble and Hybrid Classifiers. *Comput Secur*, 65: 135-152.
- [5] Golovko V.A., Vaitsekhovich L.U., Kochurko P.A., Rubanau U.S. 2007. Dimensionality Reduction and Attack Recognition Using Neural Network Approaches. In: 2007 Int. Jt. Conf. Neural Networks. IEEE, 12-17 Aug. 2007, Orlando, FL, USA, 2734-2739.
- [6] Wang W., Battiti R. 2006. Identifying Intrusions in Computer Networks with Principal Component Analysis. In: First Int. Conf. Availability, Reliab. Secur. IEEE, 20-22 April 2006, Vienna, Austria, Austria, 270-279.
- [7] Pattewar T.M., Sonawane H.A. 2015. Neural Network Based Intrusion Detection Using Bayesian with PCA and KPCA Feature Extraction. In: 2015 IEEE Int. Conf. Comput. Graph. Vis. Inf. Secur. IEEE, 2-3 Nov. 2015, Bhubaneswar, India, 83-88.
- [8] Mukkamala S., Janoski G., Sung A. 2002. Intrusion Detection Using Neural Networks and Support Vector Machines. In: Proc. 2002 Int. Jt. Conf. Neural Networks. IJCNN'02 (Cat. No.02CH37290). IEEE, 12-17 May 2002, Honolulu, HI, USA, USA, 1702-1707.
- [9] Özgür A., Erdem H. 2012. Saldırı Tespit Sistemlerinde Kullanılan Kolay Erişilen Makine Öğrenme Algoritmalarının Karşılaştırılması. *Bilişim Teknol Derg.*, 5 (2): 41-48.
- [10] Anonim, 1999. The UCI KDD Archive Information and Computer Science University of California, Irvine. <http://kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/kddcup99.html> (Erişim Tarihi: 26.01.2021).
- [11] Burukanlı M. 2020. Copula Fonksiyonlarını Kullanarak Bilgisayar Ağlarında Saldırı Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bitlis.
- [12] Liu W.M., Chang C.I. 2007. Variants of Principal Components Analysis. In: Int. Geosci. Remote Sens. Symp., 1083-1086.
- [13] Abdi H., Williams L.J. 2010. Principal Component Analysis. *Wiley Interdiscip Rev Comput Stat*, 2 (4): 433-459.
- [14] Jinhu L., Xuemei L., Lixing D., Liangzhong J. 2010. Applying Principal Component Analysis and Weighted Support Vector Machine in Building Cooling Load Forecasting. In: 2010 Int. Conf. Comput. Commun. Technol. Agric. Eng. 12-13 June 2010, Chengdu, China, 434-437.
- [15] Çalış A., Kayapınar S., Çetinyokuş T. 2014. Veri Madenciliğinde Karar Ağacı Algoritmaları ile Bilgisayar ve İnternet Güvenliği Üzerine Bir Uygulama. *Endüstri Mühendisliği Derg.*, 25 (3-4): 2-19.
- [16] Safavian S.R., Landgrebe D. 1991. A Survey of Decision Tree Classifier Methodology. *IEEE Trans Syst Man Cybern*, 21 (3): 660-674.
- [17] Yu Y., Zhong Liang F., Xiang Hui Z., Wen Fang C. 2009. Combining Classifier Based on Decision Tree. In: 2009 WASE Int. Conf. Inf. Eng. IEEE, 10-11 July 2009, Taiyuan, Chanxi, China, 37-40.
- [18] Masud M., Khan L., Thuraisingham B. 2011. *Data Mining Tools for Malware Detection*. CRC Press. Taylor & Francis, London.
- [19] Lu S-X., Meng J., Cao G-E. 2010. Support Vector Machine Based on A New Reduced Samples Method. In: 2010 Int. Conf. Mach. Learn. Cybern. IEEE, 11-14 July 2010, Qingdao, China, 1510-1514.
- [20] Kim H.C., Pang S., Je H.M., Kim D., Bang S.Y. 2003. Constructing Support Vector Machine Ensemble. *Pattern Recognit*, 36 (12): 2757-2767.
- [21] Cıbuk M., Budak U., Guo Y., Cevdet Ince M., Sengur A., 2019. Efficient Deep Features Selections and Classification for Flower Species Recognition. *Meas J Int Meas Confed*, 137: 7-13.
- [22] Budak Ü., Cömert Z., Çıbuk M., Şengür A. 2020. DCCMED-Net: Densely Connected and Concatenated Multi Encoder-Decoder CNNs for Retinal Vessel Extraction from Fundus Images. *Med Hypotheses*, 134: 1-9.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **COVID-19 Tedavisi İçin Türkiye’de Belirlenen Hastanelerin Seçiminde Etkili Olan Kriterlerin Değerlendirilmesi**

Kevser YURDAKUL<sup>1</sup>, Şeyda GÜR<sup>2</sup>, Tamer EREN<sup>1\*</sup>, Hacı Mehmet ALAKAŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Kırıkkale Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 71100, Kırıkkale, Türkiye.*

<sup>2</sup>*Harran Üniversitesi, Organize Sanayi Bölgesi Meslek Yüksekokulu, 63200, Şanlıurfa, Türkiye*  
(ORCID: 0000-0002-8942-7187) (ORCID: 0000-0002-4639-9657)  
(ORCID: 0000-0001-5282-3138) (ORCID: 0000-0002-9874-7588)

---

### **Öz**

Aralık 2019 tarihinde Çin’de ortaya çıkan ve hızlı bir şekilde tüm dünyaya yayılarak gücünü ve etkisini gösteren COVID-19 virüsü, WHO (World Health Organization) tarafından pandemi olarak ilan edilmiştir. Dolayısıyla bu denli bulaşıcı ve ölümcül bir hastalığın tedavisinin, sağlıklı bireylere bulaştırmadan ve tüm insanların sağlığını koruyacak bir şekilde, donanımlı sağlık kuruluşlarında yapılması büyük önem arz etmektedir. Yapılan bu çalışmada Türkiye’de vakaların görülmesi üzerine, Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı tarafından COVID-19 hastalarının tedavi edilmesi için belirlenen 25 referans hastanesinin seçiminde etkili olan kriterlerin değerlendirilmesi ve bu kriterlerin önem derecelerine göre sıralanması amaçlanmıştır. Değerlendirmede, belirlenen 25 referans hastaneye dair yedi kriter, COVID-19 virüsünün özellikleri ve yayınlanan rehberler ve raporlar incelenerek belirlenmiştir. Daha sonra kriterler, alanında uzman kişilerin görüşleri alınarak Çok Ölçütlü Karar Verme (ÇÖKV) yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Analitik Network Prosesi (ANP) yöntemleri ile kriterler karşılaştırılmış ve ağırlıklandırılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde, her iki yöntemde de benzer sonuçlar elde edilmiş ve en önemli üç kritere bakıldığında salgın ile mücadelede sağlık kuruluşlarının hem teknik hem de personel bakımından donanımının bu süreçte oldukça önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlardan hareketle, ANP yöntemiyle kriterler arasında içsel ve dışsal bağımlılıkların olduğu düşünüldüğünde de AHP yöntemi ile benzer sonuçlar elde edildiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** COVID-19, koronavirus, çok ölçütlü karar verme, analitik hiyerarşi prosesi, analitik network prosesi, hastane seçimi.

---

## **Evaluation of The Criteria That Affect the Selection of Hospitals in Turkey for Covid-19 Treatment**

---

### **Abstract**

The COVID-19 virus, which emerged in China in December 2019 and rapidly spread all over the world, was declared as a pandemic by WHO (World Health Organization). Therefore, it gains more importance that such an infectious and fatal disease is treated in well-equipped health institutions without infecting healthy individuals and in a way that protects the health of all people. In this study, it was aimed to evaluate the criteria that are effective in the selection of 25 reference hospitals determined by the Ministry of Health of the Republic of Turkey for the treatment of COVID-19 patients after the cases were seen in Turkey and to rank these criteria according to their degree of importance. seven criteria of the 25 reference hospitals were determined by examining the characteristics of the COVID-19 virus and published guidelines and reports. Then, the criteria were compared and weighted with the Analytical Hierarchy Process (AHP) and Analytical Network Process (ANP) methods, which are the Multi Criteria Decision Making (MCDV) methods, by taking the opinions of the experts in the field. As a result of the study, similar results were obtained in both methods and when the three most important criteria were considered, it was concluded that the equipment of the health institutions in terms of both technical and personnel was very important to fight against the pandemic in this process. By depending on the results, it was observed that similar results were obtained with the AHP method, given that there are internal and external dependencies between the criteria with the ANP method.

**Keywords:** COVID-19, coronavirus, multi-criteria decision making, analytical hierarchy process, analytical network process, hospital selection.

---

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

Geliş Tarihi: 23.02.2021, Kabul Tarihi: 29.04.2021

## 1. Giriş

Tarih boyunca insanlar, bulaşıcı hastalıkların neden olduğu birçok salgın ile karşı karşıya kalmıştır. Veba salgını, Kanamalı Ateş, Kolera salgını, AIDS virüsü, ağır akut solunum yolu yetersizliği sendromu olarak bilinen SARS, Ebola ve Domuz Gribi gibi salgın hastalıklar dünya çapında birçok insanın ölümüne neden olmuştur [1]. Bu salgınların ardından Aralık 2019 tarihinde, Çin'in Hubei eyaletinin en büyük şehri olan Wuhan'da, Coronavirus (CoV) tipi beta-CoV gurubundan, CoV ailesinin yedinci üyesi olarak COVID-19 salgını ortaya çıkmıştır [2, 3]. Bu salgının kaynağı halen araştırılırken, bazı sonuçlar COVID-19 salgınının, Wuhan şehrinde, vahşi hayvanların satıldığı deniz ürünleri pazarında ortaya çıktığını ve oradan insanlara bulaştığını göstermektedir [4].

Temel üreme sayısı veya temel bulaşıcılık katsayısı olarak bilinen  $R_0$  değeri, yani virüsü taşıyan her bireyin kendisinden başka ortalama kaç kişiye bulaştırabileceğini gösteren bu değer, COVID-19 salgını için Wu ve ark. [5] tarafından 2,47-2,86 olarak hesaplanmıştır. İlk tespit edilen vaka ile virüs, bu değer göz önüne alındığında insandan insana kolayca bulaşması nedeniyle önce Çin, ardından diğer ülkelere hızla yayılmıştır (Şekil 1) ve Mart 2020 itibarıyla 116 ülkeye ek Türkiye'de dâhil olmak üzere, toplamda 117 ülkede COVID-19 vakasına rastlanmıştır. Bu ciddi yayılımı nedeniyle WHO (World Health Organization), COVID-19'u pandemi olarak ilan etmiştir [6].



Şekil 1. Ülkelere Göre COVID-19 Vaka Sayısı (10 Kasım 2020 Tarihli Harita) [7]

WHO'nun 2020 Kasım verilerine göre Çin'de ortaya çıkan bu virüsten 200.000'nin üzerinde vefat ile en çok Amerika Birleşik Devletleri etkilenirken, Türkiye'de ise 10.000'nin üzerinde vefat olduğu açıklanmıştır [8].

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, COVID-19 hastalığının başlıca belirtileri %81,8 ateş, %48,2 öksürük ve %32,1 kas ağrıları ve yorgunluk olarak sıralanmaktadır [9]. Bu belirtilerin yanı sıra solunum yetmezliği, şiddetli zatürre, yüksek ateş gibi semptomları olan hastalar, yoğun bakımlarda uzman hekimler tarafından oksijen desteği sağlanarak tedavi edilmektedir [2]. WHO, bu tedavi sürecinde savunmasız sağlık tesislerine sahip yani, salgına karşı savaşacak donanımlı hastaneleri olmayan ülkelerin, büyük tehdit altında olabileceğini duyurmuştur [10]. Dolayısıyla bu süreçte, hastaların gerekli donanımlara sahip hastanelerde, sağlıklı bireylerden izole ve tüm insanların sağlığını koruyacak bir şekilde tedavi edilmesi oldukça önemlidir. Türkiye'de COVID-19 vakalarının görülmesi üzerine, T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından yurt genelinde hastaların tedavi edilebileceği 25 referans hastane belirlenmiştir. Daha sonra Türkiye'de vakaların artması nedeniyle Sağlık Bakanlığı tarafından "Bünyesinde Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji, Göğüs hastalıkları, İç Hastalıkları uzmanı hekimlerden en az ikisinin bulunduğu ve 3. seviye erişkin yoğun bakım yatağı bulunan" tüm hastaneler pandemi hastanesi (salgınla mücadele eden) olarak ilan edilmiştir [11]. Hastanelerde doluluk oranlarının artmasıyla Çin'de büyük, geçici ve donanımlı Fangcang barınak hastaneleri kurulurken,

Türkiye’de ise nüfusu oldukça fazla olan ve vakaların sıkça görüldüğü İstanbul’da, COVID-19 hastalarının tedavi edilmesi amacıyla 25 referans hastaneye ek olarak iki yeni ve kalıcı “çok amaçlı acil durum hastaneleri” inşa edilmiştir [12, 13].

Hastane seçimi, genel anlamda hastaların ihtiyaçlarına ve tercihlerine göre hastaneleri değerlendirerek karar verdikleri bir süreçtir. Bu süreçte, amaca en uygun kriterler ile hastanelerin değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Literatürde birçok amaç doğrultusunda hastaların, hastane seçiminde etkili olan kriterler değerlendirilmiştir [14-16]. Şuanda içinde bulunulan salgın sürecinde, COVID-19 teşhisi konulan hastalar, özel hastaneler hariç belirlenen hastaneler dışında bir hastanede tedavi olma şansına sahip değildir. Dolayısıyla tedavi için gidilebilecek hastanelerin belirlenmesi, bu konuda uzman ve üst düzey karar vericiler tarafından gerçekleştirilmektedir. Literatürde hastanelerin yer ve tedarikçi seçimi, hastanelerin hizmet kalitesinin ve performansının değerlendirilmesi ve hastanelerin afetlere karşı değerlendirilmesi gibi konularda çalışmaların bulunmasına rağmen salgın hastalıkların tedavi edilebileceği, hastanelerin seçimine özgü bir çalışmaya rastlanmamıştır [17-24]. Bu nedenle yapılan çalışmada, Türkiye’de hastalığın ilk görüldüğü, önemli kararların verildiği günlerde, COVID-19 hastalarının tedavisi için belirlenen 25 referans hastanesinin seçim kararında etkili olan tüm kriterlerin değerlendirilmesi ve önem derecelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçlar doğrultusunda literatürde bulunan çok sayıda yöntem içerisinde belirli bir aralıkta tutarsızlığa izin vermesinden dolayı AHP, kriterleri gruplandırarak bağımlılıkları dikkate almasından dolayı ANP yöntemleri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

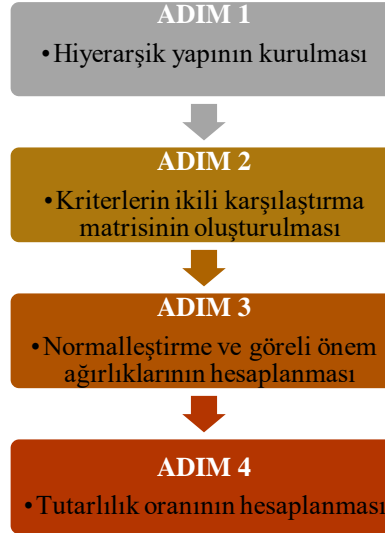
Bu çalışma beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm giriş bölümü olup, ikinci bölümde çalışmada kullanılan ÇÖKV yöntemlerinden AHP ve ANP yöntemlerine dair bilgiler yer almaktadır. Üçüncü bölümde yapılan uygulama tüm adımlarıyla anlatılmıştır. Dördüncü bölümde uygulama sonuçları karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Son bölüm olan beşinci bölümde ise elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilmiş ve ileride yapılacak çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

Karar verme süreci iş hayatında ya da günlük hayatta her gün her an yaşanan bir süreçtir. Kişiler buldukları mevcut durumlar içerisinde karar verirken, aslında farkında olmadan kararının avantajlarını ve dezavantajlarını dikkate alarak bir seçim yapmaktadırlar. Stratejik kararlar alınırken de birçok kriter göz önüne alınması ve bilimsel yöntemlerin kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada da kriterlerin ağırlıklandırılması ve farklı yöntemler ile sonuçların karşılaştırılması için AHP ve ANP yöntemleri kullanılmıştır.

### 2.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi

AHP, Saaty tarafından geliştirilmiş, karmaşık, çok kriterli karar problemlerinin çözümü için kullanılan bir yöntemdir [25]. AHP çift yönlü karşılaştırmalar yapan bir ölçüm teorisidir ve öncelikler elde etmek için uzmanların kararına dayanmaktadır [26]. Enerji, gıda, ulaştırma ve lojistik, eğitim, tekstil, sağlık vb. alanlarda sıkça tercih edilen bir yöntemdir [27-33]. Özellikle sağlık alanına bakıldığında diğer ÇÖKV yöntemlerine oranla, AHP yönteminin %56 oranla tercih edildiği görülmüştür [34]. Kullanım kolaylığı, genişletilebilir olması, hiyerarşik yapısının kolayca büyük boyutlu problemlere uyacak şekilde ayarlanabilir olması, yoğun veri içermemesi ve karar verici için kabul edilebilir bir tolerans aralığında tutarsızlığa izin veren tek yöntem olması avantajları nedeniyle AHP yöntemi, bu çalışmada hastane seçimindeki kriterlerin değerlendirilmesi amacıyla tercih edilmiştir [35, 36]. Bu yöntem kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesinin yanı sıra, alternatifleri de sıralayarak, aralarından en uygun seçimi yapmayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, AHP yöntemi kriter ağırlıklandırması için kullanıldığından, alternatiflerin değerlendirilmesi kısmına yer verilmemiştir. AHP yöntemi Şekil 2’de gösterildiği gibi 4 aşamadan meydana gelmektedir.



Şekil 2. AHP Yöntemi Aşamaları

Adım 1: AHP yönteminde, öncelikle problemin çerçevesi oluşturulmaktadır ve daha sonra hedef belirlenmektedir. Belirlenen hedef başta olmak suretiyle, hedefe bağlı olarak kriterler ve kriterlere bağlı alternatifler hiyerarşik düzende gösterilmektedir. Uygulamada ise sadece kriterler değerlendirileceğinden dolayı ağ yapısı, belirlenen hedefi ve literatür kapsamında oluşturulan kriterleri içermektedir.

Adım 2: Hiyerarşik yapının oluşturulmasının ardından konuda uzman kişi/kişiler tarafından kriterler arasında ikili karşılaştırma matrisi oluşturulmaktadır. Bu matrisin oluşturulması için Tablo 1’de verilen Saaty’nin 1-9 önem skalası kullanılmaktadır. Uygulamada bu adımda alanında uzman üç karar verici, ayrı ayrı hazırlanmış anketleri 1-9 skalasına göre doldurarak kriterleri karşılaştırarak ikili karşılaştırma matrislerini oluşturmaktadır.

Tablo 1. Önem Skalası

Önem Derecesi	Tanım
1	Eşit önemli
3	Biraz daha önemli
5	Çok daha önemli
7	Aşırı önemli
9	Kesinlikle daha önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

Adım 3: Yöntemin bu adımında bir önceki adımda elde edilen ikili karşılaştırma matrisindeki her bir kriterin eşit değerlendirilmesi için normalizasyon işlemi eşitlik (1) yardımıyla yapılmaktadır. Normalizasyon işlemi gerçekleştirildikten sonra, her bir kriterin ağırlığı eşitlik (2) ile hesaplanmaktadır. Uygulamada ise uzmanlarca oluşturulan üç farklı ikili karşılaştırma matrisi için ayrı ayrı normalizasyon işlemi gerçekleştirilerek kriter ağırlıkları belirlenmektedir.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (1)$$

$$w_i = \frac{\sum_{i=1}^n b_{ij}}{n} \quad (2)$$

Adım 4: Son adımda, kriter ağırlıklarını bulmak için oluşturulan karşılaştırma matrisinde yapılan karşılaştırmaların, tutarlı olup olmadığını değerlendirmek amacıyla Tutarlılık Oranı (TO) hesaplanmaktadır. TO hesaplanması için ikili karşılaştırma matrisinin en büyük özvektörü,  $\lambda_{max}$  eşitlik (3) ve (4) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$[a_{ij}]_{n \times n} * [w]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1} \quad (3)$$

$$\lambda_{max} = \max \left\{ \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i} \right\} \quad (4)$$

TO, eşitlik (5)'teki gibi Tutarlılık İndeksinin (Tİ) rassal indekse oranıdır ve Tİ hesaplamak için eşitlik (6) kullanılmaktadır. Uygulamada her bir karar vericinin değerlendirmesindeki TO, Tablo 4'deki gibi hesaplanmıştır. Ancak her birinin ayrı değerlendirilmesi yerine, üç karar vericinin karşılaştırma matrislerinin geometrik ortalaması alınarak, ortak değerler edilir ve Adım 3 ve 4 ortak matris üzerinden tekrar edilir. Sonuç olarak ortak değer dikkate alınır.

$$TO = \frac{T\bar{I}}{R\bar{I}} \quad (5)$$

$$T\bar{I} = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

Hesaplamalar neticesinde TO değerinin 0,10'un altında bulunması, elde edilen kriter ağırlıklarının tutarlı olduğu, aksi halde tutarsızlık olduğu ve ikili karşılaştırma matrisinin revize edilmesi gerektiği anlamına gelmektedir [33].

## 2.2. Analitik Network Prosesi Yöntemi

Saaty tarafından geliştirilen ANP, AHP yönteminin genel biçimidir ve kriterleri, alternatifleri ve ayrıca bunlar arasındaki ilişkileri temsil eden bir ağ modelidir [37, 38]. Bağımlılığa izin vermesinin yanında bağımsızlığı da içermesi, gruplara veya öge kümelerine öncelik verme yeteneği olması gibi avantajları ile ANP yaygın olarak kullanılan ÇÖKV yöntemlerinden birisidir [27]. Ayrıca sağlık alanındaki ÇÖKV problemlerinde AHP yönteminden sonra en çok tercih edilen yöntemdir [34]. Yapılan çalışmada hastanelerin seçiminde etkili tüm kriterler tek başına oldukça önemli olsa da birbirleri ile etkileşim içerisinde olması sebebiyle ANP yöntemi bu etkileşimleri dikkate alarak probleme çözüm üretmede ve AHP yöntemi ile sonuçların karşılaştırılarak bu etkileşimlerin değerlendirilmesine olanak sağlayacaktır. ANP yöntemi Şekil 3'deki gibi 5 adımdan oluşmaktadır.



Şekil 3. ANP Yöntemi Aşamaları

Adım 1: Öncelikle karar probleminin tüm çerçevesi ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler ile belirlenmektedir ve rasyonel olarak bir ağ yapısına dönüştürülmektedir. Problemimizde alternatifler bulunmadığından Tablo 6'daki gibi ana ve alt kriterler oluşturulmuştur.

Adım 2: Birbiri ile ilişkili kriterler bir arada olacak şekilde, tüm kriterler arasındaki etkileşimler dikkate alınarak bir ağ yapısı elde edilmektedir. Ardından belirlenen tüm kriterler, problem konusunda uzman kişiler ile değerlendirilmektedir. Değerlendirme yapılırken, Tablo 1’de verilen Saaty tarafından önerilen 1-9 skalası kullanılmaktadır. Bu aşamada faktörlerin birbirlerine göre üstünlükleri belirlenmektedir. Uygulamada ise oluşturulan ağ yapısında, ana kriterler içerisinde bulunan alt kriterler Super Decision paket programında ilişkilendirilerek karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur ve sonraki adımlar paket program tarafından yapılmıştır.

Adım 3: İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulmasının ardından kriterlerin ve alternatiflerin öz vektörleri (ağırlıkları) hesaplanmaktadır. Daha sonra elde edilen bu ağırlıkların tutarlılığı değerlendirmek için tutarlılık oranı hesabı yapılmaktadır ve bu değer 0,10’dan küçük olması beklenmektedir.

Adım 4: Süper matris yapısında kriterler arasındaki ilişkiler gösterilmektedir. Bu matris önceliklerin elde edilmesinde karşılaştırma matrisi kullanılarak elde edilmektedir. Daha sonra ağırlıklandırılmış değerler ile süper matrisdeki değerler çarpılarak ağırlıklandırılmış süper matris elde edilir ve bu matrisin  $(2n+1)$  kuvveti alınır.

Adım 5: Yapılan işlemler sonunda elde edilen limit matrisi ile kriterlere ve alternatiflere ait önem dereceleri belirlenmektedir. En yüksek değere sahip kriter en önemli kriter, en yüksek değere sahip olan alternatif ise en iyi alternatif olmaktadır [39].

### 3. Bulgular ve Tartışma

Dünya geliştikçe sağlık sistemleri ve sağlık alanındaki teknolojilerde gelişmektedir. Bu gelişmeler ile birlikte, sağlık harcamaları da artmakta ve büyük bütçelere ihtiyaç duyulmaktadır. T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı 2020 Yılı Bütçesi Vatandaşın Bütçe Rehberi’ne göre sağlık sektörü, 2020 yılı bütçesinde %17,2 ile en yüksek paya sahiptir [40]. İçinde bulunulan COVID-19 salgını gibi kriz dönemlerinde, ülkeler bu kaynaklarını daha etkin ve verimli kullanmak durumunda kalmaktadır. Bu bağlamda, bu kriz döneminde alınacak her karar kritik önem taşımaktadır.

Acil durumlarda hastalık tanısı için hastane seçimi oldukça önemlidir [15]. Dolayısıyla bir hastalığın teşhis ve tedavi sürecinde hastanenin bütün kriterlerinin değerlendirilerek seçim yapılması da büyük önem arz etmektedir.

#### 3.1. Problemin Tanımlanması

Bu çalışmada 2020 Mart ayında Türkiye’ye ivedi bir şekilde giriş yapan ve bugün halen dünyada birçok insanın hayatına mal olan COVID-19 virüsü nedeniyle hastalanan bireylerin tedavisinde hizmet verecek, referans hastaneler olarak belirlenen (Tablo 2 ve Şekil 4) 25 hastanenin seçiminde etkili olan kriterlerin değerlendirilmesi problemi ele alınmıştır. Problem sonuçlarının nasıl olacağı henüz bilinmeyen salgın sürecinin başlangıcını kapsamaktadır. Dolayısıyla böylesi belirsiz bir süreçte verilecek ilk kararlar en doğru şekilde ve tüm kriterler değerlendirilerek verilmelidir.

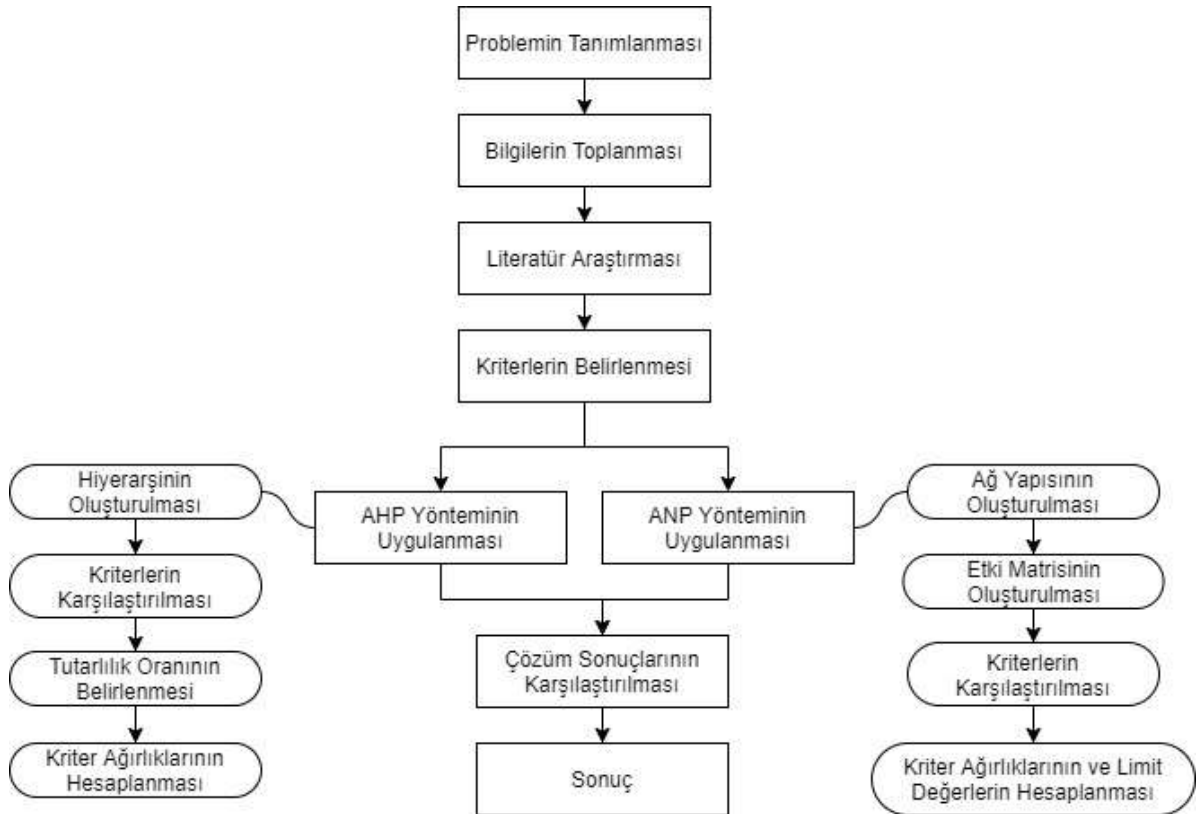
Türkiye’de yapılan bu çalışma ile belirlenen referans hastanelerin seçimindeki kriterlerin belirlenmesi ve bu kriterlerin ilişkileri de dikkate alınarak önem derecelerinin (ağırlıklarının) hesaplanması amaçlanmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda AHP ve ANP yöntemleri uygulanmış ve iki yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygulamada izlenecek adımlar Şekil 5’te verilmiştir.



Şekil 4. Türkiye’de COVID-19 Tedavisi İçin Belirlenen 25 Referans Hasta

**Tablo 2.** Türkiye’de COVID-19 Tedavisi İçin Belirlenen 25 Referans Hastane ve Buldukları Bölgeler [41]

No	Hastane Adı	Ait Olduğu Bölge
1	Adana Şehir Hastanesi	Adana Bölgesi
2	Ankara Şehir Hastanesi	Ankara 2 (Bilkent) Bölgesi
3	Ankara Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Ankara 1 (Etilik) Bölgesi
4	Antalya Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Antalya Bölgesi
5	Bursa Şehir Hastanesi	Bursa Bölgesi
6	Bursa Yüksek İhtisas Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Bursa Bölgesi
7	Diyarbakır Gazi Yaşargil Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Diyarbakır Bölgesi
8	Elazığ Fethi Sekin Şehir Hastanesi	Elazığ- Malatya Bölgesi
9	Erzurum Bölge Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Erzurum Bölgesi
10	Eskişehir Şehir Hastanesi	Eskişehir Bölgesi
11	Gaziantep Dr. Ersin Arslan Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Gaziantep Bölgesi
12	Isparta Şehir Hastanesi	Antalya Bölgesi
13	Kartal Dr. Lütfe Kırdar Eğitim ve Araştırma Hastanesi	İstanbul Anadolu-Güney Bölgesi
14	İstanbul Haseki Eğitim ve Araştırma Hastanesi	İstanbul Fatih Bölgesi
15	Bakırköy Dr. Sadi Konuk Eğitim ve Araştırma Hastanesi	İstanbul Bakırköy Bölgesi
16	İstanbul Eğitim ve Araştırma Hastanesi	İstanbul Fatih Bölgesi
17	İzmir Tepecik Eğitim ve Araştırma Hastanesi	İzmir Güney Bölgesi
18	İzmir Dr. Suat Ceren Göğüs Hastalıkları ve Cerrahisi Eğitim ve Araştırma Hastanesi	İzmir Güney Bölgesi
19	Kayseri Şehir Hastanesi	Kayseri Bölgesi
20	Malatya Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Elazığ-Malatya Bölgesi
21	Sakarya Üniversitesi Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Kocaeli Bölgesi
22	Samsun Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Samsun Bölgesi
23	Trabzon Kanuni Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Trabzon Bölgesi
24	Van Eğitim ve Araştırma Hastanesi	Van Bölgesi
25	Yozgat Şehir Hastanesi	Ankara 1 (Etilik) Bölgesi

**Şekil 5.** Uygulama Adımlar

### 3.2. Problemin AHP Yöntemi ile Çözümü

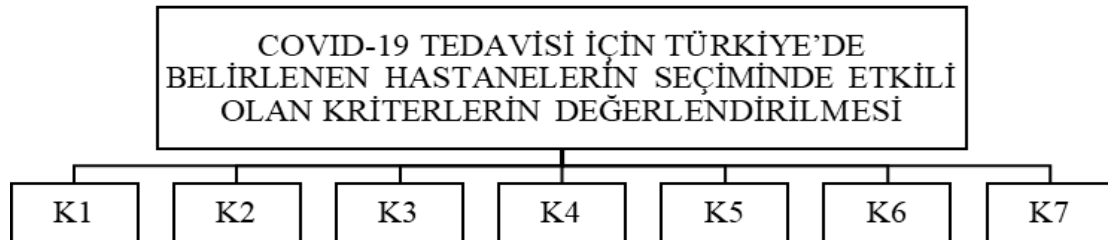
COVID-19 tedavisi için belirlenen 25 referans hastanenin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler, T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü ve T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlük'leri tarafından yayınlanan rehberler ve genelgeler, COVID-19 salgın hastalığının özellikleri ve belirlenen 25 hastanenin özelliklerinin incelenmesi doğrultusunda oluşturulmuştur ve Tablo 3'de verilmiştir.

Kriterler incelendiğinde K3 kriteri, K1 ve K6 kriterleri ile bazı noktalarda birbirine benzemektedir. Ancak K1 ve K3 kriteri incelendiğinde, AI ve AI\_Dal gruplarında olan hastaneler, eğitim araştırma hastanesi olma şartı taşıırken AII grubu hastaneler, eğitim araştırma hastanesi olma şartı taşımamaktadır. Ayrıca bazı AI ve AI\_Dal grubunda bulunan, eğitim kadroları henüz tamamlanamamış eğitim ve araştırma hastaneleri, eğitim kadroları tamamlanıp fiili olarak eğitim fonksiyonu kazanana kadar AII grubu hastaneler statüsünde değerlendirilmektedir. K3 ve K6 kriterine bakıldığında ise bir istisnai durum olarak Sakarya Eğitim Araştırma Hastanesi, AI grubunda bulunmasına karşı 1. Seviye yoğun bakıma sahip bir hastanedir [42]. Bu nedenle değerlendirme yapılırken bu istisnai durumlar, kriterler arasındaki farklılıkları ortaya koymaktadır.

**Tablo 3.** Kriterlerin Açıklaması

Kriter Adı	Açıklama	Kaynak
K1	E.A.H.(Eğitim Araştırma Hastanesi) olması	T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü[41]
K2	Kurum türünün "G.H.(Genel hastane)" veya "G.H.H.( Göğüs Hastalıkları ve Göğüs Kalp Damar ve Cerrahisi Hastaneleri)" olması	T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü[41]
K3	Hastanelerin rollerinin gruplaması (AI, AI_Dal, AII grubu vb.)	T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü[41]
K4	Negatif basınçlı izolasyon sistemine sahip bir hastane olması	Sözcü Gazetesi[43]
K5	Hastaneye erişim kolaylığının olması	-
K6	3. seviye erişkin yoğun bakım yatağı bulunan bir hastane olması	T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü[42]
K7	Bünyesinde Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji, Göğüs hastalıkları, İç Hastalıkları uzmanı hekimlerden en az ikisinin bulunduğu bir hastane olması	T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü[42]

Problemin tutarlı bir çözümünün yapılabilmesi için problem tanımının tüm ayrıntıları ile gösterilmesi ve bir öncelik hiyerarşisine göre oluşturulması gerekmektedir. Probleminiz için başta amaç ve altında kriterlerin tanımlanmasıyla problem çerçevesi oluşturulmuş ve AHP yönteminin ilk adımı olan hiyerarşik gösterim Şekil 6'da verilmiştir.



**Şekil 6.** AHP Hiyerarşik Yapı

COVID-19 tedavisi için belirlenen 25 hastanenin seçiminde etkili olan tüm kriterlerin belirlenmesiyle, bu kriterler sağlık alanında çalışan üç Karar Verici (KV) tarafından değerlendirilmiştir. KV1; bir eğitim ve araştırma hastanesinde COVID-19 yoğun bakımında çalışan hemşire, KV2; bir aile



sağlığı merkezinde çalışan ebe-hemşire ve KV3; bir eğitim ve araştırma hastanesi çocuk hematoloji ve onkoloji kliniğinde çalışan klinik hemşire sorumludur.

Çok karar vericili süreçlerde her KV tüm kriterlerin karşılaştırılmasında yargıda bulunduğundan, bu yargıların uygun bir şekilde birleştirilmesi gerekmektedir. AHP ile grup kararları verilirken bireysel yargıların birleştirilmesinde, literatürde en çok geometrik ortalama yönteminin kullanıldığı görülmüştür [44-46]. Bunun sebebi karşılaştırma matrisinde simetrik elemanların birbirinin tersi olması gerekmesi ve bu koşulu geometrik ortalama yönteminin sağlamasıdır. Geometrik ortalama yönteminde bireysel yargıların birleştirilmesi (AIJ-Aggregation of Individual Judgements) ve bireysel önceliklerin birleştirilmesi (AIP-Aggregation of Individual Priorities) olarak iki yöntem bulunmaktadır. Ancak farklı birleştirmeler yapılmasına rağmen bu iki yöntemde aynı sonucu vermektedir [44].

Ele alınan problem için AIJ yöntemi kullanılarak her bir KV Tablo 1’de verilen Saaty’nin önem skalasını dikkate alarak, tüm kriterleri ikili olarak karşılaştırmıştır. Tablo 4’de tüm KV’lerin karşılaştırmalarının geometrik ortalamaları alınıp ortak değerler hesaplanmıştır. Ayrıca her bir KV’nin ve ortak karşılaştırma matrislerinin tutarlılık oranları da Tablo 4’de verilmiştir.

Ortak değerler ile oluşturulan karşılaştırma matrisi, tüm kriterlerin eşit değerlendirilebilmesi için normalize edildikten sonra kriterlerin ağırlıkları Tablo 5’de verilmiştir.

**Tablo 4.** COVID-19 Tedavisi İçin Belirlenen 25 Hastanenin Seçiminde Etkili Olan Kriterlerin Karşılaştırılması

1. Kriter	Karar Verici			2. Kriter	Geo. Ort.	Ortak Değer
	KV1	KV2	KV3			
K1	3	1/4	1	K2	0,91	1
K1	1/2	1/5	1	K3	0,46	1/2
K1	7	3	5	K4	4,72	5
K1	5	1/7	5	K5	1,53	2
K1	1/3	1	1	K6	0,69	1/2
K1	1/4	1/5	1	K7	0,37	1/3
K2	1/3	1	1	K3	0,69	1/2
K2	5	6	5	K4	5,31	5
K2	3	1/4	5	K5	1,55	2
K2	1/5	4	1	K6	0,93	1
K2	1/5	1	1	K7	0,58	1/2
K3	7	7	5	K4	6,26	6
K3	5	1/4	5	K5	1,84	2
K3	1/2	5	1	K6	1,36	1
K3	1/3	1	1	K7	0,69	1/2
K4	1/4	1/9	5	K5	0,52	1/2
K4	1/9	1/3	1/5	K6	0,19	1/5
K4	1/9	1/7	1/5	K7	0,15	1/7
K5	1/7	7	1/9	K6	0,48	1/2
K5	1/7	1	1/5	K7	0,31	1/3
K6	1/2	1/5	1/5	K7	0,27	1/4
<b>Tutarlılık Oranı</b>	0,09	0,08	0,07	-	-	0,03

**Tablo 5.** AHP Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar
K1	0,1161
K2	0,1326
K3	0,1830
K4	0,0313
K5	0,0742
K6	0,1482
K7	0,3146

### 3.3. Problemin ANP Yöntemi ile Çözümü

COVID-19 sürecinde hastaların tedavi edilebilmesi için belirlenen 25 referans hastanenin seçiminde etkili kriterlerin değerlendirilmesi için, Tablo 3’de verilen kriterler ANP yönteminde alt kriterler olarak ele alınmıştır. Bununla birlikte alt kriterler rasyonel bir şekilde kategorize edilerek Tablo 6’da görüldüğü gibi ana kriterler oluşturulmuştur.

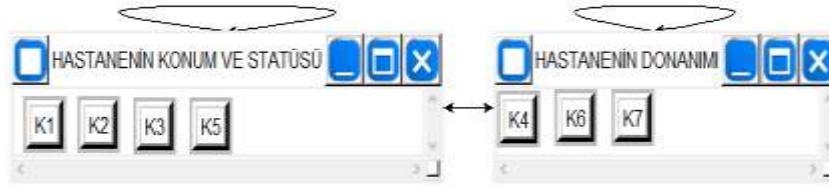
**Tablo 6.** Kriterlerin Ana ve Alt Kriterlere Ayrılması

Amaç	Ana Kriter	Alt Kriter
COVID-19 Tedavisi İçin Belirlenen 25 Hastanenin Değerlendirilmesi	Hastanenin Konumu ve Statüsü	K1 E.A.H. olması
		K2 Kurum türünün “G.H” veya “G.H.H.” olması
		K3 Hastanelerin rollerinin gruplamasında AI, AI_Dal veya AII grubu bir hastane olması
	Hastanenin Donanımı	K5 Hastaneye erişim kolaylığının olması
		K4 Negatif basınçlı izolasyon sistemine sahip bir hastane olması
		K6 3. seviye erişkin yoğun bakım yatağı bulunan bir hastane olması
		K7 Bünyesinde Enfeksiyon Hastalıkları ve Klinik Mikrobiyoloji, Göğüs hastalıkları, İç Hastalıkları uzmanı hekimlerden en az ikisinin bulunduğu bir hastane olması

Toplamda 2 ana kriter ve yedi alt kriter, sağlık çalışanları ve yayınlanan genelgeler dikkate alınarak oluşturulmuştur. Ana kriterler incelendiğinde hastanenin konumu ve statüsü ana kriterinde hastanenin eğitim araştırma hastanesi, göğüs hastanesi, rol grupları ve hastaneye erişim kolaylığının bulunduğu görülmektedir. COVID-19 hastalığının bulaşıcı olması ve bir salgın hastalık olması sebebiyle hastanenin konumunun merkezi veya ücra bir yerde bulunması, dikkat edilmesi gereken bir konudur. Hastane donanımı ana kriteri incelendiğinde negatif basınçlı oda, 3. Seviye yoğun bakım ve belirli alanlarda uzman hekimlerin bulunması, hastalığın kolay yayılımı ve kimi zaman ağır tedavi süreçlerinden dolayı belirli donanımlara sahip hastanelerin büyük önem taşıdığını göstermektedir. Birbirini etkileyen bu kriterler arasındaki etkileşim Tablo 7’de ve ağ yapısı Şekil 7’de verilmiştir.

**Tablo 7.** ANP Etki Matrisi

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7
K1			X		X	X	X
K2			X		X	X	X
K3	X	X			X	X	X
K4						X	
K5							
K6	X	X	X	X			
K7	X	X	X		X		



Şekil 7. ANP Super Decision Paket Programı Ağ Yapısı

Çalışmada ağ yapısı, kriterler arasındaki iç ve dış bağımlılıklar dikkate alınarak oluşturulmuştur. Örneğin, eğitim araştırma hastanesi olması kriteri (K1) ile hastane rollerinin gruplanması kriteri (K3) iç bağımlılığa sahipken, eğitim araştırma hastanesi olması kriteri (K1) ile belirli bölümlerden uzman hekimlerin bulunması kriteri (K7) dış bağımlılığı oluşturmaktadır.

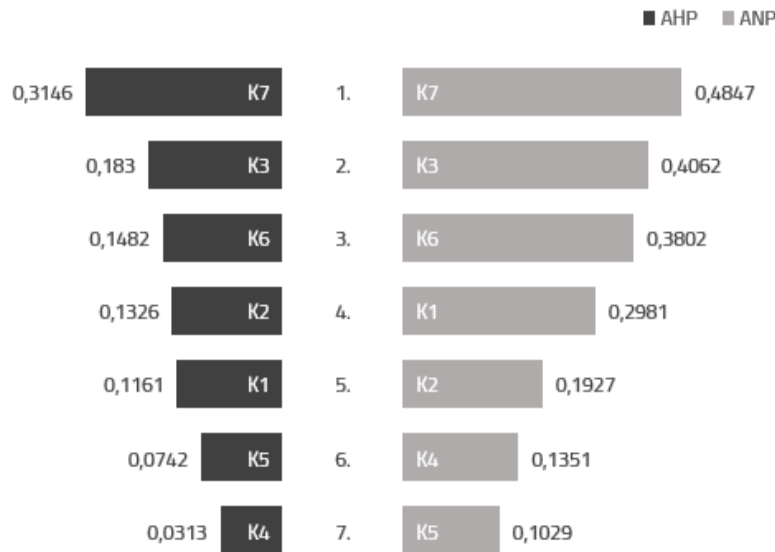
COVID-19 tedavisi için belirlenen 25 hastanenin seçiminde etkili kriterlerin değerlendirilmesi problemi için, ağ yapısının oluşturulması ve sağlık çalışanları ile ikili karşılaştırmalarının oluşturulmasıyla elde edilen matrisler Super Decision paket programı yardımıyla çözülmüştür [47]. Çözüm sonucunda ulaşılan kriter ağırlıkları ve limit değerleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. ANP Kriter Ağırlıkları

Kriterler	Ağırlıklar	Limit
K1	0,2981	0,1792
K2	0,1927	0,1159
K3	0,4062	0,2442
K4	0,1351	0,0619
K5	0,1029	0,0539
K6	0,3802	0,1516
K7	0,4847	0,1933

### 3.4. Çözüm Sonuçlarının Karşılaştırılması

COVID-19 tedavisi için belirlenen hastanelerin seçiminde etkili kriterlerin değerlendirilmesinde öncelikle etkili olan bir çok kriter, üç sağlık çalışanın görüşleriyle hiyerarşik düzene oturtularak, ikili gruplar halinde AHP yöntemi kullanılarak sıralanmıştır. Daha sonrasında tüm kriterler arasında etkileşim olabileceği düşünülerek, hiyerarşik düzeni içermeyen, ağ yapısı ile içsel ve dışsal bağımlılıkları dikkate alan ANP yöntemi kullanılarak tüm kriterler sıralanmıştır. Sonuç olarak elde edilen iki sıralama, Şekil 8’de verilen grafikte net bir biçimde ifade edilmiştir.



Şekil 8. Yöntemlere Göre Kriterlerin Öncelik Değerleri

Türkiye’de COVID-19 salgının görülmesi üzerine salgının bulaş riski, sağlıklı bireylerin korunması ve hastaların iyi bir şekilde tedavi edilmesi için T. C. Sağlık Bakanlığı tarafından 25 referans hastane belirlenmiştir. COVID-19 tedavisi için belirlenen bu 25 hastanenin seçiminde etkili olan kriterler bu hastanelerin özellikleri, COVID-19 salgınının özellikleri ve bu süreçte yayınlanan rehberler incelenerek kriterler belirlenmiştir. Belirlenen yedi kriter ÇÖKV yöntemlerinden AHP ve ANP yöntemi ile değerlendirilmiştir.

İlk olarak AHP yöntemi sonucu incelendiğinde (Tablo 4’de) elde edilen sonucun kalitesini gösteren tutarlılık oranının, %3 olarak hesaplandığı ve sonuçların tutarlı olduğu görülmüştür. Bununla birlikte elde edilen kriterlerin ağırlıklarının sıralamasına bakıldığında (Şekil 8), ilk sırada %31 ile K7, ikinci sırada %18 ile K3 ve üçüncü sırada ise K6 kriterinin yer aldığı görülmüştür ve sıralama K2, K1, K5, K4 olarak devam etmiştir. İkinci olarak kriterler arası bağımlılığı dikkate alan yapısı ve bununla birlikte kullanım alanı ve sonuçlarının güvenilirliği konusunda günlük hayata daha uygun olan ANP yönteminde elde edilen sonuçlar incelendiğinde (Şekil 8), ilk sırada %48 ile K7, ikinci sırada %41 ile K3 ve üçüncü sırada ise K6 yer aldığı görülmüştür ve sıralama K1, K2, K4, K5 olarak devam etmiştir. Elde edilen sonuçlara göre iki yöntemde de öncelik sıralaması %80 oranında benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla bu çalışmada, problemin yapısı kriterlerin birbirlerini etkilediği ve etkilemediği durumlarda aynı sonuçlar ile karşılaşıldığını göstermektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Aralık 2019 tarihi itibarıyla Çin’de ortaya çıkan Coronavirus tipi COVID-19 salgın hastalığı, bütün dünyaya yayılarak gücü ve etkisini göstermesiyle WHO tarafından pandemi olarak ilan edilmiştir. Ateş, öksürük, solunum zorluğu gibi belirtileri ile COVID-19 virüsü insanların bağışıklık sistemlerine saldırarak, birçok insanın ölümüne neden olmaktadır. Solunum yolu ile insandan insana bulaşan bu virüse, Mart 2020 itibarıyla Türkiye’de de rastlanmıştır. Bununla birlikte sayısı giderek artan vakalar ve vefatlar oluşmuştur. Vakaların artması ve bu virüsün çok kolay bir şekilde insandan insana geçmesi sebebiyle Türkiye’de, insan sağlığını korumak ve COVID-19 teşhisi konan hastaları iyileştirmek amacıyla birçok önlem ve karar alınmıştır. Alınan bu kararlar içerisinde, COVID-19 teşhisi konan hastaların hangi hastanelerde tedavi edileceği kararı, sağlıklı bireyleri korumak ve hasta bireyleri izole ederek iyileştirmek için oldukça önemlidir. Bu bağlamda Türkiye’de vakaların görülmesiyle T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından, salgınla mücadelede ilk sırada tedavi sağlayacak, ülke genelinde 25 referans hastane belirlenmiştir.

Yapılan çalışmada COVID-19 tedavisi için belirlenen 25 hastanenin seçiminde etkili olan yedi kriter değerlendirilmiştir. Kriterler, seçilen 25 hastanenin özellikleri, COVID-19 virüsünün özellikleri ve bu süreçte yayınlanan rehberler incelenerek belirlenmiştir. Ele alınan bu kriterler ÇÖKV yöntemlerinden AHP ve ANP yöntemleri ile değerlendirilerek sıralanmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, her iki yöntemde elde edilen öncelik sıralamasında, bünyesinde belirli alanlarda uzman hekimlerin bulunduğu bir hastane olması (K7), hastanelerin rollerinin gruplamasında AI, AI\_Dal veya AII grubu bir hastane olması (K3) ve 3. seviye erişkin yoğun bakım yatağı bulunan bir hastane olması (K6) kriterleri, en önemli ilk üç kriteri oluşturmaktadır. Sıralamanın devamında ise kriterler iki yöntemde de birkaç farklılık dışında benzer şekilde sıralanmıştır. Bu sonuçlardan hareketle COVID-19 tedavisi için 25 referans hastanenin belirlenmesinde, uzman hekimlerin bulunduğu, tetkik ve tedavi konusunda donanımlı, yüksek seviye yoğun bakıma sahip hastanelerin seçildiği görülmüş ve hastanenin teknik ve personel olarak donanımının önemi bu sonuçlar ile vurgulanmıştır. Ayrıca kriterler arasındaki bağımlılıkları dikkate aldığından dolayı, ANP yönteminin güvenilir ve daha gerçekçi sonuçlar verdiği bilinmektedir [44, 48]. Bu çalışma da ANP yönteminde elde edilen sonuçlar, AHP yöntemi ile desteklenerek tutarlı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu makalede ele alınan hastane seçimi süreci, tedavi sürecinin en iyi şekilde gerçekleştirilebilmesi için ilk ve önemli bir karar sürecidir. Özellikle salgınla mücadele sürecinde, bireyler arası bulaş riskinin azaltılması ve hastanın en iyi şekilde tedavi edilebilmesi adına bu kararın çok daha önemli hale geldiği görülmüştür. Bu bağlamda yapılan çalışma, hem hastane seçiminde etkili kriterlerin değerlendirilmesi hem de COVID-19 salgın hastalığını bir arada dikkate alınmasıyla literatüre katkı sağlamaktadır.

İleride yapılacak çalışmalarda belirlenen bu 25 hastaneye ek olarak, şanda COVID-19 tedavisi için kullanılan bütün hastaneler dikkate alınarak belirlenen kriterlere, başka kriterlerde dahil edilerek

değerlendirmeler yapılabilir. Tedavi veren hastanelerin sayısının artması ve hasta ve yakınlarına tercih imkânı doğması nedeniyle, hastaların hastane seçiminde etkili olan kriterler ve alternatifler incelenebilir. Ayrıca ÇÖKV yöntemlerinden diğer yöntemler de bu çalışma için kullanılabilir.

### **Yazarların Katkısı**

Yurdakul K., veri hazırlama/analizi, yöntem uygulaması, makale yazımı-orijinal taslak hazırlama; Gür Ş., yöntem uygulaması, makale yazımı-orijinal taslak hazırlama; Eren T., makale yazma, inceleme ve düzenleme, makale kontrol; Alakaş H.M., makale yazma, inceleme ve düzenleme konularında katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Zeren F., Hızarcı A.E. 2020. The Impact of Covid-19 Coronavirus on Stock Markets: Evidence From Selected Countries. *Muhasebe ve Finans İncelemeleri Dergisi*, 3 (1): 78-84.
- [2] Karcioğlu Ö. 2020. What is Coronaviruses, and How Can We Protect Ourselves. *Anka Tıp Dergisi*, 2 (1): 66-71.
- [3] Zhu N., Zhang D., Wang W., Li X., Yang B., Song J., ... & Tan W. 2020. Coronavirus from Patients with Pneumonia in China. *The New England Journal of Medicine*, 382 (8): 727-733.
- [4] Wang D., Hu B., Hu C., Zhu F., Liu X., Zhang J., ... & Peng Z. 2020. Clinical Characteristics of 138 Hospitalized Patients With 2019 Novel Coronavirus-Infected Pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*, 323 (11): 1061-1069.
- [5] Wu J.T., Leung K., Leung G.M. 2020. Nowcasting and Forecasting the Potential Domestic and International Spread of the 2019-Ncov Outbreak Originating in Wuhan, China: A Modelling Study. *The Lancet*, 395 (10225): 689-697.
- [6] WHO(World Health Organization), Coronavirus disease 2019 (COVID-19) Situation Report-52. [https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200312-sitrep-52-covid-19.pdf?sfvrsn=e2bfc9c0\\_4](https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/situation-reports/20200312-sitrep-52-covid-19.pdf?sfvrsn=e2bfc9c0_4) (Erişim Tarihi: 15.10.2020).
- [7] Johns Hopkins Üniversitesi, COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE). <https://coronavirus.jhu.edu/map.html> (Erişim Tarihi: 10.11.2020).
- [8] WHO(World Health Organization), Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. <https://covid19.who.int/table> (Erişim Tarihi: 15.10.2020).
- [9] Liu K., Fang Y.Y., Deng Y., Liu W., Wang M.F., Ma J.P., ... & Liu H.G. 2020. Clinical characteristics of novel coronavirus cases in tertiary hospitals in Hubei Province. *Chinese Medical Journal*, 133 (9): 1025-1031.
- [10] Tabari P., Amini M., Moghadami M., Moosavi M. 2020. International Public Health Responses to COVID-19 Outbreak: A Rapid Review. *Iranian Journal of Medical Science*, 45 (3): 157-169.
- [11] T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Pandemi Hastaneleri. <https://dosyamerkez.saglik.gov.tr/Eklenti/36907,pandemi-hastaneleripdf.pdf?0> (Erişim Tarihi: 16.06.2020).
- [12] Chen S., Zhang Z., Yang J., Wang J., Zhai X., Bärnighausen T., Wang C. 2020. Fangcang Shelter Hospitals: A Novel Concept for Responding to Public Health Emergencies. *The Lancet*, 395 (10232): 1305-1314.
- [13] TRT Haber, <https://www.trthaber.com/haber/gundem/45-gun-icinde-turkiyeye-yeni-hastaneler-kazandırıldı-488828.html>. (Erişim Tarihi: 16.06.2020).

- [14] Ecer B., Akdaş A., Kabak M., Dağdeviren M. 2020. Determining the Best Maternity Hospital by Using a Fuzzy Decision Making Model. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 6 (1): 7-12.
- [15] Zulqarnain R.M., Abdal S., Ali B., Ali L., Dayan F., Ahamad M.I., Zafar Z. 2020. Selection of Medical Clinic for Disease Diagnosis by Using TOPSIS Method. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 61 (1): 22-27.
- [16] Gündoğdu F., Kahraman C., Civan H.N. 2018. A novel hesitant fuzzy EDAS method and its application to hospital selection. *Journal of Intelligent & Fuzzy System*, 35 (6): 6353-6365.
- [17] Soltani A., Marandi E.Z. 2011. Hospital Site Selection Using Two-Stage Fuzzy Multi-Criteria Decision Making Process. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, 5 (1): 32-43.
- [18] Akdag H., Kalaycı T., Karagöz S., Zülfişkar H., Giz D. 2014. The evaluation of hospital service quality by fuzzy MCDM. *Applied Soft Computing*, 23 (1): 239-248.
- [19] Delavar M.R., Moradi M., Moshiri B. 2015. Earthquake Vulnerability Assessment For Hospital Buildings Using A Gis-Based Group Multi Criteria Decision Making Approach: A Case Study of Tehran, Iran. *International Conference on Sensors & Models in Remote Sensing & Photogrammetry, Kish Island, Iran*, 153-157.
- [20] Büyüközkan G., Feyzioğlu O., Gocer F. 2016. Evaluation of hospital web services using intuitionistic fuzzy AHP and intuitionistic fuzzy VIKOR. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Bali, Indonesia*, 607-611.
- [21] Tyagi A., Singh P. 2019. Hospital performance management: A multi-criteria decision-making approach. *International Journal of Healthcare Management*, 12 (4): 286-291.
- [22] Torkzad A., Beheshtinia M.A. 2019. Evaluating and prioritizing hospital service quality. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 32 (2): 332-346.
- [23] Barrios M.O., Gül M., Meza P.L., Yücesan M., Jiménez E.N. 2020. Evaluation of hospital disaster preparedness by a multi-criteria decision making approach: The case of Turkish hospitals. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 49: 1-21.
- [24] Halder B., Bandyopadhyay J., Banik P. 2020. Assessment of hospital sites' suitability by spatial information technologies using AHP and GIS-based multi-criteria approach of Rajpur-Sonarpur Municipality. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6: 2581-2596.
- [25] Saaty T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw- Hill.
- [26] Saaty T.L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal Services Sciences*, 1 (1): 83-98.
- [27] Velasquez M., Hester P.T. 2013. An Analysis of Multi-Criteria Decision Making Methods. *International Journal of Operations Research*, 10 (2): 56-66.
- [28] Eren T., Özder E.H. 2016. Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Bir İçecek Firması İçin Tedarikçi Seçimi. *4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Alanya, Türkiye*, 80-89.
- [29] Özcan E., Ünlüsoy S., Eren T. 2017. A combined goal programming – AHP approach supported with TOPSIS for maintenance strategy selection in hydroelectric power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78: 1410-1423.
- [30] Özder E.H., Bedir N., Eren T. 2019. Yükseköğretimde Araştırmacı Seçiminde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemlerinin Kullanılması: Bir İnceleme. *Alanya Akademik Bakış*, 3 (1): 19-33.
- [31] Tezcan B., Eren T., Özcan E., Gür Ş. 2019. Bir Tekstil İşletmesinde Çok Ölçütlü Karar Verme Yöntemleri İle Personellerin Değerlendirilmesi. *Trakya Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi E-Dergi*, 8 (2):1-20.
- [32] Sarımehtmet B., Hamurcu M., Eren T. 2020. Çok Kriterli Karar Verme: Kırıkkale YHT İstasyonu - Şehir Bağlantısının Sağlanması. *Demiryolu Mühendisliği*, 11: 26-40.
- [33] Özcan E., Ökten S., Eren T. 2020. Decision making for promising quinoline-based anticancer agents through combined methodology. *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*, 34 (9):1-10.
- [34] Ağaç G., Baki B. 2016. Sağlık Alanında Çok Kriterli Karar Verme Teknikleri Kullanımı: Literatür İncelemesi. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, 19 (3): 343-363.
- [35] Liberatore M.J., Nydick R.L. 2008. The Analytic Hierarchy Process in Medical and Health Care Decision Making: A Literature Review. *European Journal of Operational Research*, 189 (1): 194-207.

- [36] Rajak M., Shaw K. 2019. Evaluation and selection of mobile health (mHealth) applications using AHP and fuzzy TOPSIS. *Technology in Society*, 59: 1-17.
- [37] Banar M., Özkan A., Kulac A. 2010. Choosing a recycling system using ANP and ELECTRE III techniques. *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 34: 144-154.
- [38] Ali J., Lee S., Roh B. 2019. Using the Analytical Network Process for Controller Placement in Software Defined Networks. *MobiSys '19*, Seoul, Korea, 545-546.
- [39] Özcan E., Ünlüsoy S., Eren T. 2017. ANP ve TOPSIS Yöntemleriyle Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Yatırım Alternatiflerinin Değerlendirilmesi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5 (2): 204-219.
- [40] T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2020 Yılı Bütçesi Vatandaşın Bütçe Rehberi. [http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/01/2020\\_vatandasinbutcerehberi.pdf](http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2020/01/2020_vatandasinbutcerehberi.pdf) (Erişim Tarihi: 05.04.2020).
- [41] T.C. Sağlık Bakanlığı Halk Sağlığı Genel Müdürlüğü, 2019-ncov Hastalığı Sağlık Çalışanları Rehberi (Bilim Kurulu Çalışması). [https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/haberler/ncov/2019-nCov\\_Hastal\\_Salk\\_alanlar\\_Rehberi.pdf](https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/haberler/ncov/2019-nCov_Hastal_Salk_alanlar_Rehberi.pdf) (Erişim Tarihi: 05.06.2020).
- [42] T.C. Sağlık Bakanlığı Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Sağlık Bölge Planlaması Hakkında Genelge ile Hastane Yatak ve Rollerini Tescil Onayı 2010/50. <https://www.saglik.gov.tr/TR,11024/saglik-bolge-planlamasi-hakkinda-genelge-ile-hastane-yatak-ve-rolleri-tescil-onayi-201050.html> (Erişim Tarihi: 12.11.2020).
- [43] Sözcü Gazetesi, 25 hastanede 'coronavirüs'e karşı özel oda oluşturuldu. <https://www.sozcu.com.tr/2020/saglik/25-hastanede-coronaviruse-karsi-ozel-oda-olusturuldu-5593353/> (Erişim Tarihi: 17.06.2020).
- [44] Ömürbek N., Tunca M.Z. 2013. Analitik Hiyerarşi Süreci ve Analitik Ağ Süreci Yöntemlerinde Grup Kararı Verilmesi Aşamasına İlişkin Bir Örnek Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18 (3): 47-70.
- [45] Koyuncu O., Özcan M. 2014. Personel Seçim Sürecinde Analitik Hiyerarşi Süreci ve TOPSIS Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Otomotiv Sektöründe Bir Uygulama. *H.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 32 (2): 195-218.
- [46] Uludağ A.S., Doğan H. 2016. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılmasına Odaklı Bir Hizmet Kalitesi Uygulaması. *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 6 (2): 17-47.
- [47] Saaty T.L., William A. 2004. *Super decisions software (Computer Software)*.
- [48] Özdemir Y., Tüysüz S., Başlıgil H. 2016. Weighting The Risks For Nuclear Power Plants Using Ahp nnd Anp Methodologies. *Sigma J Eng & Nat Sci.*, 7 (2): 207-217.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Konuma Dayalı Hız Vektörlerinin Zamansal Analizi

Emre TÜRK<sup>1\*</sup>, Ömer YILDIRIM<sup>2</sup>, Samed İNYURT<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Zile MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Böl., Tapu Kadastro Prog., Tokat

<sup>2</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Tokat  
(ORCID: 0000-0002-3779-6079) (ORCID: 0000-0002-3537-6732) (ORCID: 0000-0001-9339-7569)

---

### Öz

Hassas ve güvenilir hız bilgilerinin elde edilmesi ve konum doğruluğu GNSS bazlı çok sayıda çalışma için önem arz etmektedir. Bu sebeple, nokta hızlarının kullanılabilirliği için gereken optimum sürenin belirlenmesi gerekmektedir. İç Anadolu Bölgesinin güneyinde yer alan ve deprem riskinin en az olduğu illerden biri olan Karaman ilinde bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarından biri olan KAMN istasyonuna ait 24 saatlik RINEX verileri 8 adet IGS istasyonuna dayalı olarak İsviçre'nin Bern üniversitesi tarafından geliştirilen Bernese v5.2 bilimsel GNSS yazılımı ile değerlendirilmiştir. KAMN istasyonunun 2016-2019 yılları arasında her yılın Ocak ve Haziran aylarının 1-18 günleri çalışma günleri olarak seçilmiştir. 1 Ocak 2016'dan başlanmış, birbirini takip eden 5'er günlük kombinasyonlara ayrılarak (1-5, 2-6, 3-7, ..., 14-18) 14 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. KAMN istasyonunun 30 sn RINEX verileri kullanılarak her kombinasyon için 6, 12, 18, 24, 30, 36 ve 42 aylık 7 farklı dönemde ITRF96 2005.00 epogunda hız bileşenleri elde edilmiştir. Elde edilen hız bileşenleri, TKGM tarafından yayınlanan güncel hız bileşenleri ile karşılaştırılmıştır ve istatistik test yapılarak uyumlu olup olmadığı irdelenmiştir. Yapılan istatistik test sonucunda,  $V_X$  ve  $V_Y$  kartezyen koordinat hızları için sonuçların 30 ay (2.5yıl)'lık dönemden,  $V_Z$  için 36 ay (3yıl)'lık dönemden itibaren hesaplanan hızların, bilinen hızlarla uyumlu olduğu anlaşılmıştır. Zaman arttıkça elde edilecek olan hızların doğruluğu da artmaktadır. Bundan dolayı zaman kavramı önemli olup, jeodezik amaçlı çalışmalarda yorum yapabilmek için hız bileşenleri elde edilirken en az 36 ay (3 yıl)'lık bir veri uzunluğuna ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** GNSS, TUSAGA-Aktif, Deformasyon, Hız Vektörü, Bernese v5.2.

---

## Time Series Analysis of Spatial Velocity Vectors

---

### Abstract

Acquisition of precise and reliable velocity information and position accuracy are important for many GNSS-based studies. For this reason, it is necessary to determine the optimum time required for the availability of point velocities. The 24-hour RINEX data of the KAMN station, one of the CORS-TR stations in the province of Karaman, was evaluated based on 8 IGS stations by the Bernese v5.2 scientific GNSS software developed by the Swiss University of Bern. Karaman is one of the cities with the lowest earthquake risk, located in the south of the Central Anatolia Region. The interval of 01-18 days of January and June of each year has been selected between 2016-2019 for the KAMN CORS-TR Station. 14 different combinations were created by dividing into consecutive 5-day combinations (1-5, 2-6, 3-7, ..., 14-18) starting from January 1, 2016. By using 30 sec RINEX data of KAMN station, velocity components were obtained for ITRF96 2005.00 epoch in 7 different periods of 6, 12, 18, 24, 30, 36 and 42 months. Obtained velocity components were compared with the current velocity components published by TKGM, and their significance was examined by performing a statistical test. As a result of the statistical test, it was seen that the results for cartesian coordinate velocities of  $V_X$  and  $V_Y$  were compatible with the known velocities from the 30 months (2.5 years) period, and the speeds calculated from the period of 36 months (3 years) for  $V_Z$ . As the time increases, the accuracy of the velocities obtained also increases. Therefore, time is very important and it has been concluded that a data length of at least 36 months (3-years) is needed while obtaining velocity components in order to make interpretations in geodetic studies.

**Keywords:** GNSS, CORS-TR, Deformation, Velocity Vector, Bernese v5.2.

---

\*Sorumlu yazar: [emre.turk@gop.edu.tr](mailto:emre.turk@gop.edu.tr)

Geliş Tarihi: 02.03.2021, Kabul Tarihi: 29.04.2021



## 1. Giriş

Global Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS) tekniği ile nokta konumlarının anlık ve post process olarak belirlenmesinde etkili olan saat düzeltmeleri, okyanus düzeltmeleri, uydu yörünge bilgileri, iyonosfer vb. çeşitli bilgileri sağlayan çok sayıda ağ bulunmaktadır. Bu ağları oluşturan kurum ve kuruluşlar, ağları sürekli kontrol edip, geliştirip koruma altına alarak ağların sürekliliği sağlamaktadırlar. Oluşturulan ve kontrol altında bulunan bu ağlar, yeryüzü üzerindeki noktaların hassas ve doğru bir şekilde konumlarını bulmada da aktif olarak kullanılmaktadır [1]. İlk olarak 1978'de Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS) uydusunun yörüngeye yerleştirilmesi ile bu alanda yapılan çalışmalar hızlı bir şekilde devam etmiştir. Yapılan çalışmalar ile birlikte farklı ülkelere ait uydu sistemleri geliştirilerek yörüngeye yerleştirilmiştir. Bu sistemlere genel olarak dünya üzerinde GNSS adı verilmiştir [2, 3].

GNSS, ilk başlarda askeri amaç için planlanmış, daha sonraları geliştirilerek ve yaygınlaştırılarak sivil kullanıcıların çalışmalarına da katkı sağlamıştır. GNSS sistemleri ile global ve bölgesel olarak mühendislik çalışmalarında uzay ve uydu bazlı sistemler aktif olarak kullanılır. Aynı zamanda yer yuvarının izlenmesi, incelenmesi ve bilinmeyen yerlerin keşifleri aktif bir şekilde yapılmaktadır. GNSS, uzaktan algılama, ulaşım ve navigasyon uygulamaları, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) için veri toplama, jeodezik ölçmeler, tarım ve hidroloji vb. gibi farklı uygulama alanlarında verilerin belirli şartlarda toplanması, değerlendirilmesi ve çok sayıda kullanıcıya ulaşması için global bir izleme sistemi halindedir [2, 4]. Bu sistemlerden faydalanarak günümüzde sürekli ve anlık gözlem yapan ülke jeodezik ağları oluşturulmuştur. Bununla birlikte haritacılık dışında diğer alanlarda da sabit ağların kullanımı artmaktadır ve ülkeler farklı amaçlar için de kullanılmak üzere sabit GNSS ağlarını kurma yönünde çalışmalar yapmaya başlamıştır [3, 5].

Ölçme, jeodezi, navigasyon, meteoroloji, jeodinamik vb. alanlarda aktif ve anlık olarak kullanılan GNSS ağları önemli yer tutmaktadır. Bu ağlara örnek olarak uluslararası kullanılan Uluslararası GNSS Ağı (IGS) ve ülkemizde de bölgesel olarak kullanılan Türkiye Ulusal Sabit Ana GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) ağları verilebilir [6].

Bu bilgiler ışığında GNSS ağları çok önemli bir yere sahip olup mühendislikte aktif olarak kullanılmaktadır. Deformasyon ölçmeleri mühendislik ölçmeleri çalışmaları arasında giderek önem kazanan konularından biridir. Tektonik hareketlerin izlenmesinde GNSS ağları aktif rol almaktadır. GNSS ağlarına farklı zamanlarda gözlemler yapılarak deformasyon miktarları belirlenebilir. Bu amaçla hareketlerin belirlenmesinde nokta konumlarının doğruluğu oldukça önemlidir. Nokta konumlarının doğruluğuyla birlikte nokta hızlarına da yüksek hassasiyette ulaşılabilmektedir [7-10]. Dünya, kendi ve güneş eksenini etrafında döndüğü zaman içerisinde gezegen ve yıldızların etkisi altında kalır. Bu sebeple gerçekleşen tektonik olaylar nedeniyle, deformasyonlar ve plaka hareketleri meydana gelmektedir. Dünya üzerinde ölçülen jeodezik noktaların buldukları plakalardaki hareketler nokta koordinatlarında yıllık ortalama cm mertebesinde değişim meydana getirir. Bununla birlikte jeodezik noktaların yıllık olarak değişimleri nokta hızları olarak isimlendirilmektedir. Ayrıca kendi ülkemiz deprem bölgesinde olduğundan dolayı da jeodezik noktaların konumları da gerçekleşen depremlerle büyük oranda değişir. Gerçekleşen olaylar doğrultusunda noktaların koordinatları kendine ait nokta hızları ile anlam kazanır [11].

Elde edilen nokta hızlarından gerinim ve gerinim kuvvetleri hesaplanabilmekte ve tektonik açıdan yorumlar yapılabilmektedir. Tektonik hareketlerinin doğru yorumlanabilmesi için gerinim ve gerinim kuvvetlerinin de analizlerinin hassas bir şekilde yapılması gereklidir. Bu sebeple nokta hız doğrulukları yüksek olmalıdır [12]. Bunun için de hızların hesaplanacağı nokta konumlarının doğruluğu ve zaman periyodu önemlidir. Son dönemdeki GNSS sistemlerindeki gelişmeler ile birlikte nokta konumlarının doğruluğu artmıştır. Artan bu doğruluk ve zaman aralığının uygun seçilmesiyle nokta hızları ve doğrulukları önem kazanmıştır [13].

Bu bilgiler ışığında jeodezik noktaların koordinatlarındaki değişimler sürekli olarak izlenmeli ve bu noktalara ait hızlar belirlenmelidir. Son zamanlarda hız konusu ile ilgili çalışmalar artmış olup hızlar belirlenirken, istasyonların tesis şekilleri, periyodik sinyallerin etkisi, kısa zamanlı verilerin kullanılması vb. etkenlerden hızları etkilediği ve bunların önemsenmemesi durumunda hız kestiriminde büyük hataların olacağı [14-18] yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Ayrıca Hız kestiriminde hatalardan kurtulabilmek için veri uzunluğu 2.5 yılın altında olan hız tahminlerinin kabul edilemez derecede olduğu ve hız tahminlerinin iyileştirilemeyeceği belirtilmiştir [15].

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Uluslararası GNSS Ağı (IGS) ve TUSAGA – Aktif Sistemi

1980’li yıllarda çeşitli araştırma ekiplerince geliştirilen alıcıların, ticaretinin yapılabilmesi ve yaygınlaşması GPS istasyonlarının kurulmasında maliyeti düşürdüğünden dolayı, GPS sistemine erişim kolaylaşmıştır. Bununla birlikte 1980’li yılların sonlarından bu zamana Amerika Birleşik Devletleri’ne (ABD) ait GPS uyduları Dünya üzerinde global ve bölgesel olarak araştırmalarda büyük bir rol oynamaktadır. GPS sisteminin gelişmesi ve kullanımının artmasıyla birlikte dünya üzerinde farklı bilim adamları uluslararası standartlarda kullanılmak üzere GPS verilerinin ölçülmesi ve analizi için büyük uğraş vermişlerdir [1, 19]. Bu uğraşların bir parçası olarak IGS 1993 yılında Uluslararası Jeodezi Birliği (International Association of Geodesy IAG) tarafından resmen tanınmıştır ve 1 Ocak 1994’te jeodezik ve jeofizik araştırmalara destek verecek şekilde izleme verileri, GPS yörüngeleri ve diğer ürünleri sağlamak amacıyla genel çalışmalara başlamıştır [19, 20].

IGS’ in temeli 100’den fazla ülke ile 200’den fazla kendi kendini finanse eden kurum, üniversite ve araştırma ekiplerince araştırmalar ve çalışmalar yaparak GNSS ile ilgili ticari ve bilimsel uygulamaların ilerlemesine katkı sağlamaktır. IGS veri merkezleri, bilimsel alanlarda ilerleme ve kamu yararı için mevcut en yüksek hassasiyete sahip IGS verilerinin ücretsiz ve açık bir şekilde erişimi sağlar. Bu veriler, küresel ekonominin neredeyse tüm kuruluşlarında milyonlarca kullanıcıya dokunan çok çeşitli uygulamaları desteklenmektedir [20].

IGS’nin sağladığı ürünler;

- GNSS uydu bilgileri
- Dünya dönüş parametreleri
- Küresel izleme istasyonlarının koordinat ve hızları
- Uydu ve izlenen istasyonların saat bilgisi
- Zenit troposferik yol gecikme tahminleri
- Küresel iyonosferik haritalar olarak sıralanabilir.

IGS istasyonları Şekil 1’de görüldüğü üzere tüm dünya üzerinde planlanmış şekilde dağılmış, konumları hassas bir şekilde bilinen, sürekli gözlem yapan ve Türkiye’de 6 adet bulunan 506 istasyondan oluşmaktadır [21].



Şekil 1. IGS ağı nokta dağılımı

Ülkemizde sürekli gözlem yapan GPS istasyonları Ağı (CORS-Tr) sistemi; 10 Mart 2005’ te Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından başlatılan 1007 kodlu “Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme Projelerini Destekleme Programı” kapsamında gelişmiştir. Bu destekleme programı doğrultusundaki hedeflerden yola çıkılarak Ağ-RTK prensibi ile çalışan sabit

GPS istasyonlarının kurulması İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) tarafından önerilmiştir. Yürütücülüğünü İKÜ'nün yaptığı Harita Genel Müdürlüğü (HGM) ve Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM)'nin müşteri olarak katıldığı bu proje; jeodezik ve kadastral ölçmeler gibi haritacılık ile navigasyon, meteorolojik vb. gibi diğer alanlarda da kullanılmak üzere oluşturulan ve 24 saat gözlem yapılan sabit GNSS sistemidir. TÜBİTAK tarafından desteklenen iki yıl süreli bu proje 8 Mayıs 2006 yılında imzalanarak Aralık 2008 tarihiyle birlikte tamamlanıp faaliyete geçirilmiştir. Faaliyete geçen proje 2009 yılında TÜBİTAK'ın onayıyla HGM ve TKGM'ye devredilmiştir [22, 23]. Buna göre tesis edilmiş güncel olarak 4 tane Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde (KKTC) ve 154 tane ülkemizde olmak üzere toplamda 158 tane sabit GNSS istasyonu ile HGM ve TKGM' de analiz ve kontrol merkezleri bulunmaktadır. Sabit GNSS istasyonların dağılımı Şekil 2'de gösterilmiştir [24-26].



Şekil 2. TUSAGA-Aktif İstasyonları

## 2.2. Hızların Hesaplanması

Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) yöntem haricinde GNSS ile gerçekleştirilen ölçülerde, jeodezik çalışmalar için elde edilen ham veriler ile ilgili bir düzeltme ve değerlendirme yapılmadan, güvenilir, hassas sonuçlar elde etmek imkânsızdır. Bu nedenle GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi için yazılımlar geliştirilmiştir. Bu yazılımlar bilimsel ve ticari olmak üzere iki çeşittir.

Ticari yazılımlar büyük oranda GNSS alıcıları üreten firmalar tarafından ürünlerle birlikte sunulan yazılımlardır. Genelde klasik mühendislik çalışmalarında kullanılır. Ticari yazılımlara kullanıcılar çok müdahale edemediğinden ve baz uzunluklarının kısıtlı olmasından dolayı çeşitli dezavantajları vardır [22, 27].

Bilimsel yazılımlar, farklı model ve yaklaşımların kullanıldığı uzun bazların çözümüne katkı sağlayan yazılımlardır. Bu yazılımlar iyonosfer ve troposfer belirleme, datum parametrelerinin belirlenmesi, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, deformasyon ölçüleri ve ülke jeodezik ağlarının kurulması gibi bilimsel çalışmalarda kullanılır. Bu yazılımları bilimsel çalışma yapan üniversiteler ya da araştırma merkezleri geliştirmektedir. Örnek olarak, NASA (National Aeronautics and Space Administration) tarafından geliştirilen GIPSY, Amerika Birleşik Devletleri Massachusetts Teknoloji Enstitüsünde (MIT) geliştirilen GAMIT-GLOBK ve İsviçre Bern Üniversitesi tarafından geliştirilen BERNESE yazılımları verilebilir [28, 29].

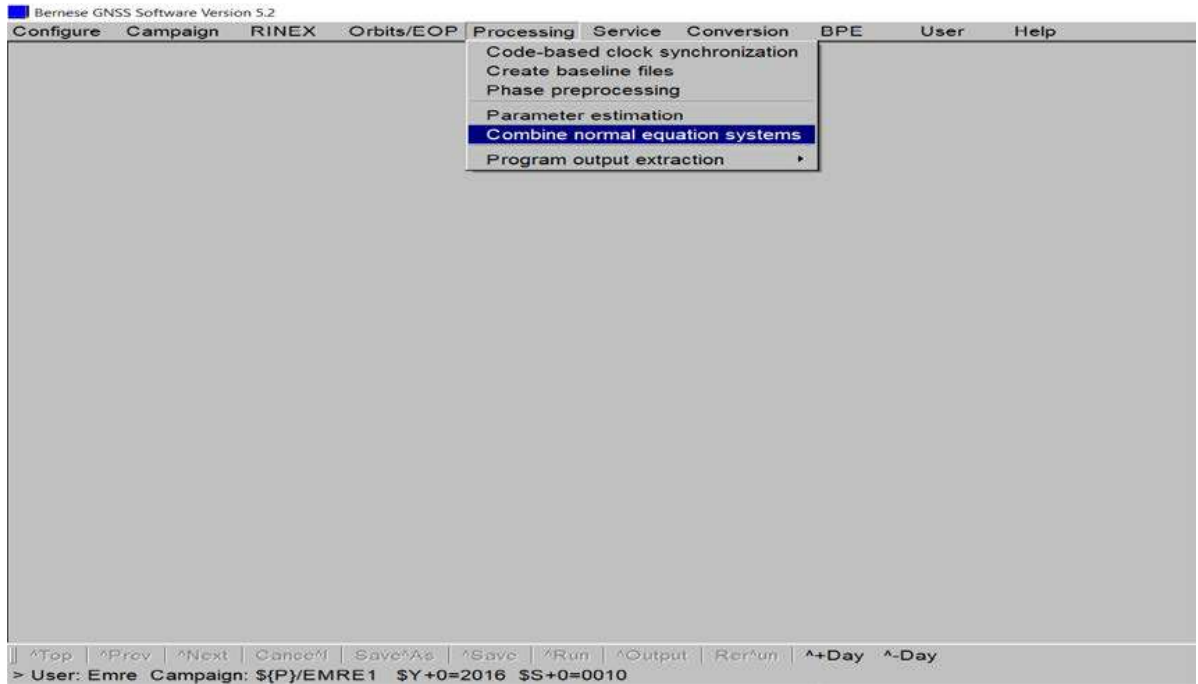
Bu çalışma kapsamında GNSS verilerinin değerlendirilmesi, Bernese v5.2 bilimsel yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Hızlar elde edilirken final koordinatları ve bu koordinatlara ait elde edilen normal eşitlik denklemleri (NEQ) kullanılacaktır.

Yazılımda bulunan RNX2SNX.PCF, genişletilmiş belirsizlik çözümlemesi ile sadece GPS veya GPS/GLONASS kombinasyonuna ile ikili farklar yöntemini kullanan otomatik değerlendirme komutudur. Çözüm sonucunda noktaların final koordinatları, bunlara ait varyans-kovaryans matrisleri ve NEQ'lar elde edilir. Bu verileri elde ederken kullanılan RNX2SNX.PCF otomatik komutu yedi aşamalı işlem gerçekleştirip çözümleme yapmaktadır [30, 31].

RNX2SNX.PCF otomatik komutunun sırasıyla işlem adımları:

- Ön hazırlık aşaması,
- Kutup ve yörünge bilgilerinin hazırlanması,
- Gözlem dosyalarının senkronizasyonu ve dönüşümü,
- Bazların elde edilmesi ve ilk çözüm yapılması,
- Faz başlangıç belirsizliklerinin çözülmesi,
- Final çözümünün gerçekleştirilmesi,
- BPE' nin sonlandırılması ve sonuçların kaydedilmesi.

Bernese v5.2 bilimsel GNSS yazılımında hız tahminleri, kampanyaların BPE çözümü ile elde edilen final koordinatlarının, NEQ birleştirilmesiyle yapılabilmektedir. Noktaların koordinatları ve hızları hangi epokta isteniyorsa elde edilir. Yazılım açıldığında menü kısmında Şekil 3'de gösterildiği gibi Processing > Combine normal equations systems yolu izlenerek ADDNEQ2 ana ekranı üzerinden hız belirleme işlemi yapılır [32].



Şekil 3. Bernese v5.2 bilimsel GNSS yazılımı hız tahmini

### 2.3. Hızların Karşılaştırılması

GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde güvenilir ve hassas sonuçlar elde etmek için yazılımlar kullanılmaktadır. Yazılımlar ile istasyonlara ait koordinat ve hızlar hesaplanmaktadır. Hesaplanan hızların güvenilir ve kabul edilebilir olması gerekmektedir. Hesaplanan hızlar ve ortalama hataları ile istasyonların gerçek hız ve ortalama hataları kullanılarak uyumlu olup olmadığına karar verilebilir.

Yazılım tarafından elde edilen hızlar ve ortalama hataları ile gerçek hız ve ortalama hataları değerleri kullanılarak;

hızların farkları,

$$D_{V_X} = V_{X_i} - V_{X_T}, \quad D_{V_Y} = V_{Y_i} - V_{Y_T}, \quad D_{V_Z} = V_{Z_i} - V_{Z_T} \quad (1)$$

farkların karesel ortalama hataları,

$$m_{D_{V_X}} = \sqrt{(m_{V_{X_i}})^2 + (m_{V_{X_T}})^2}, \quad m_{D_{V_Y}} = \sqrt{(m_{V_{Y_i}})^2 + (m_{V_{Y_T}})^2},$$

$$m_{D_{V_Z}} = \sqrt{(m_{V_{Z_i}})^2 + (m_{V_{Z_T}})^2} \quad (2)$$

test büyüklükleri eşitliklerle hesaplanabilir.

$$T_{V_X} = \frac{D_{V_X}}{m_{D_{V_X}}}, \quad T_{V_Y} = \frac{D_{V_Y}}{m_{D_{V_Y}}}, \quad T_{V_Z} = \frac{D_{V_Z}}{m_{D_{V_Z}}} \quad (3)$$

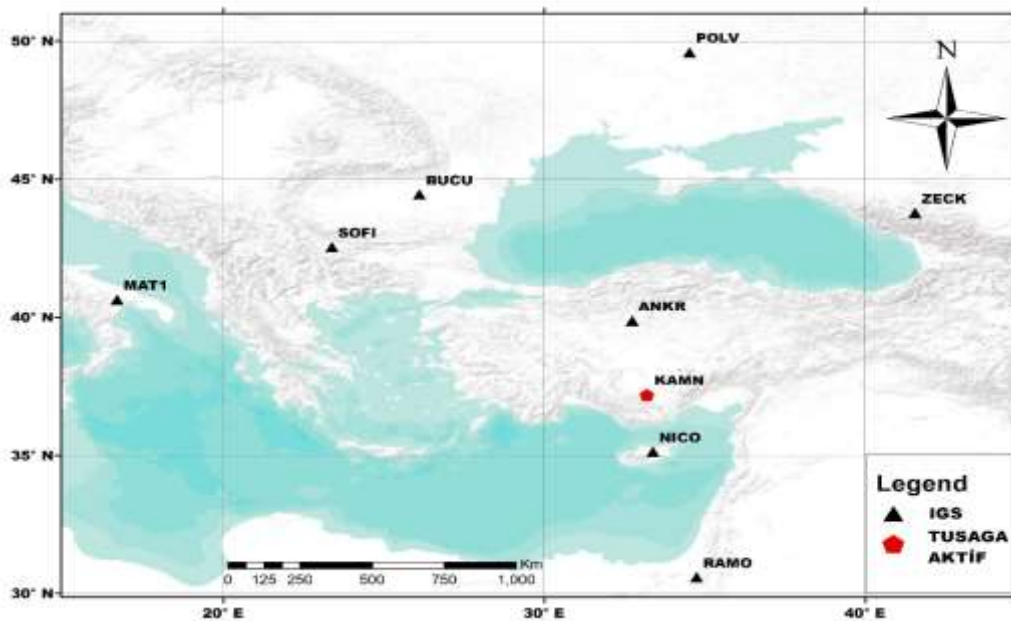
Eşitliklerdeki  $(V_{X_i}, V_{Y_i}, V_{Z_i})$  istasyona ait yazılım tarafından değerlendirilerek elde edilen kartezyen hızlar,  $(m_{V_{X_i}}, m_{V_{Y_i}}, m_{V_{Z_i}})$  bu hızlara ait ortalama hatalar,  $(V_{X_T}, V_{Y_T}, V_{Z_T})$  ise istasyonun gerçek hızları ve  $(m_{V_{X_T}}, m_{V_{Y_T}}, m_{V_{Z_T}})$  ise gerçek hızların ortalama hatalarıdır. Bütün bu değerler kullanılarak eşitlikler yardımıyla farklar alınıp farkların ortalama hataları hesaplanarak test değerleri hesaplanabilmektedir. Hesaplanan test değeri ile tablo değeri karşılaştırılarak yazılım tarafından elde edilen hızların güncel hızlar ile uyumluluğu test edilebilir [27].

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, İç Anadolu Bölgesi'nin güneyinde yer alan ve deprem riskinin en az olduğu illerden biri olan Karaman ilinde bulunan, TUSAGA-Aktif istasyonlarından biri olan KAMN istasyonuna ait 24 saatlik RINEX verileri 8 adet IGS istasyonuna dayalı olarak İsviçre'nin Bern üniversitesi tarafından geliştirilen Bernese v5.2 bilimsel GNSS yazılımı ile değerlendirilmiştir.

KAMN istasyonunun 2016-2019 yılları arasında her yılın Ocak ve Haziran aylarının 1-18 günleri çalışma günleri olarak seçilmiştir. 1 Ocak 2016'dan başlanmış ve 1-5, 2-6, 3-7, ..., 13-17, 14-18 olacak şekilde birbirini takip eden 5'er günlük kombinasyonlara ayrılarak 14 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. KAMN istasyonunun 30 sn RINEX verileri kullanılarak, oluşturulan her kombinasyon için 6, 12, 18, 24, 30, 36 ve 42 aylık 7 farklı dönemde ITRF96 2005.00 epoğunda hız bileşenleri ve ortalama hataları elde edilmiştir.

Çalışma alanı Şekil 4'de noktalar hakkında genel bilgiler Tablo 1'de ve verilerin elde edilme şekli ile temin edildiği yerler Tablo 2'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Çalışma alanı ve kullanılan istasyonlar

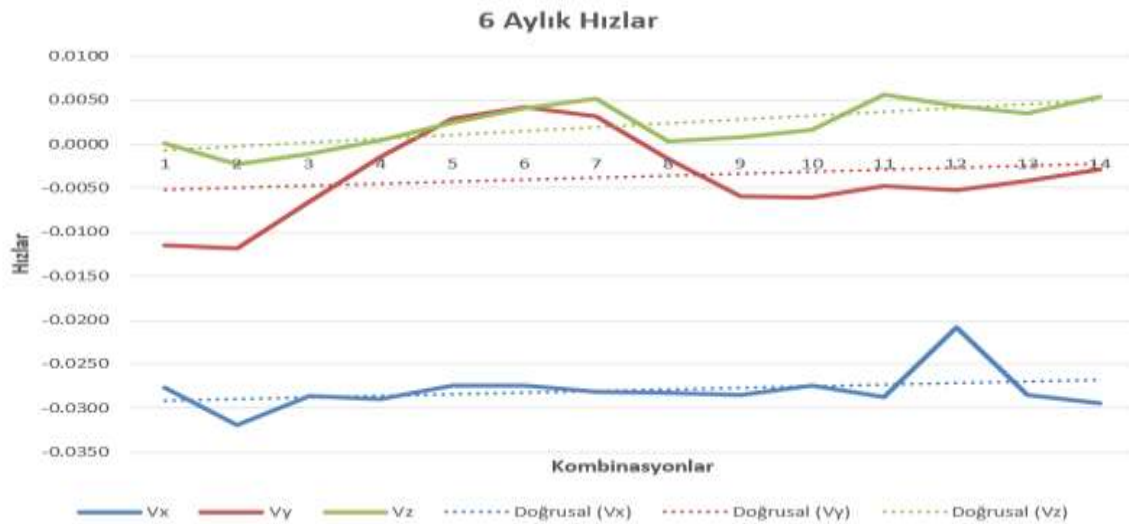
**Tablo 1.** IGS ve TUSAGA-Aktif noktalarının genel bilgileri

No	Türü	Ülke	Şehir	Kısa Adı	Enlem (°)	Boylam (°)	Elipsoidal Yükseklik (m)
1	IGS	Türkiye	Ankara	ANKR	39.8875	32.7586	974.80
2	IGS	Romanya	Bükreş	BUCU	44.4639	26.1257	143.20
3	IGS	İtalya	Matera	MAT1	40.6491	16.7045	534.50
4	IGS	Kıbrıs	Lefkoşa	NICO	35.1410	33.3964	191.70
5	IGS	Ukrayna	Poltava	POLV	49.6026	34.5429	178.10
6	IGS	İsrail	Mitzpe Ramon	RAMO	30.5978	34.7331	893.10
7	IGS	Bulgaristan	Sofya	SOFI	42.5561	23.3947	1119.60
8	IGS	Rusya	Zelenchukskaya	ZECK	43.7884	41.5651	1167.00
9	TUSAGA-Aktif	Türkiye	Karaman	KAMN	37.1932	33.2203	1057.01

**Tablo 2.** Çözümlemede kullanılacak verilerin elde edilmesi

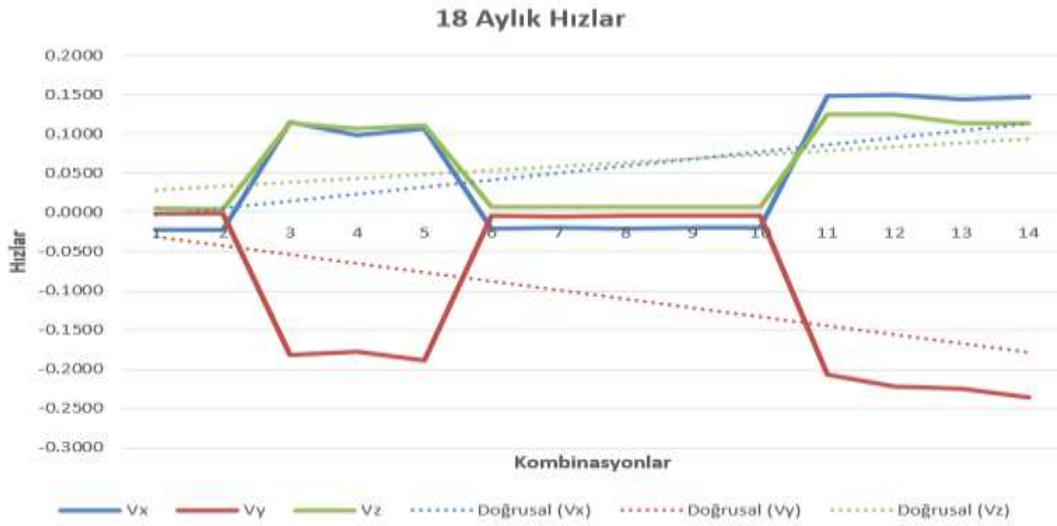
İndirilecek veri		Verinin elde edilişi	İndirildiği site
RINEX	IGS	Otomatik	<a href="ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/data/daily/yyyy/ddd/yyd/">ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/data/daily/yyyy/ddd/yyd/</a>
	TUSAGA-Aktif	Manuel	<a href="https://www.tusaga-aktif.gov.tr/">https://www.tusaga-aktif.gov.tr/</a>
Bernese v5.2 GNSS verileri		Manuel/Otomatik	<a href="http://www.bernese.unibe.ch/">http://www.bernese.unibe.ch/</a>

Çözümlemede çalışma günlerine ait Bernese v5.2 bilimsel yazılımı ile elde edilen NEQ'lar oluşturulan her kombinasyon için birleştirilerek (1-5 Ocak 2016 ile 1-5 Haziran 2016, 2-5 Ocak 2016 ile 2-5 Haziran 2016, ..., 13-17 Ocak 2016 ile 13-17 Haziran 2016, 14-18 Ocak 2016 ile 14-18 Haziran 2016) 6 aylık döneme ait, 14 farklı hız ve ortalama hatası elde edilmiştir. Bu şekilde toplamda 6, 12, 18, 24, 30, 36 ve 42 aylık 7 farklı dönemde, oluşturulan her kombinasyona ait, her dönem için 14 farklı hız değeri ve ortalama hataları elde edilmiştir. Çözümleme sonucunda KAMN istasyonuna ait her dönem için elde edilen hızların grafikleri Şekil 5-11'de gösterilmiştir.

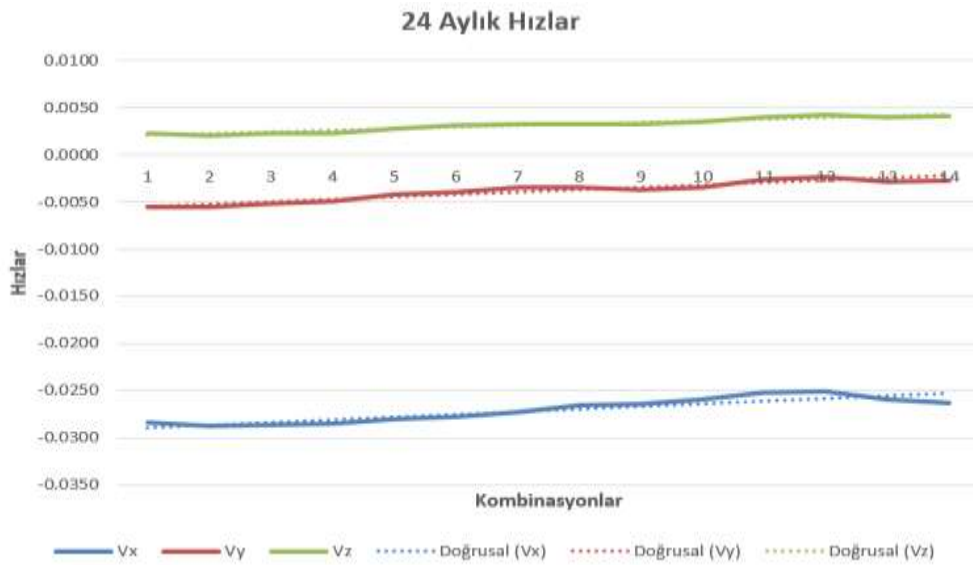
**Şekil 5.** KAMN istasyonu 6 aylık hızların(m) grafiği



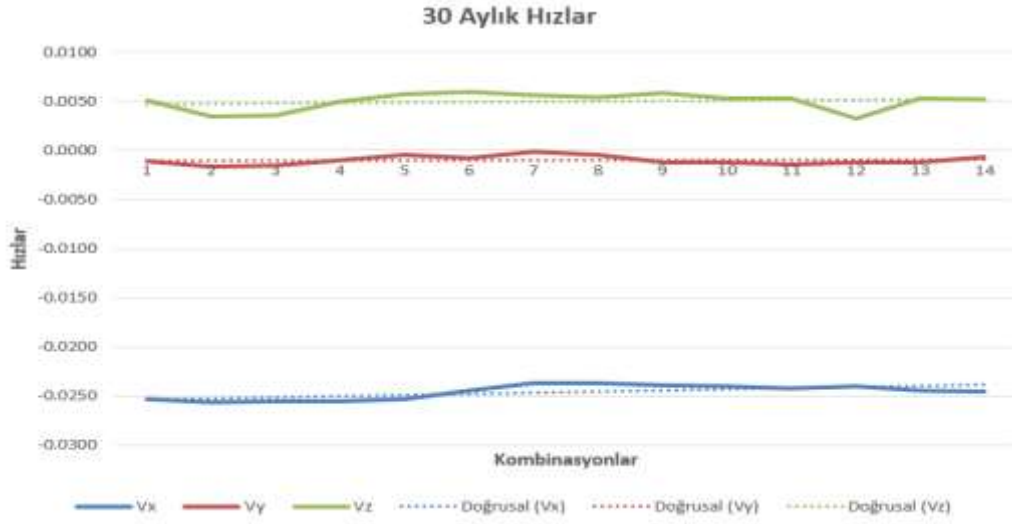
Şekil 6. KAMN istasyonu 12 aylık hızların(m) grafiği



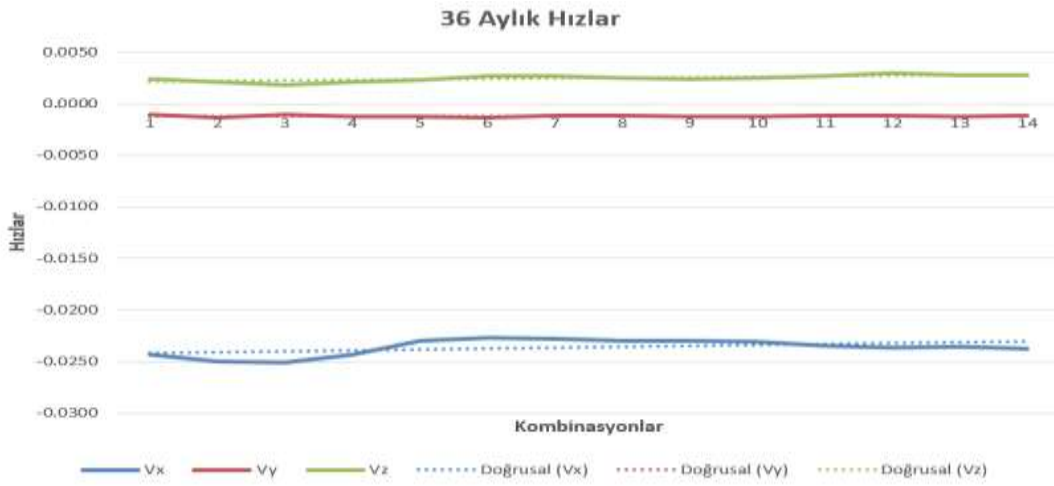
Şekil 7. KAMN istasyonu 18 aylık hızların(m) grafiği



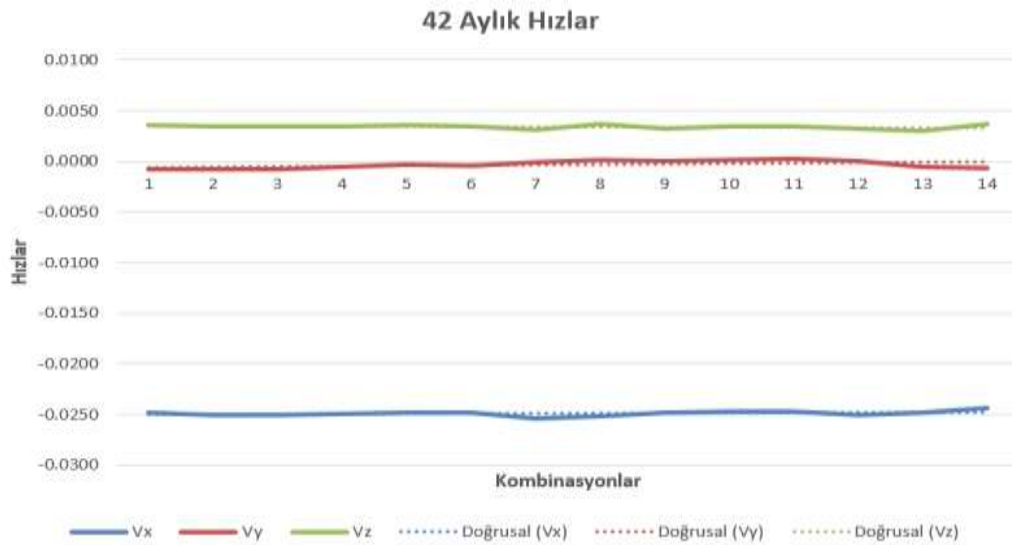
Şekil 8. KAMN istasyonu 24 aylık hızların(m) grafiği



Şekil 9. KAMN istasyonu 30 aylık hızların(m) grafiği



Şekil 10. KAMN istasyonu 36 aylık hızların(m) grafiği



Şekil 11. KAMN istasyonu 42 aylık hızların(m) grafiği



Şekil 5-11'e genel olarak baktığımızda 6, 12 ve 18 aylık hızların grafiğinin çok doğrusal olmadığı  $V_X$  için -0.03194m ile 0.15046m,  $V_Y$  için -0.23523m ile 0.0042m ve  $V_Z$  için -0.00226m ile 0.12501m aralığında değerler aldığı görülmüştür. 24 aylık hız grafiğinden sonra doğrusal bir hal almaya başladığı ve 30, 36 ve 42 aylık hız grafiklerinin daha doğrusal olduğu  $V_X$  için -0.02564m ile -0.02273m,  $V_Y$  için -0.0016m ile 0.00003m ve  $V_Z$  için 0.00368m ile 0.00592m aralığında değerler aldığı ve güncel değerlere daha yakın olduğu görülmüştür.

Analiz yapıldıktan sonra her kombinasyon ve dönem için; KAMN istasyonunun kartezyen hızları ( $V_X$ ,  $V_Y$ ,  $V_Z$ ) ve hızlara ait ortalama hatalar ( $m_X$ ,  $m_Y$ ,  $m_Z$ ) hesaplanmıştır. KAMN istasyonuna ait her dönem için hesaplanan değerler ile TUSAGA-Aktif tarafından güncel olarak yayınlanan gerçek değerlerin uyumlu olup olmadığı araştırılmıştır. (1), (2) ve (3) eşitlikleri kullanılarak elde edilen bütün değerlerin güncel değerler ile farkları alınarak test değeri bulunmuş, %95 güven aralığı ve  $f = f_1 + f_2$  için t dağılım sınırı  $t_{15, 0.95}$  tablo değeri ile karşılaştırılmıştır.

**Tablo 3.** KAMN istasyonu 6 aylık hızlar ile yapılan testler ( $t_{15, 0.95} = 2.13$ )

Fark No	Hız Farkları(m)			Farkların Ortalama Hatası(m)			Test Büyüklükleri		
	$D_{V_X}$	$D_{V_Y}$	$D_{V_Z}$	$m_{D_{V_X}}$	$m_{D_{V_Y}}$	$m_{D_{V_Z}}$	$T_{V_X}$	$T_{V_Y}$	$T_{V_Z}$
1	0.0040	0.0110	0.0019	0.0016	0.0013	0.0013	<b>2.49</b>	<b>8.37</b>	1.51
2	0.0083	0.0113	0.0042	0.0016	0.0013	0.0013	<b>5.07</b>	<b>8.57</b>	<b>3.32</b>
3	0.0049	0.0060	0.0031	0.0017	0.0013	0.0013	<b>2.99</b>	<b>4.51</b>	<b>2.43</b>
4	0.0053	0.0009	0.0015	0.0017	0.0014	0.0013	<b>3.17</b>	0.64	1.13
5	0.0038	-0.0035	-0.0005	0.0017	0.0014	0.0013	<b>2.29</b>	<b>2.57</b>	0.40
6	0.0037	-0.0048	-0.0021	0.0016	0.0013	0.0013	<b>2.27</b>	<b>3.57</b>	1.66
7	0.0044	-0.0038	-0.0033	0.0017	0.0013	0.0013	<b>2.67</b>	<b>2.79</b>	<b>2.54</b>
8	0.0046	0.0012	0.0016	0.0017	0.0014	0.0013	<b>2.78</b>	0.87	1.26
9	0.0048	0.0054	0.0012	0.0017	0.0014	0.0013	<b>2.89</b>	<b>3.99</b>	0.95
10	0.0038	0.0055	0.0003	0.0017	0.0014	0.0013	<b>2.25</b>	<b>4.06</b>	0.23
11	0.0051	0.0043	-0.0037	0.0017	0.0014	0.0013	<b>2.99</b>	<b>3.09</b>	<b>2.87</b>
12	-0.0028	0.0047	-0.0024	0.0017	0.0014	0.0013	<b>1.71</b>	<b>3.43</b>	1.83
13	0.0049	0.0037	-0.0016	0.0017	0.0014	0.0013	<b>2.94</b>	<b>2.69</b>	1.23
14	0.0058	0.0023	-0.0034	0.0017	0.0014	0.0013	<b>3.46</b>	1.69	<b>2.64</b>

**Tablo 0.** KAMN istasyonu 12 aylık hızlar ile yapılan testler ( $t_{15, 0.95} = 2.13$ )

Fark No	Hız Farkları(m)			Farkların Ortalama Hatası(m)			Test Büyüklükleri		
	$D_{V_X}$	$D_{V_Y}$	$D_{V_Z}$	$m_{D_{V_X}}$	$m_{D_{V_Y}}$	$m_{D_{V_Z}}$	$T_{V_X}$	$T_{V_Y}$	$T_{V_Z}$
1	-0.0078	0.0049	-0.0089	0.0011	0.0008	0.0009	<b>7.10</b>	<b>6.18</b>	<b>9.47</b>
2	-0.0055	0.0022	-0.0066	0.0011	0.0008	0.0009	<b>5.01</b>	<b>2.69</b>	<b>7.02</b>
3	-0.0050	0.0022	-0.0060	0.0011	0.0008	0.0009	<b>4.52</b>	<b>2.78</b>	<b>6.35</b>
4	-0.0048	0.0031	-0.0048	0.0011	0.0008	0.0009	<b>4.35</b>	<b>3.84</b>	<b>5.08</b>
5	-0.0041	0.0042	-0.0042	0.0011	0.0008	0.0009	<b>3.69</b>	<b>5.16</b>	<b>4.43</b>
6	-0.0086	0.0088	-0.0068	0.0011	0.0008	0.0009	<b>7.85</b>	<b>10.99</b>	<b>7.22</b>
7	-0.0091	0.0105	-0.0075	0.0011	0.0008	0.0009	<b>8.25</b>	<b>13.08</b>	<b>7.92</b>
8	-0.0088	0.0105	-0.0070	0.0011	0.0008	0.0009	<b>7.96</b>	<b>13.09</b>	<b>7.42</b>
9	-0.0089	0.0098	-0.0072	0.0011	0.0008	0.0009	<b>8.04</b>	<b>12.22</b>	<b>7.60</b>
10	-0.0082	0.0085	-0.0068	0.0011	0.0008	0.0009	<b>7.44</b>	<b>10.67</b>	<b>7.25</b>
11	-0.0044	0.0041	-0.0051	0.0011	0.0008	0.0009	<b>4.01</b>	<b>5.11</b>	<b>5.42</b>
12	-0.0051	0.0051	-0.0056	0.0011	0.0008	0.0009	<b>4.64</b>	<b>6.40</b>	<b>5.98</b>
13	-0.0032	0.0037	-0.0046	0.0011	0.0008	0.0009	<b>2.92</b>	<b>4.65</b>	<b>4.87</b>
14	-0.0025	0.0047	-0.0042	0.0011	0.0008	0.0009	<b>2.28</b>	<b>5.90</b>	<b>4.48</b>

**Tablo 1.** KAMN istasyonu 18 aylık hızlar ile yapılan testler ( $t_{15}, 0.95 = 2.13$ )

Fark No	Hız Farkları(m)			Farkların Ortalama Hatası(m)			Test Büyüklükleri		
	$D_{V_x}$	$D_{V_y}$	$D_{V_z}$	$m_{D_{V_x}}$	$m_{D_{V_y}}$	$m_{D_{V_z}}$	$T_{V_x}$	$T_{V_y}$	$T_{V_z}$
1	-0.0014	0.0011	-0.0032	0.0010	0.0007	0.0009	1.30	1.42	<b>3.47</b>
2	-0.0009	0.0007	-0.0023	0.0010	0.0007	0.0009	0.90	0.94	<b>2.57</b>
3	-0.1394	0.1817	-0.1124	0.0035	0.0034	0.0028	<b>39.43</b>	<b>53.53</b>	<b>40.72</b>
4	-0.1222	0.1777	-0.1054	0.0036	0.0034	0.0028	<b>34.02</b>	<b>52.04</b>	<b>37.68</b>
5	-0.1299	0.1880	-0.1092	0.0036	0.0035	0.0028	<b>35.87</b>	<b>54.12</b>	<b>38.36</b>
6	-0.0032	0.0040	-0.0051	0.0010	0.0007	0.0009	<b>3.08</b>	<b>5.30</b>	<b>5.59</b>
7	-0.0036	0.0044	-0.0053	0.0010	0.0008	0.0009	<b>3.46</b>	<b>5.88</b>	<b>5.77</b>
8	-0.0033	0.0038	-0.0044	0.0010	0.0008	0.0009	<b>3.11</b>	<b>5.11</b>	<b>4.85</b>
9	-0.0036	0.0031	-0.0044	0.0011	0.0008	0.0009	<b>3.37</b>	<b>4.15</b>	<b>4.77</b>
10	-0.0040	0.0036	-0.0045	0.0011	0.0008	0.0009	<b>3.84</b>	<b>4.72</b>	<b>4.93</b>
11	-0.1725	0.2069	-0.1231	0.0037	0.0036	0.0029	<b>46.38</b>	<b>57.45</b>	<b>42.39</b>
12	-0.1741	0.2213	-0.1230	0.0036	0.0036	0.0029	<b>47.94</b>	<b>61.80</b>	<b>42.77</b>
13	-0.1676	0.2249	-0.1117	0.0036	0.0035	0.0028	<b>46.88</b>	<b>64.38</b>	<b>39.38</b>
14	-0.1703	0.2347	-0.1125	0.0035	0.0034	0.0028	<b>48.31</b>	<b>68.34</b>	<b>40.46</b>

**Tablo 6.** KAMN istasyonu 24 aylık hızlar ile yapılan testler ( $t_{15}, 0.95 = 2.13$ )

Fark No	Hız Farkları(m)			Farkların Ortalama Hatası(m)			Test Büyüklükleri		
	$D_{V_x}$	$D_{V_y}$	$D_{V_z}$	$m_{D_{V_x}}$	$m_{D_{V_y}}$	$m_{D_{V_z}}$	$T_{V_x}$	$T_{V_y}$	$T_{V_z}$
1	0.0048	0.0050	-0.0003	0.0010	0.0007	0.0009	<b>4.78</b>	<b>7.17</b>	0.38
2	0.0051	0.0050	-0.0001	0.0010	0.0007	0.0009	<b>5.03</b>	<b>7.13</b>	0.15
3	0.0050	0.0046	-0.0004	0.0010	0.0007	0.0009	<b>5.00</b>	<b>6.67</b>	0.42
4	0.0049	0.0044	-0.0004	0.0010	0.0007	0.0009	<b>4.88</b>	<b>6.32</b>	0.39
5	0.0044	0.0036	-0.0008	0.0010	0.0007	0.0009	<b>4.37</b>	<b>5.19</b>	0.95
6	0.0042	0.0033	-0.0013	0.0010	0.0007	0.0009	<b>4.14</b>	<b>4.80</b>	1.41
7	0.0036	0.0029	-0.0014	0.0010	0.0007	0.0009	<b>3.57</b>	<b>4.21</b>	1.52
8	0.0029	0.0029	-0.0013	0.0010	0.0007	0.0009	<b>2.93</b>	<b>4.13</b>	1.46
9	0.0028	0.0032	-0.0014	0.0010	0.0007	0.0009	<b>2.76</b>	<b>4.56</b>	1.55
10	0.0023	0.0028	-0.0015	0.0010	0.0007	0.0009	<b>2.32</b>	<b>4.08</b>	1.73
11	0.0015	0.0020	-0.0020	0.0010	0.0007	0.0009	1.53	<b>2.92</b>	<b>2.30</b>
12	0.0015	0.0018	-0.0023	0.0010	0.0007	0.0009	1.47	<b>2.63</b>	<b>2.59</b>
13	0.0023	0.0023	-0.0021	0.0010	0.0007	0.0009	<b>2.32</b>	<b>3.33</b>	<b>2.36</b>
14	0.0027	0.0021	-0.0022	0.0010	0.0007	0.0009	<b>2.70</b>	<b>3.02</b>	<b>2.47</b>

**Tablo 7.** KAMN istasyonu 30 aylık hızlar ile yapılan testler ( $t_{15}, 0.95 = 2.13$ )

Fark No	Hız Farkları(m)			Farkların Ortalama Hatası(m)			Test Büyüklükleri		
	$D_{V_x}$	$D_{V_y}$	$D_{V_z}$	$m_{D_{V_x}}$	$m_{D_{V_y}}$	$m_{D_{V_z}}$	$T_{V_x}$	$T_{V_y}$	$T_{V_z}$
1	0.0017	0.0006	-0.0031	0.0010	0.0007	0.0009	1.68	0.83	<b>3.58</b>
2	0.0020	0.0010	-0.0016	0.0010	0.0007	0.0009	2.01	1.51	1.79
3	0.0019	0.0010	-0.0016	0.0010	0.0007	0.0009	1.85	1.42	1.80
4	0.0019	0.0004	-0.0031	0.0010	0.0007	0.0009	1.92	0.59	<b>3.48</b>
5	0.0017	-0.0001	-0.0038	0.0010	0.0007	0.0009	1.66	0.10	<b>4.34</b>
6	0.0008	0.0002	-0.0040	0.0010	0.0007	0.0009	0.84	0.33	<b>4.53</b>
7	0.0000	-0.0005	-0.0037	0.0010	0.0007	0.0009	0.05	0.67	<b>4.17</b>
8	0.0001	-0.0001	-0.0035	0.0010	0.0007	0.0009	0.08	0.10	<b>3.99</b>
9	0.0003	0.0006	-0.0039	0.0010	0.0007	0.0009	0.27	0.85	<b>4.42</b>
10	0.0004	0.0007	-0.0034	0.0010	0.0007	0.0009	0.37	0.95	<b>3.87</b>
11	0.0005	0.0009	-0.0033	0.0010	0.0007	0.0009	0.53	1.23	<b>3.79</b>
12	0.0004	0.0007	-0.0013	0.0010	0.0007	0.0009	0.40	0.94	1.43
13	0.0008	0.0006	-0.0034	0.0010	0.0007	0.0009	0.79	0.88	<b>3.88</b>
14	0.0009	0.0001	-0.0033	0.0010	0.0007	0.0009	0.90	0.19	<b>3.72</b>

**Tablo 8.** KAMN istasyonu 36 aylık hızlar ile yapılan testler ( $t_{15, 0.95} = 2.13$ )

Fark No	Hız Farkları(m)			Farkların Ortalama Hatası(m)			Test Büyüklükleri		
	$D_{V_x}$	$D_{V_y}$	$D_{V_z}$	$m_{D_{V_x}}$	$m_{D_{V_y}}$	$m_{D_{V_z}}$	$T_{V_x}$	$T_{V_y}$	$T_{V_z}$
1	0.0006	0.0005	-0.0005	0.0010	0.0007	0.0009	0.66	0.68	0.55
2	0.0014	0.0008	-0.0001	0.0010	0.0007	0.0009	1.37	1.15	0.15
3	0.0014	0.0005	0.0001	0.0010	0.0007	0.0009	1.44	0.74	0.09
4	0.0007	0.0007	-0.0002	0.0010	0.0007	0.0009	0.69	1.06	0.24
5	-0.0007	0.0007	-0.0004	0.0010	0.0007	0.0009	0.68	1.02	0.41
6	-0.0009	0.0008	-0.0008	0.0010	0.0007	0.0009	0.92	1.15	0.87
7	-0.0008	0.0006	-0.0008	0.0010	0.0007	0.0009	0.81	0.93	0.85
8	-0.0006	0.0006	-0.0006	0.0010	0.0007	0.0009	0.63	0.91	0.66
9	-0.0007	0.0006	-0.0004	0.0010	0.0007	0.0009	0.69	0.95	0.50
10	-0.0005	0.0007	-0.0005	0.0010	0.0007	0.0009	0.53	0.96	0.59
11	-0.0002	0.0006	-0.0007	0.0010	0.0007	0.0009	0.17	0.82	0.79
12	0.0000	0.0006	-0.0010	0.0010	0.0007	0.0009	0.05	0.88	1.15
13	-0.0001	0.0007	-0.0008	0.0010	0.0007	0.0009	0.12	0.98	0.95
14	0.0001	0.0006	-0.0008	0.0010	0.0007	0.0009	0.14	0.84	0.93

**Tablo 9.** KAMN istasyonu 42 aylık hızlar ile yapılan testler ( $t_{15, 0.95} = 2.13$ )

Fark No	Hız Farkları(m)			Farkların Ortalama Hatası(m)			Test Büyüklükleri		
	$D_{V_x}$	$D_{V_y}$	$D_{V_z}$	$m_{D_{V_x}}$	$m_{D_{V_y}}$	$m_{D_{V_z}}$	$T_{V_x}$	$T_{V_y}$	$T_{V_z}$
1	0.0012	0.0002	-0.0016	0.0010	0.0007	0.0009	1.17	0.28	1.84
2	0.0014	0.0002	-0.0015	0.0010	0.0007	0.0009	1.40	0.30	1.74
3	0.0014	0.0003	-0.0015	0.0010	0.0007	0.0009	1.44	0.37	1.71
4	0.0013	0.0000	-0.0016	0.0010	0.0007	0.0009	1.32	0.03	1.79
5	0.0012	-0.0002	-0.0017	0.0010	0.0007	0.0009	1.18	0.31	1.91
6	0.0012	-0.0001	-0.0015	0.0010	0.0007	0.0009	1.22	0.15	1.74
7	0.0018	-0.0005	-0.0012	0.0010	0.0007	0.0009	1.80	0.66	1.31
8	0.0015	-0.0004	-0.0017	0.0010	0.0007	0.0009	1.53	0.61	1.98
9	0.0012	-0.0006	-0.0013	0.0010	0.0007	0.0009	1.23	0.87	1.45
10	0.0011	-0.0004	-0.0015	0.0010	0.0007	0.0009	1.08	0.64	1.73
11	0.0010	-0.0003	-0.0015	0.0010	0.0007	0.0009	1.06	0.49	1.69
12	0.0014	-0.0006	-0.0013	0.0010	0.0007	0.0009	1.38	0.81	1.51
13	0.0011	0.0000	-0.0011	0.0010	0.0007	0.0009	1.15	0.06	1.24
14	0.0007	0.0001	-0.0017	0.0010	0.0007	0.0009	0.74	0.13	1.92

Tablolarda; KAMN istasyonu için 7 farklı dönemde elde edilen hızlar ve ortalama hataları ile TUSAGA-Aktif'in güncel olarak yayınladığı hızlar ile bu hızlara ait Özdemir [34]'in çalışmasında yayınlanan hızların ortalama hataları kullanılarak elde edilen sonuçların uyumlu olup olmadığı araştırılmıştır. Uyumlu olmayan test sonuçları bold olarak gösterilmiştir. Tablolar incelendiğinde; 30 aylıktan itibaren elde edilen hızlarda  $V_x$  ve  $V_y$ 'nin uyumlu olduğu  $V_z$ 'nin ise 36 aylıktan itibaren elde edilen hızlarda daha uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. 36 aylıktan itibaren elde edilen kartezyen koordinatlara ait hız bileşenlerinin güncel hızlar ile daha uyumlu bir sonuç ortaya koyduğu görülmüştür.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

İstasyonların koordinat ve yıllık hız bileşenleri, uygun zaman aralığında elde edilen RINEX verilerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilmektedir. Nokta hızları önceleri üst dereceli noktalara dayalı olarak belirlenirken son zamanlarda ise uzun süreli gözlemler ve aynı anda değerlendirmeye imkân veren GNSS verileri ile belirlenmektedir. Bu sebeple GNSS istasyonları önemli bir yere sahiptir. Bu istasyonların koordinat ve hızlarının jeodezik olarak yorumlanabilmesi için hassas bir şekilde hesaplanması gerekmektedir. Bundan dolayı koordinat ve hızların hesabında zaman parametresi oldukça önemlidir. Bu nedenle "Hızların hassas bir şekilde hesaplanması için gerekli olan en uygun zaman ne olmalıdır?" sorusuna cevap bulunmalıdır.

Çalışma kapsamında 2016-2019 yılları arasında 8 adet IGS ve 1 adet TUSAGA-Aktif istasyonu alınmıştır. Bu yıllar arasında her yılın Ocak ve Haziran aylarının 1-18 günleri çalışma günleri olarak seçilmiştir. Seçilen günlere göre sabit GNSS istasyonlarının 24 saatlik 30 sn RINEX verileri internet adreslerinden elde edilmiştir. Hız belirlenmesinde zaman ve çözümlenecek gün sayısı da önemli olduğundan dolayı günler 1 Ocak 2016'dan başlayarak birbirini takip eden beşer günlük kombinasyonlara ayrılarak 14 farklı kombinasyon oluşturulmuştur. Her kombinasyon günleri için 6, 12, 18, 24, 30, 36 ve 42 aylık 7 farklı dönemde ITRF96 2005.00 epoğunda hız değerleri ve ortalama hataları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerlerin grafikleri elde edilmiştir. Çözümlemenin yapılmasında Bernese v5.2 bilimsel GNSS yazılımı kullanılmıştır.

Her kombinasyonda elde edilen 7 farklı dönem için hızlar ve ortalama hataları incelendiğinde zaman parametresinin oldukça önemli olduğu görülmüştür. Şekil 5-7 incelendiğinde; hızların yönlerinde de farklılıklar olduğu ve çok iyimser olmadığı tespit edilmiştir. Özellikle Şekil 7'de elde edilen hızlara baktığımızda  $V_x$  için -0.02270m ile 0.15046m,  $V_y$  için -0.23523m ile -0.00126m,  $V_z$  için 0.00428m ile 0.12501m aralığında değerler aldığı görülmüş ve hız bileşenlerinin güncel değerlerden çok farklı olduğu tespit edilmiştir. Bunların sebebi anten faz merkezi kayıklıkları, alıcının uydu izlemesinden kaynaklı, manyetik fırtınalar, hatalı anten faz modeli veya istasyon çevresinde çok yoğun multipath etkisinden kaynaklanan problemler olabileceği düşünülmektedir. 30 aya ait olan Şekil 9'da elde edilen sonuçlar incelendiğinde;  $V_x$  için -0.02564m ile -0.02369m,  $V_y$  için -0.0016m ile -0.0001m,  $V_z$  için 0.00320m ile 0.00592m aralığında, 36 aya ait olan Şekil 10'da elde edilen sonuçlar incelendiğinde;  $V_x$  için -0.02506m ile -0.02273m,  $V_y$  için -0.00134m ile -0.00102m,  $V_z$  için 0.00296m ile 0.00186m aralığında ve 42 aya ait olan Şekil 11'de elde edilen sonuçlar incelendiğinde;  $V_x$  için -0.02541m ile -0.02437m,  $V_y$  için -0.00081m ile 0.00003m,  $V_z$  için 0.00368m ile 0.00303m aralığında değerler aldığı tespit edilmiştir. Elde edilen değerler incelendiğinde aynı yönde ve güncel verilere yakın sonuçlar bulunmuştur. Yani zaman periyodu arttıkça daha doğru hız bileşenleri elde edildiği görülmüştür. Yine elde edilen RMS değerleri incelendiğinde Özdemir ve ark. [33] tarafından verilen şartları sağladığı ve sonuçların kabul edilebilir olduğu söylenir. Elde edilen hızlara ait olan Şekil 5-11'deki grafikler incelendiğinde doğrusal olması gerekirken Şekil 5-7'deki grafiklerin doğrusal olmadığı, farklı sonuçlar ortaya koyduğu ancak Şekil 8-11'deki grafiklerin doğrusal olduğu görülmüştür.

Yedi farklı dönemde hesaplanmış olan KAMN istasyonunun hızları, TUSAGA-Aktif tarafından yayınlanan ve Özdemir [34] tarafından yapılan çalışmadaki değerler ile karşılaştırılıp %95 güven aralığında istatistiksel teste tabi tutulmuştur. Elde edilen test sonuçlarına ait Tablo 3-9 incelendiğinde anlamlı olan sonuçlar koyu renk ile gösterilirken uyumlu olmayanlar ise kırmızı renk ile gösterilmiştir. Tablo 3-6'da bulunan 6, 12, 18 ve 24 aya ait sonuçların uyumlu olmadığı, Tablo 7'de bulunan 30 aya(2.5 yıl) ait elde edilen sonuçlarda  $V_x$  ve  $V_y$  hız bileşenlerinin uyumlu olduğu, Tablo 8 ve Tablo 9'da bulunan 36 ay(3 yıl) ve 42 aya ait elde edilen sonuçlarda  $V_x$ ,  $V_y$  ve  $V_z$  hız birleşenlerinin uyumlu olduğu yani kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bu taktirde hız bileşenleri yatayda 30 ay(2.5yıl), düşeyde ise 36 ay (3yıl)'dan itibaren daha uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuç jeodezik yorumlama amacıyla üretilen hızların Blewitt ve Lavall'ee [15] tarafından önerilen 30 ay(2.5 yıl)'dan daha kısa verilerin analiz edilmemesi sonucu ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Yapılan analizler ve karşılaştırmalar dikkate alındığında istasyonların hızlarını yüksek doğrulukta elde etmek için zaman parametresinin önemi anlaşılmıştır. Zaman süresi arttıkça elde edilecek olan hızların doğruluğu da artmaktadır. Bundan dolayı jeodezik amaçlı çalışmalarda yorum yapabilmek için hız bileşenleri elde edilirken en az 36 ay (3 yıl)'lık bir veri uzunluğuna ihtiyaç olduğu sonucuna varılmıştır.

## 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] Tekiç Rahmanlar S. 2019. Doğru Hız Kestirimi İçin Aylık GPS Kampanyalarının Performansı Üzerine Bir İnceleme. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [2] Jeffrey C. 2010. An Introduction to GNSS. NovAtel Inc., 1st ed, Canada, 1-96.
- [3] Kahveci M. 2009. Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit GNSS (CORS) Ağları ve Düşündürdükleri. Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 100 (1): 13-20.
- [4] Pektaş F. 2010. Gerçek Zamanlı Ulusal ve Yerel Sabit GNSS Ağlarına Dayalı Kinematik Konumlama (TUSAGA-Aktif – İSKİ-UKBS Ağlarının Yerel Ölçekte Karşılaştırılması). Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [5] Raquet J. 1998. Development of a Method for Kinematic GPS Carrier-Phase Ambiguity Resolution Using Multiple Reference Receivers. PhD Thesis, University of Calgary, UCGE 20116.
- [6] Bülbül S. 2018. TUSAGA-Aktif Noktalarında Renkli Gürültülerden Arındırılmış Hız Bileşenlerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [7] Niemeier W. 1985. Deformationsanalyse, Geodaetische Netze in Landes-und Ingenieurvermessung II, H. Pelzer (Hrsg.), Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 559-623.
- [8] Cooper M.A.R. 1987. Control surveys in civil engineering. Nichols Pub Co, London, 1-381.
- [9] Caspary W.F. 2000. Concepts of network and deformation analysis. The University of New South Wales. Kensington, Australia, 1-195.
- [10] Nowel K. 2015. Robust estimation in analysis of control network deformations: Classical and new method. Journal of Surveying Engineering, 141 (4): 1-9.
- [11] Mercan H. 2006. GPS Sıklaştırma Ağlarının Değerlendirme Stratejileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Feigl K.N., King R.W., Jordan T.H. 1990. Geodetic Measurements of Tectonic Deformation in the Santa Maria Fault and Thrust Belt California. JGR solid earth, 95 (B3): 2679-2699.
- [13] Şafak Ş. 2019. GNSS Hız Doğruluklarına Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- [14] Johnson H., Agnew D.C. 1995. Monument motion and Measurements of Crustal Velocities. Geophysical Research Letters, 22 (21): 2905-2908.
- [15] Blewitt, G., Lavall'ee D. 2002. Effect of Annual Signals on Geodetic Velocity. Journal of Geophysical Research, 107 (B7): ETG9-1/9-11.
- [16] Herring T. 2003. MATLAB Tools for Viewing GPS Velocities and Time Series. GPS Solutions, 7 (3): 194-199.
- [17] Şanlı D.U. 2002. GPS Zaman Serilerinin Analizi ve Türkiye İçin Değerlendirmeler, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu (TUJK) 2002 Yılı Bilimsel Toplantısı. Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 10-12 Ekim 2002, İznik, Bildiriler ve Konuşma Tutanakları Kitabı, 216-225.
- [18] King N.E., Svarc J.L., Fogleman E.B., Griss W.K., Clark K.W., Hamilton G.D., Stiffler C.H., Sutton J.M. 1995. Continuous GPS Observation Across the Hayward Fault. California, 1991-1994, Journal of Geophysical Research, 100 (B10): 20271-20284.
- [19] Şanlıoğlu İ., İnal C. 2004. IGS Ürünlerinin Tanıtımı, Igs Ürünlerine Erişim Ve Bir Uygulama. Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi, 3 (1): 26-40.
- [20] Zumberge J.F., Liu R., Neilan R.E. 1995. 1994 Annual Report., International GPS Service for Geodynamics. IGS Central Bureau, Jet Propulsion Lab., Pasadena, California, ABD.
- [21] IGS. 2021. <https://www.igs.org/network/#downloadable>. (Erişim Tarihi: 18.02.2021).
- [22] Yıldırım Ö., Bakıcı S., Cingöz A., Erkan Y., Güllal E.V., Dindar A.A. 2007. TUSAGA-Aktif (CORS TR) Projesi ve Ülkemize Katkıları. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim – 2 Kasım, KTÜ, Trabzon.
- [23] Aktuğ B., Kurt M., Parmaksız E., Lenk O., Erkan Y., Aysezen Ş. 2011. Türkiye’de Sabit GNSS İstasyonlarının Tarihi ve Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı –Aktif (TUSAGA-Aktif).

- TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara.
- [24] Eren K., Uzel T., Gülal E., Yıldırım O., Cingöz A. 2009. Cors-TR Ağında Kapsamlı Küresel Navigasyon Uydu Sistemi Testinin Sonuçları. *Etüt Mühendisliği Dergisi*, 135 (1): 1-10.
- [25] Yıldırım Ö., Mekik Ç., Bakıcı S. 2011. TUSAGA-Aktif(CORS-Tr) Sistemin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne Katkıları. 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 18-22 Nisan 2011, Ankara, 1-7.
- [26] Cankurt İ., Salgın Ö., Karan Z.S., İlbey A., 2019. Tusaga-Aktif (Cors-Tr) Sistemi İşletilmesi Ve Güncelleştirilmesi. TMMOB 6. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 23-25 Ekim 2019, Ankara.
- [27] Gündüz A.M. 2019. TUSAGA-Aktif Noktalarının Deformasyon Belirlemede Kullanılabilirliği. Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- [28] İnal C., Salgın Ö. 2008. Farklı GPS Yazılımları ile Değerlendirilen GPS Baz Uzunluklarının Bilinen Değerler ile Karşılaştırılması. *J. Fac. Eng. Arch. Selcuk Univ.*, 23 (2): 13-24.
- [29] Başçiftçi F. 2017. GNSS Veileri Kullanılarak İyonosfer Modelinin Oluşturulması ve Global Modellerle Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [30] Wang G., Soler T. 2012. OPUS for Horizontal Subcentimeter-Accuracy Landslide Monitoring: Case Study in the Puerto Rico and Virgin Islands Region. *Journal of Surveying Engineering Asce*, 138 (1): 143-153.
- [31] Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P. 2015. Bernese GNSS Software Version 5.2. Switzerland. Astronomical Institute University of Bern, 1-858.
- [32] Dach R., the Bernese GNSS Software development team. 2013. Bernese GNSS Software: Processing Examples in Version 5.2. Astronomical Institute. University of Bern, Bern, 1-43.
- [33] Özdemir S., Cingöz A., Aktuğ B., Lenk O., Kurt M., Parmaksız E. 2011. Sabit İstasyon Verilerinin Analizi. TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 13. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 18-22 Nisan 2011, Ankara.
- [34] Özdemir S. 2016. TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine. *Harita Dergisi*, 155: 53-81.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Betonarme Binalar için Perde Duvar Etkinliğinin Belirlenmesi

Barış ERDİL\*, Yusuf GÜNDÜZ

*Van Yüzyüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 65080, Van, Türkiye  
(ORCID: 0000-0001-5282-3568) (ORCID: 0000-0001-6054-4753)*

---

### Öz

Betonarme binaların güçlendirilmesi durumunda kullanılacak perde duvarların kat alanına oranı ile ilgili olarak çeşitli öneriler geliştirilmiştir. Önerilen oranlar global anlamda olup bu oranların perde duvarlar sayısı ve/veya konumu ile ilişkisi üzerinde durulmamıştır. Örneğin %1 oranında perde duvar kullanılması ile kontrollü hasar performans seviyesinin sağlanacağı belirtildiğinde, bu %1'lik perde duvarın en fazla kaç parçaya bölünebileceği, bölünen bu perde duvarların planın hangi noktasında daha etkin olabileceği hususu belirsizdir. Bu belirsizlikler sebebi ile mühendisler çoğunlukla deneme yanılma yöntemi ile perde duvarları yerleştirmektedir. Bu çalışmada betonarme binaların güçlendirilmesi durumunda kullanılacak perde duvarların etkinliğini belirlemek amacı ile farklı sayı ve kalınlıkta tasarlanmış perde duvarlar, planda farkı alanlara yerleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde aynı alana sahip perde duvarların parçalara ayrılarak binaya yerleştirilmesinin perde duvar kesme kuvveti ve moment etkinliğini azalttığı, perde duvar boyunun kısılması neticesinde binanın global rijitliğinin azaldığı ve nihayetinde deplasmanlar ile periyotların arttığı, belirlenmiştir. Perde duvarların etkinlikleri kat sayısı arttıkça azalmaktadır. Perde duvarların bina merkezine yakın yerleştirilmeleri ile kesme kuvveti etkinlikleri artırılmakta, görece kat ötelemeleri ve yapı periyodu düşmektedir. Dış akslara perde duvar yerleştirilmesi ile de perde duvarların moment etkinlikleri artırılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Betonarme, Perde Duvar, Deprem Performansı

---

## Determination of the Shear Wall Efficiency in Reinforced Concrete Buildings

---

### Abstract

Various recommendations have been proposed regarding the ratio of shear walls to floor area to be used in case of strengthening of reinforced concrete buildings. Since the researchers proposed global ratios, the relationship of these proportions to the number and/or location of shear walls were not considered. For example, when it is stated that a life safety performance level will be achieved by using a 1% shear wall, it is unclear that how many pieces this 1% shear wall can be divided into and at what location in the plan these divided shear walls can be more effective. Because of these uncertainties, engineers often place shear walls by trial and error. In this study, shear walls designed in different numbers and thicknesses were placed in different areas in the plan in order to determine the effectiveness of shear walls to be used in case of strengthening of reinforced concrete buildings. As a result of the analysis, it was determined that keeping the shear wall area the same but dividing and placing them in appropriate locations in the plan decreases the shear force and moment effectiveness of the shear walls. Besides, since the length of the shear wall reduces when it is divided, the global stiffness of the building decreases and ultimately the displacements and periods increase. Shear wall efficiency decreases with increasing number of stories. Placing shear walls near the center of the building increases their shear force carrying efficiency but reduces the roof displacements and fundamental periods. However, when the shear walls are placed at the exterior grids, it is possible to increase their moment carrying efficiency.

**Keywords:** Reinforced Concrete, Shear Wall, Seismic Performance.

---

### 1. Giriş

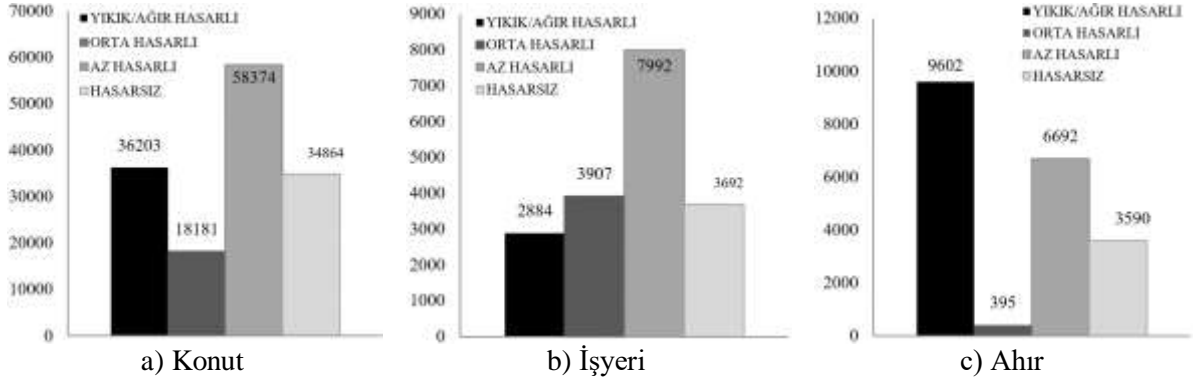
Aktif deprem kuşağında olan ülkemizde 1900 yılından günümüze değin yaşanmış olan büyük depremlerde 66702 vatandaşımız hayatını kaybederken 348241 adet konut da bu depremlerde ağır hasar

---

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

Geliş Tarihi: 17.03.2021, Kabul Tarihi: 17.05.2021

almıştır. 2011’de yaşanan Van depremlerinde 36203’ü konut olmak üzere 48689 binanın ağır hasar gördüğü veya göçtüğü, 18181’i konut olan 22483 binada orta hasar meydana geldiği ve 93238’i konut olmak üzere 115204 binanın ise hafif hasar gördüğü veya hasarsız olduğu ifade edilmektedir [1]. Hasar tespit incelemesinin genel sonuçlarına bakıldığında konutların %76’sının, iş yerlerinin %79’unun ve ahırların %82’sinin hasarlı olduğu görülmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. 2011 Van depremleri sonrası binalar üzerinde yapılan inceleme sonuçları

Türkiye’de depreme dayanıklı yapı ilkeleri, bina kalitesini arttırmak amacı ile her büyük deprem sonrası yeni yönetmelikler ile güncellenmekte ve gelişim göstermektedir. Teknolojinin hızlı gelişimi neticesinde daha detaylı ve gerçekçi yapısal analizler yapılabilmektedir. Bu durum teknoloji ile birlikte projelendirmedeki kalite artışını da beraberinde getirmiştir. Fakat 2011 Van depremleri uygulamadaki kalite artışının yavaş olduğunu göstermiştir. Kalite artışındaki bu yavaşlık, yaşanan her depremde ciddi miktarda binanın hasar görmesine ve can kaybına sebep olmuştur [2]. Kalitenin yanında taşıyıcı sistem elemanların yerleşimi ve boyutunun da yapı performansında etkili olduğu son depremlerde gözlemlerde öne çıkmıştır [3,4]. Perde duvar hasarlarının incelenmesi neticesinde perde uç bölgesi, aksenal yük miktarı, kesme donatısının yerleşimi, perde duvarın uzunluk/kalınlık oranı vs. faktörlerinin önemli olduğu vurgulanmış, perde duvarlardaki detay eksikliklerinin perde duvar etkinliğini olumsuz etkileyebileceği ifade edilmiştir [5].

Ülkemizin ve diğer ülkelerin hazırlamış oldukları deprem yönetmelikleri yapının bir miktar elastik ötesi davranış sergileyeceği varsayımına göre düzenlenmiştir. Yatay bir yük olan deprem karşısında yatay rijitliği küçük olan yapılar deprem etkisi altında büyük ötelemeler yapmaktadır. Yatay ötelemelerin büyük olması kolon uçlarında ikinci mertbe momentlerinin artmasına yol açmakta, mevcut halde var olan momentlere ikinci mertbe momentlerinin de eklenmesiyle belli bir moment kapasitesi olan kolonlarda moment kapasitesinin aşılması hasarların kaçınılmaz olmasına sebep olmaktadır. Deprem sonucu yapıya etkiyen yatay yüklerin oluşturduğu yatay ötelemeleri sınırlandırmak için yapının yatay rijitliğini arttırmak gereklidir. Bunu sağlayabilmek için düşey taşıyıcı elemanların belirli boyutlarda tasarlanması gerekmektedir. Perde duvar kullanılmadığı durumda kolon boyutları binanın her iki doğrultusunda da büyüyeceğinden perde duvar kullanılarak kolon boyutları küçültülmekte ve böylelikle binadaki kullanım alanı artırılmaktadır. Tamamıyla perdelerden oluşturulmuş bir sistemde eğilme momenti altında katlar arası en büyük yer değiştirme üst katlarda meydana gelirken, çerçeve sistemde alt katlarda oluşmaktadır [6]. Bu iki davranışı sergileyen perde ve çerçeve sistemler birlikte kullanıldığında hem eğilme hem de kayma davranışı etkili olmaktadır. Oluşan karma sistemde yapının üst kısmındaki perde duvar eğilmesi çerçeve tarafından, çerçevenin alt katlarındaki kaymalar ise perde duvarlar tarafından sınırlandırılmış olur [7].

Perde duvarların miktarı yapının yatay yük taşıma kapasitesi ile görelî kat ötelemelerini doğrudan etkilemektedir [8-10]. Dinamik analizler neticesinde düşük perde duvar miktarına sahip binalarda büyük deplasman talepleri ortaya çıkabilmekte ve yüklerin çerçeve elemanlar ile perde duvarlar arasındaki dağılımının değişmesine ve moment eğrisinin eğiminin artmasına sebep olabilmektedir. Bu sebeple can güvenliği performans seviyesinin karşılanabilmesi için perde duvar oranının binanın her bir doğrultusu için %0.6 olması önerilmektedir. Ayrıca bina periyodunun tasarım spektrumunda ivme-sabit bölge ile çakışması durumunda perde duvar oranının %1.5’e çıkarılması tavsiye edilmektedir [7]. Bir başka çalışmada ise perde duvar oranının %1 olduğu düşük ve orta



yükseklikteki binalarda görelî kat öteleme oranının %2'nin altında olduğu, bu binalarda can güvenliği performans seviyesinin karşılanabileceği belirtilmektedir [11]. Bazı çalışmalarda ise depremin her doğrultusu için perde duvar miktarı ( $\sum A_{wi}$ ) toplam kat alanına ( $\sum A_f$ ) veya binanın taban alanına ( $A_{ft}$ ) göre Eş.1, Eş.2ve Eş.3'teki gibi verilmektedir.

$$\sum A_{wi} = \frac{\sum A_f}{750} \quad [12] \quad (1)$$

$$\sum A_{wi} \geq 0.0012 \sum A_f \quad [13] \quad (2)$$

$$\sum A_{wi} \geq 0.004 A_{ft} \quad [13] \quad (3)$$

Perde duvarlar sahip oldukları rijitliklerinden ötürü yapının rijitlik merkezini de önemli ölçüde etkilemektedir. Deprem yönetmeliklerinde yapıda deprem esnasında burulma olmaması için kütle ve rijitlik merkezlerinin olabildiğince birbirlerine yakın olmaları gerektiği belirtilmektedir. Yapıda en büyük burulma rijitliğinin sağlanması için kullanılan perde duvarların olabildiğince yapının dış kısımlarına yerleştirilmesi gerektiği, dış kısımlara yerleştirilen perde duvarlara sahip yapının yer değiştirmesinin çok az etkilendiği ancak bunun önemsenmeyecek düzeyde olduğu belirtilmiştir [14,15].

Basit bir çerçeve içerisine tam veya yarım yerleştirilmiş perde duvarların yapının yatay yük taşıma kapasitesini önemli düzeyde artırdığı, perde duvar eklenmesi ile yapıların güçlendirilebileceği deneysel çalışmalarda neticesinde açıklığa kavuşturulmuştur [16]. Betonarme çerçevelere dıştan perde duvar ilavesi ile yük taşıma kapasitesinin yaklaşık 3 kat, rijitliğin ise yaklaşık 4 kat artabileceği 2 katlı 3 açıklı çerçeve deneyleri üzerinden belirlenmiştir [17]. Ayrıca perde duvarlı binaların genel olarak iyi tasarlandığı ve deprem performanslarının da iyi olduğu 2010 Şili depremlerinde gözlenmiştir. Bu gözlemlerde perde duvarların dayanım fazlalığının etkili olabileceği düşünölmüş ve az-orta-çok katlı betonarme perde duvarlı binalar analiz edilmiştir. Analizler neticesinde 5 katlı bir binada dayanım fazlalığının 4'ten büyük olduğu, 17 katlı bir binada bu değerın yaklaşık 2 olduğu, 26 katlı binada ise yaklaşık 1.5 olduğu tespit edilmiştir [18]. Bir başka çalışmada dayanım fazlalığı katsayısının binanın rijitliğine bağlı olduğu, rijitlik azaldıkça dayanım fazlalığı katsayılarının düştüğü belirlenmiştir. Rijitlik düştükçe binanın yatay deplasman talebi artmakta ve bu durum perde duvarların daha fazla zorlanmasına sebep olmaktadır [19]. Dayanım fazlalığı katsayısı iç kuvvet talebi ile kapasitenin ilişkisini ifade ettiğinden kapasiteyi etkileyen faktörlerin önemli olduğu, perde uç bölgelerindeki donatıların moment kapasitesi için, gövde donatılarının da kesme kuvveti dayanımı için gerekli olduğuTBDY2018 [20] ve diğer çalışmalarda belirtilmiştir [7, 21].

Ölkemizde betonarme binaların güçlendirilmesinde perde duvarlar yaygın olarak kullanılmakla beraber kullanılacak perde duvarların miktarı ve plandaki yerleri hakkında pratik bir yaklaşım henüz öne sürölmemiştir. Bu sebeple yapılar güçlendirilirken tamamen analiz programları üzerinden deneme yanılma yöntemi ile tasarım yapılmakta, buna bağlı olarak da ek maddi külfet oluşmaktadır. Ayrıca programlar aracılığı ile yapılan analizler sırasında perde duvarın yerleştirildiği yerin yapı davranışına ve perde duvara etkisi tam olarak bilinmediğinden dolayı perde duvarların yerleşimi keyfî yapılmakta, bu da tasarım sırasında zaman almaktadır.

Literatürde binalarda can güvenliği performansının sağlanabilmesi için gerekli minimum perde duvar miktarı verilmesine rağmen bu perde duvarların hangi büyüklüklerde kullanılması gerektiği ve kat planının neresinde daha etkili olacağı ile ilgili bilgiler eksik bırakılmıştır. Bu çalışmada 2 farklı taban alanına, 2-8 arası kat adedine ve 3 farklı perde kalınlığına ve 3 farklı perde duvar sayısına göre oluşturulmuş toplam 315 model analiz edilerek perde duvarların etkinliği araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında perde duvar konumu ve miktarının kesme kuvveti, moment, yapı periyodu ve deplasmanlar üzerine etkisi iki yönlü simetriye sahip binalar üzerinden araştırılmıştır. İlk yapı (M1) 144 m<sup>2</sup> taban alanına sahip olup küçük binaları temsil etmekte, diğer yapı (M2) ise 480 m<sup>2</sup> taban alanına sahip büyük yapıları temsil etmektedir. İki yapıda da referans olarak ele alınan ilk modelde (M1-1 ve M2-1) binanın orta aksına bir adet perde duvar yerleştirilip analiz edilmiştir. Daha sonra merkezdeki

perde duvar önce iki eşit parçaya bölünmüş ve simetrik olacak şekilde diğer akslara dağıtılmıştır. Son olarak merkezdeki perde duvar dört eşit parçaya bölünmüş ve burulma oluşturmayacak şekilde simetrik olmak kaydıyla binanın diğer akslarına yerleştirilerek analizler yapılmıştır. Modeller, sonuçları kolay takip edebilmek için kodlanmıştır. Örneğin M2-2-r025 şeklinde kodlanan modelde M2 480 m<sup>2</sup>'lik yapıyı, bundan sonra gelen sayı bu yapı grubundaki 2. modeli ve ardından gelen bölüm ise (r025) perde duvar oranını belirtmektedir.

## 2.1. Çalışmada kullanılan binaların özellikleri ve modelleme

Çalışmada 2 farklı kat alanına, 3 farklı perde duvar kalınlığına (kalınlık  $t_w$  20, 30, 40 mm arasında değişmektedir), 2-8 arası kat sayısına ve 3 farklı perde duvar sayısına (tek perde duvar, 2 perde duvar ve 4 perde duvar) sahip toplam 315 model SAP2000v20 sürümü ile analiz edilmiştir [22] (Tablo 1, Şekil 2 ve Şekil 3). Tüm yapıların kat yüksekliği 3 m olarak sabit tutulmuş, perde duvar dışında kalan akslara 40x40 cm ebatlarında kolonlar yerleştirilmiştir. Tüm kirişler 30x60 cm ve tüm döşeme kalınlıkları 15 cm olarak tasarlanmıştır. Bütün yapılarda kolonlar ve kirişler çubuk elemanlarla, perde duvarlar ve döşemeler alan elemanları ile modellenmiş ve alan elemanlar 1x1 m boyutundaki elemanlara bölünmüştür. Modellerde karşılaştırmayı kolaylaştırmak için zemin etkisi ihmal edilmiş ve kolonlar ve perde duvarlar temel noktasında ankastre mesnetli olarak modellenmiştir. Eleman bağlantılarının monolitik olduğu ve 6 serbestlik derecesine sahip olduğu varsayılmıştır.

Beton sınıfı olarak TBDY2018'de belirtilen minimum dayanım (C25), donatılar için ise S420 kalitesi seçilmiştir. Çalışmada bütün elemanların aynı dayanıma sahip oldukları varsayılmıştır. Ayrıca döşeme üzerindeki hareketli yük  $Q=2$  kN/m<sup>2</sup>, kirişler üzerindeki duvar yükü 8 kN/m olarak alınmıştır.

144 m<sup>2</sup> taban alanına sahip küçük modelde perde duvar önce plan ortasında tek parça olarak kullanılmış, daha sonra bu perde duvar iki eşit parçaya bölünerek ikinci modelde planın orta aksında, üçüncü modelde ise dış akslarda kullanılmıştır. Son modelde ise perde duvar dört eşit parçaya bölünerek köşelere yerleştirilmiştir (Şekil 2). 480 m<sup>2</sup>'lik büyük modelde ise, perde duvar yine ilk modelde plan ortasına yerleştirilmiş, daha sonra iki eşit parçaya bölünerek hem yatay hem de düşey akslar boyunca simetrik kullanılmıştır. Son olarak perde duvar dört eşit parçaya bölünerek yine hem yatay hem de düşey akslar boyunca simetrik yerleştirilmiştir (Şekil 3).

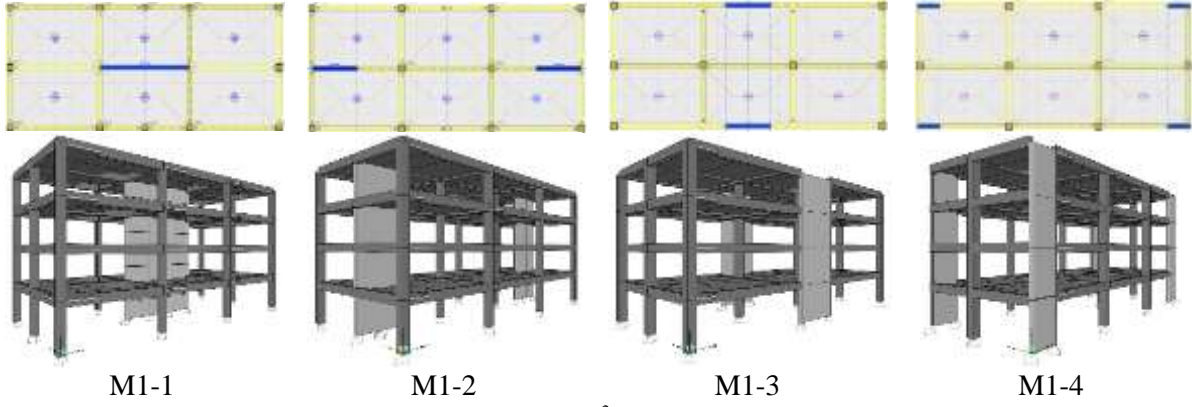
Deprem yüklemesi için mod birleştirme yöntemi kullanılmış ve kütlelerin %95'e ulaşabildiği mod sayısı dikkate alınmıştır.

Yapılan lineer elastik analizlerde perde duvar alanı sabit tutulan yapılarda perde duvar boyutunun küçültülerek sayısının artırılmasının yapı davranışına hangi ölçüde etki ettiği anlaşılmaya çalışılmıştır. Perde duvarın 4 parça olarak kullanıldığı modellerde perde duvar kalınlığı arttıkça perde duvarın uzunluk/kalınlık ( $l_w/t_w$ ) oranı 6'dan daha küçük olmuştur. Fakat her durumda bu elemanların uzunluğu diğer kolonlardan fazla olduğundan, sistem rijitliğine daha fazla rijitlik katkısı vermektedir. Kolon ve perde duvar yapısal analizden ziyade genellikle tasarım kuralları bakımından birbirinden ayrıldığından bu çalışmada perde duvar ifadesi  $\frac{l_w}{t_w} < 6$  olan elemanlar için teorik olarak kullanılmıştır.

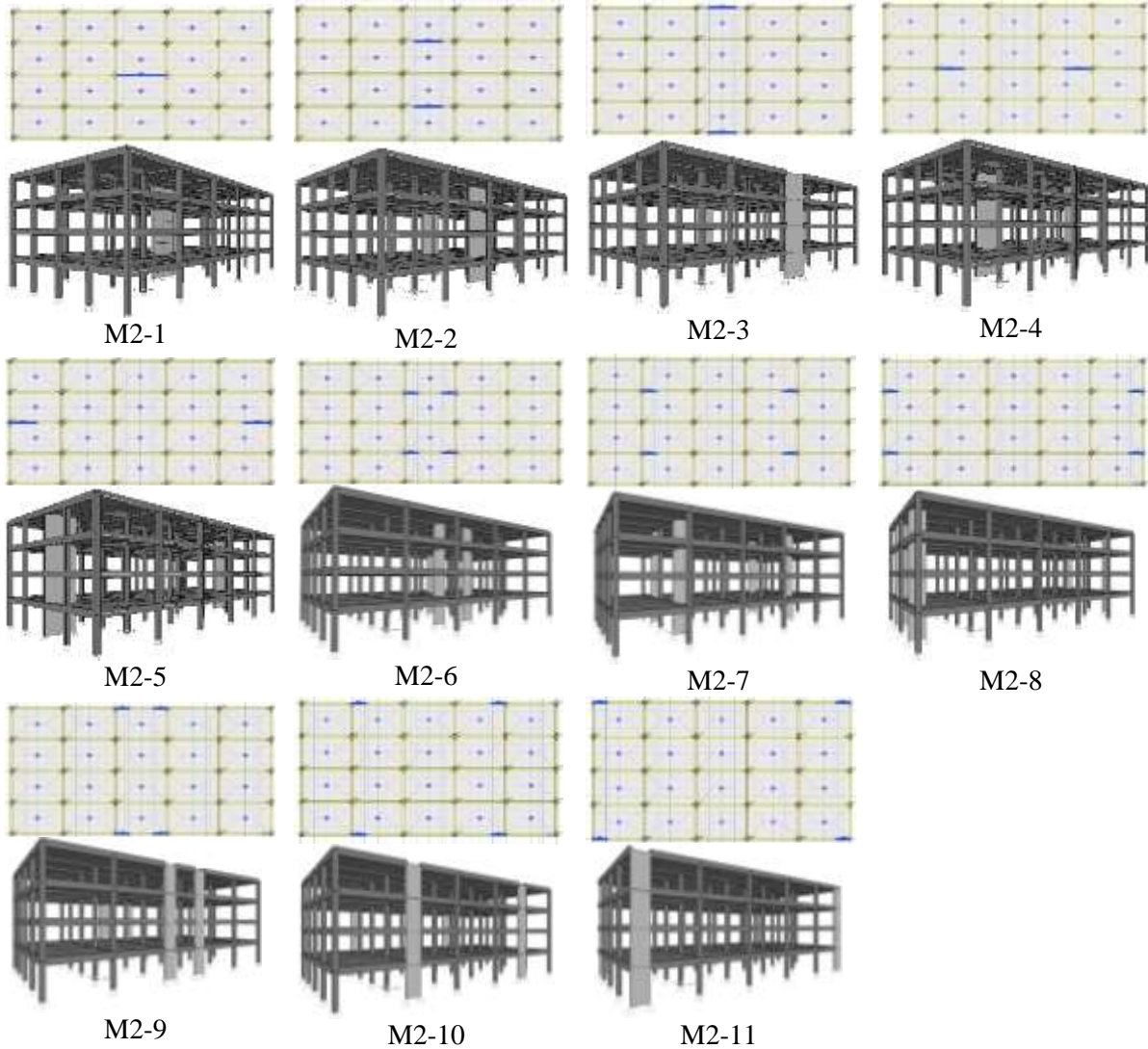
Yukarıda bahsi geçen modeller daha sonra perde kalınlığı artırılarak yeniden analiz edilmiştir. Buradaki amaç ise perde duvar alanının (veya oranının) değişiminin yapının yük taşıma yeteneğine olan etkisinin belirlenmesidir.

**Tablo 1.** Formüllerin oluşturulması için tasarlanan modeller

Model	Kat Alanı	$t_w$ cm	Perde Duvar Oranı ( $A_{wi}/A_{pi}$ )	Kat Sayıları
M1	144 m <sup>2</sup>	20	0.83	2-3-4-5-6-7-8
		30	1.25	2-3-4-5-6-7-8
		40	1.67	2-3-4-5-6-7-8
M2	480 m <sup>2</sup>	20	0.25	2-3-4-5-6-7-8
		30	0.98	2-3-4-5-6-7-8
		40	0.50	2-3-4-5-6-7-8



Şekil 2. 144 m<sup>2</sup>'lik modeller



Şekil 3. 480 m<sup>2</sup>'lik modeller

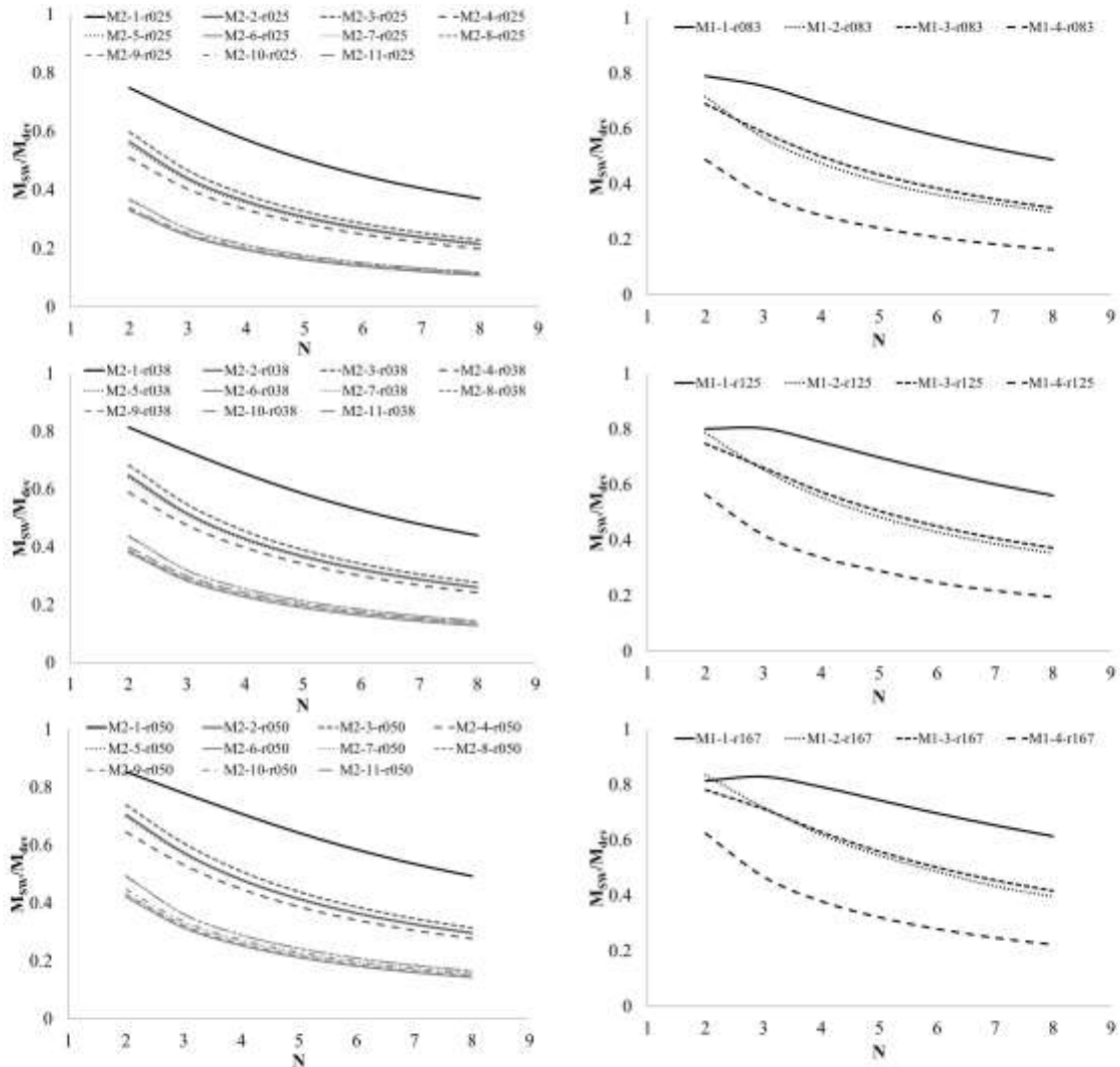
### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Perde duvar devrilme momentinin değişimi

Şekil 4, perde duvar tabanında oluşan toplam momentin ( $M_{sw}$ ) bina tabanında oluşan momente ( $M_{dev}$ ) oranı ile kat yüksekliği ( $N$ ) arasındaki ilişkiyi vermektedir. Şekilden görüleceği üzere aynı perde duvar alanına sahip bir yapıda perde duvarların 2 ve 4 parçaya bölünmesi durumunda perde duvarın tabanında

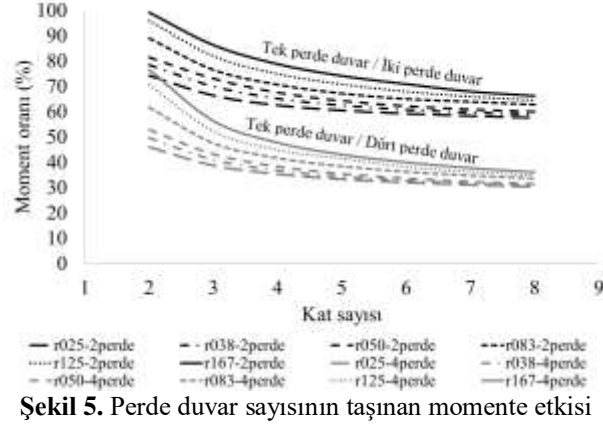
daha az momentler oluşmaktadır. Örneğin %0.25 oranında perde duvar kullanılması durumunda, dört katlı bir binada perde duvar, devrilme momentinin %57'sini taşıırken, perde duvar iki eşit parça halinde kullanıldığında bu oran ortalama %36'ya, dört eşit parça haline kullanıldığında ise ortalama %20'ye düşmektedir. Perde duvarın moment etkinliğinin azalması perde uzunluğu ve dolayısıyla perde rijitliğinin azalmasının bir sebebidir. Perde duvar kalınlığının artması ile perde duvar oranı ve rijitliği artmakta, bu durumda perde duvarın taşıdığı momentlerde artışlar meydana gelmektedir. Perde duvar oranı %1.67'ye çıkarıldığında yine dört katlı binada tek perde duvar, devrilme momentinin %79'unu, iki eşit perde duvar ortalama %62'sini, dört eşit perde duvar ise ortalama %38'ini taşımaktadır (Şekil 5). Perde duvar oranının artması ile perde duvarlar tarafından taşınan momentlerde her durumda artışlar gözlenmiştir.

Şekil 4'ten görüleceği üzere perde duvar iki eşit parçaya bölünerek dış akslara yerleştirildiğinde (M2-3) diğer iki parçalı perde duvar modellerinden daha etkili olmaktadır. M2-3 modelinde dört katlı binada devrilme momentinin %38'i taşınırken, M2-2 modelinde %36, M2-4 modelinde %33, M2-5 modelinde %36 oranında taşınmaktadır. Perde duvar dörde bölündüğünde yine devrilme yönü dikkate alındığında en dış akslarda (M2-8 ve M2-11) kısmen daha etkili olacaktır. Bu etkinlik perde duvar oranından çok az etkilenmektedir. M2-8 ve M2-11 modellerinde taşınan moment devrilme momentinin %21'i olurken, M2-6 modelinde %19, diğer modellerde ortalama %20 olmaktadır. Sonuç olarak perde duvar parçalara bölündüğünde devrilme yönü dikkate alındığında merkeze yakın yerleştirilmesi ile perde duvarların etkinliği azalmakta, dış akslara yerleştirilmesi durumunda daha etkin olacağı belirlenmiştir. Burulma rijitliği üzerine yapılmış çalışmalarda da perde duvarların dış akslara yerleştirilmelerinin daha faydalı olabileceği belirtilmiştir [14,15].



Şekil 4. Perde duvarların taşıdıkları momentin perde duvar sayısı ve kat sayısına göre değişimi.

Grafiklerden kat yüksekliğine bağlı olarak perde duvarların taşıdığı momentlerin azaldığı da görülebilir. Sonuç olarak, aynı perde duvar alanına sahip sistemlerde perde duvar uzunluğu kısaltılarak perde duvar sayısının artırılmasının perde duvarlar tarafından taşınan devrilme momentlerinde azalmaya sebep olduğu, kat sayısı arttıkça perde duvar etkinliğinin daha da azaldığı söylenebilir. Şekil 5'ten ayrıca kat yüksekliği azaldıkça perde duvarlar tarafından taşınan momentlerin perde duvar oranı ile çok fazla değiştiği, kat yüksekliğin artması ile perde duvar oranının etkinliğinin azaldığı ve taşınan momentlerin birbirine yaklaştığı görülebilir.



Şekil 5. Perde duvar sayısının taşınan momente etkisi

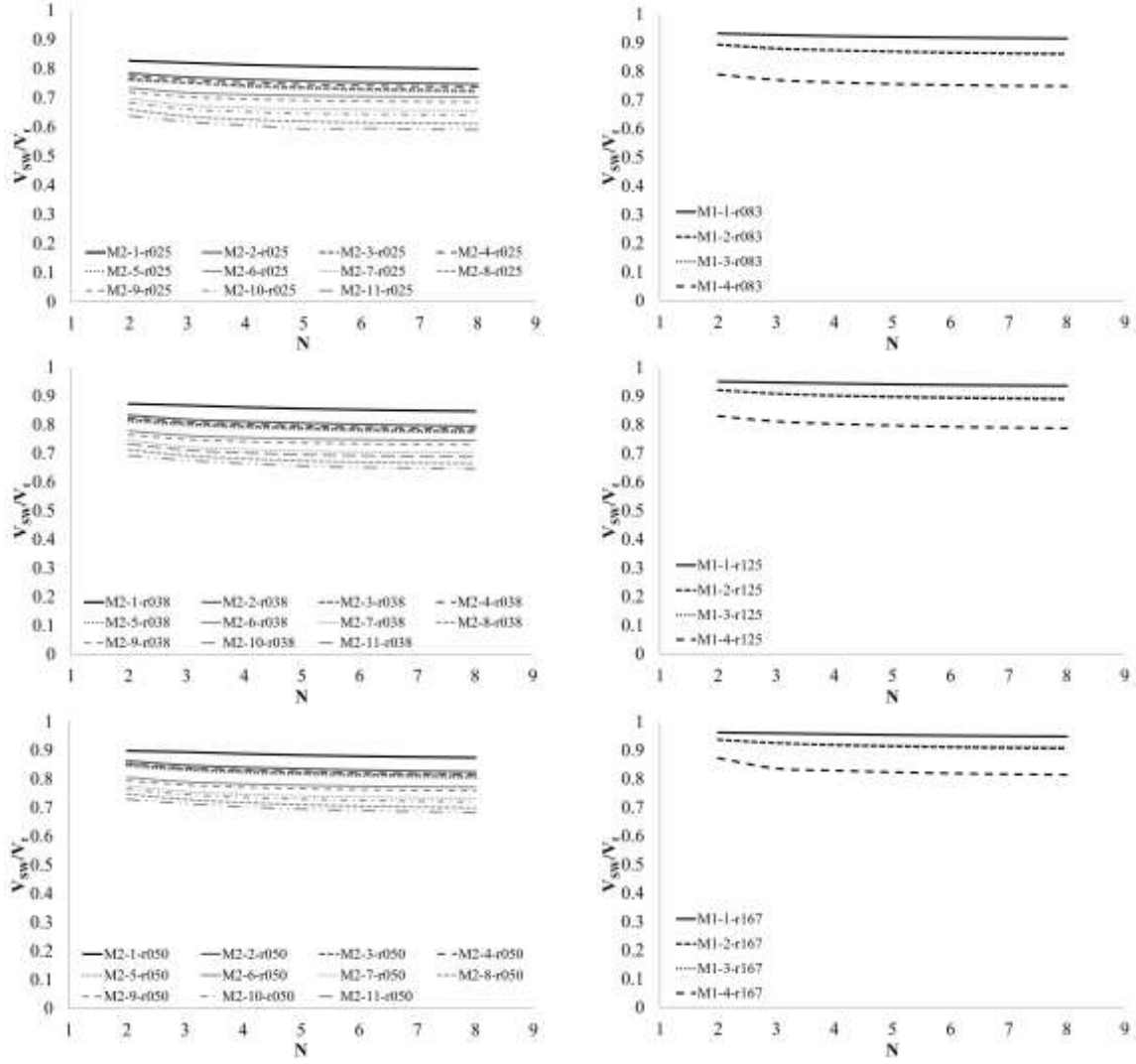
### 3.2. Perde duvar taban kesme kuvvetinin değişimi

Perde duvarlar tarafından taşınan momentte olduğu gibi taban kesme kuvvetinde de perdeleri parçalara bölmek perde etkinliğinde düşüşe sebep olmaktadır (Şekil 6). Bu durum yine perde duvar rijitliğinin azalması ile açıklanabilir. Örneğin %0.25 perde duvar oranına sahip dört katlı modelde tek perde duvarın kullanılması durumunda perde duvar, toplam taban kesme kuvvetinin ( $V_t$ ) %81'ini taşırken, perde duvar oranını sabit tutup perde duvar sayısını ikiye çıkarmak, perde duvarlar tarafından taşınan taban kesme kuvvetini ( $V_{sw}$ ) yaklaşık %75'lere düşürmektedir. Perde duvar aynı şekilde dört eşit parçaya bölündüğünde ise perde duvarlar tarafından taşınan taban kesme kuvveti yaklaşık %66 seviyelerine düşmektedir. Perde duvar oranı %1.67'ye çıkarıldığında dört katlı bina için tek perde duvar, toplam taban kesme kuvvetinin %96'sını taşırken, perde duvar iki eşit parçaya bölündüğünde bu oran %92'ye, dört eşit parçaya bölündüğünde ise %83'e düşmektedir. Perde duvarın büyüklüğü taşınan kesme kuvvetini doğrudan etkilemektedir.

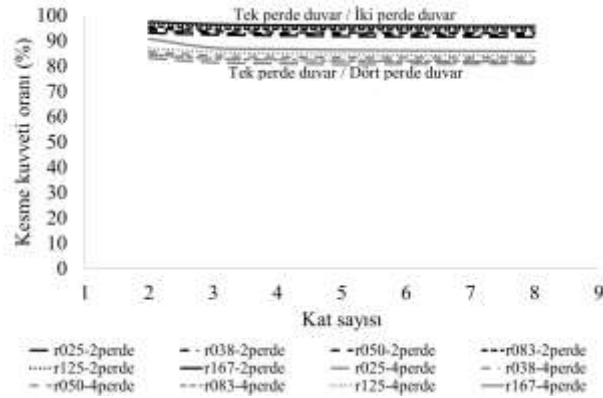
Perde duvarların taşıdığı kesme kuvvetlerinin perde duvar konumu ile olan ilişkisi incelendiğinde, bina merkezine yerleştirilen perde duvarların daha fazla kesme kuvveti aldıkları görülebilir (Şekil 6). Dört perde duvarlı modellerden daha iyi görüleceği üzere perde duvarlar bina merkezine yakın yerleştirilmeleri durumunda daha fazla taban kesme kuvvetine maruz kalmaktadır. Bina köşelerine perde duvarlar yerleştirildiğinde perde duvar etkinliği önemli oranda düşmektedir. Bu durum perde duvarların taşıdığı momentlerden farklıdır. Bunun sebebi olarak, devrilme momentlerine maruz kalan sistemlerde en büyük eğilme gerilmelerinin merkezden en uzak noktalarda oluşması gösterilebilir. Aynı şekilde kesme kuvvetlerine maruz kalan sistemlerde en büyük kesme gerilmeleri merkezde oluşmaktadır. Dolayısıyla elde edilen sonuçların olağan sonuçlar olduğu belirlenmiştir.

Şekil 7, perde duvar oranı sabit tutularak perde duvarın ikiye ve dörde bölünmesi durumunda perde duvarlar tarafından taşınan toplam kesme kuvvetinin tek perde duvarın taşıdığı kesme kuvvetine oranını göstermektedir. Şekilden görüleceği üzere perde duvar oranı sabit tutulup perde duvar sayısı artırıldığında perde duvarlar tarafından taşınan kesme kuvveti perde duvarın her konumu için azalmaktadır. Perde duvar kalınlığı, bir başka deyişle perde duvar oranı, artırıldığında taşınan kesme kuvvetinin arttığı, fakat taşınan kesme kuvvetinin perde duvar sayısı dikkate alındığında aynı oranlarda değiştiği görülebilir.

Bunlara ilave olarak grafiklerden görüleceği gibi, kat sayısındaki artış ile beraber  $V_{sw}/V_t$  değerinde %3-%6 oranında bir düşüş gözlenmektedir. Sonuç olarak perde duvar alanı sabit tutulup boyu kısaltılarak sayısı artırıldığında perde duvar taban kesme kuvvetinin azaldığı, bu azalma miktarının kat sayısından çok az etkilendiği söylenebilir.



Şekil 6. Perde duvarların taşıdığı kesme kuvvetinin perde sayısına göre değişimi



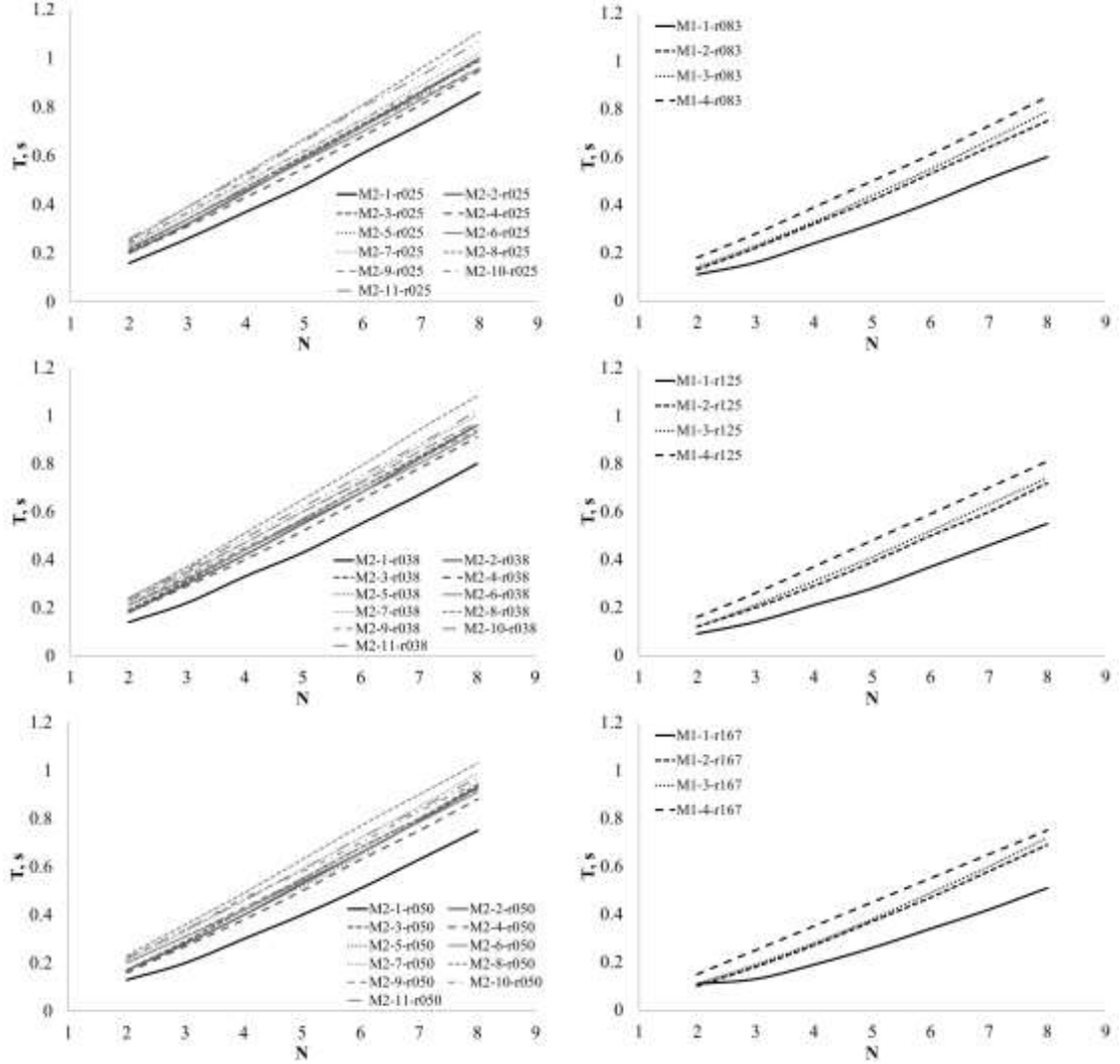
Şekil 7. Perde duvar sayısının taşınan kesme kuvvetine etkisi

### 3.3. Perde duvar ile periyot ilişkisi

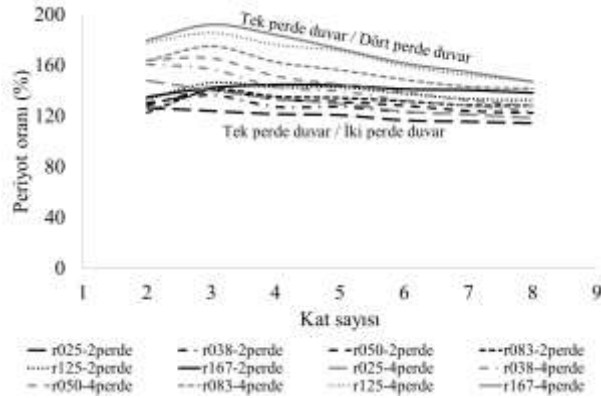
Perde duvarların uzun kenarlarının kısa kenarlarına oranı büyük olduğundan bu elemanlar kolonlara göre oldukça rijittir. Perde duvarların bu özellikleri onları deprem yükleri için vazgeçilmez kılmaktadır. Görüleceği üzere aynı alana sahip perde duvarları tek parça kullanmak yapıya önemli bir rijitlik katkısı sağlayacağından yapının periyotunda düşüşü beraberinde getirmektedir (Şekil 8). Perde duvar alanı sabit tutulup sayısı arttırıldığında rijitlik kaybı yaşanacağından periyotlarda artış görülmektedir (Şekil 9). Şekillerden görüleceği üzere iki ve dört perde duvarlı modellerin periyotları tek perde duvarlı model

periyodundan ayrılarak üstte kümelenmiştir. Şekillerden ayrıca kat sayısının artması ile periyodun yaklaşık linear olarak arttığı da görülebilir. Yapıda doğrusal olmayan davranış dikkate alınmadığından periyodun yükseklik ile değişmesi olağan olmaktadır.

Şekillerde farklı perde duvar oranlarında periyodun nasıl değiştiği de gözlenebilmektedir. Perde duvar oranı arttıkça, yapı rijitliğinin arttığı ve bunun sonucu olarak da periyodun azaldığı görülebilir. Perde duvarların bölünmesi durumunda merkeze yakın yerleştirilmeleri ile (iki perde duvarlı modellerde M2-4, dört perde duvarlı modellerde M2-6 ve M2-9) rijitliğin daha fazla artacağı ve periyodun diğer modellerden daha düşük elde edilebileceği belirlenmiştir.



Şekil 8. Periyodun kat sayısı ve perde duvar sayısına göre değişimi.



Şekil 9. Perde duvar sayısının periyoda etkisi

### 3.4. Perde duvar ile tepe deplasman ilişkisi

Deprem esnasında taşıyıcı sistemlerin deplasman ve görelî kat ötelemeleri oldukça önemlidir. 2007 Deprem Yönetmeliği'ne göre görelî kat öteleme değerinin % 2 değerini geçmemesi gereklidir. 2018 Deprem Yönetmeliği'nde ise betonarme binalar için izin verilen görelî kat öteleme oranı  $0.8/\lambda$  şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $\lambda$  katsayısı, binanın göz önüne alınan deprem doğrultusundaki hâkim titreşim periyodu için DD-3 deprem yer hareketi için hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesinin, DD-2 deprem yer hareketinin için hesaplanan elastik tasarım spektral ivmesine oranı olarak verilmektedir.

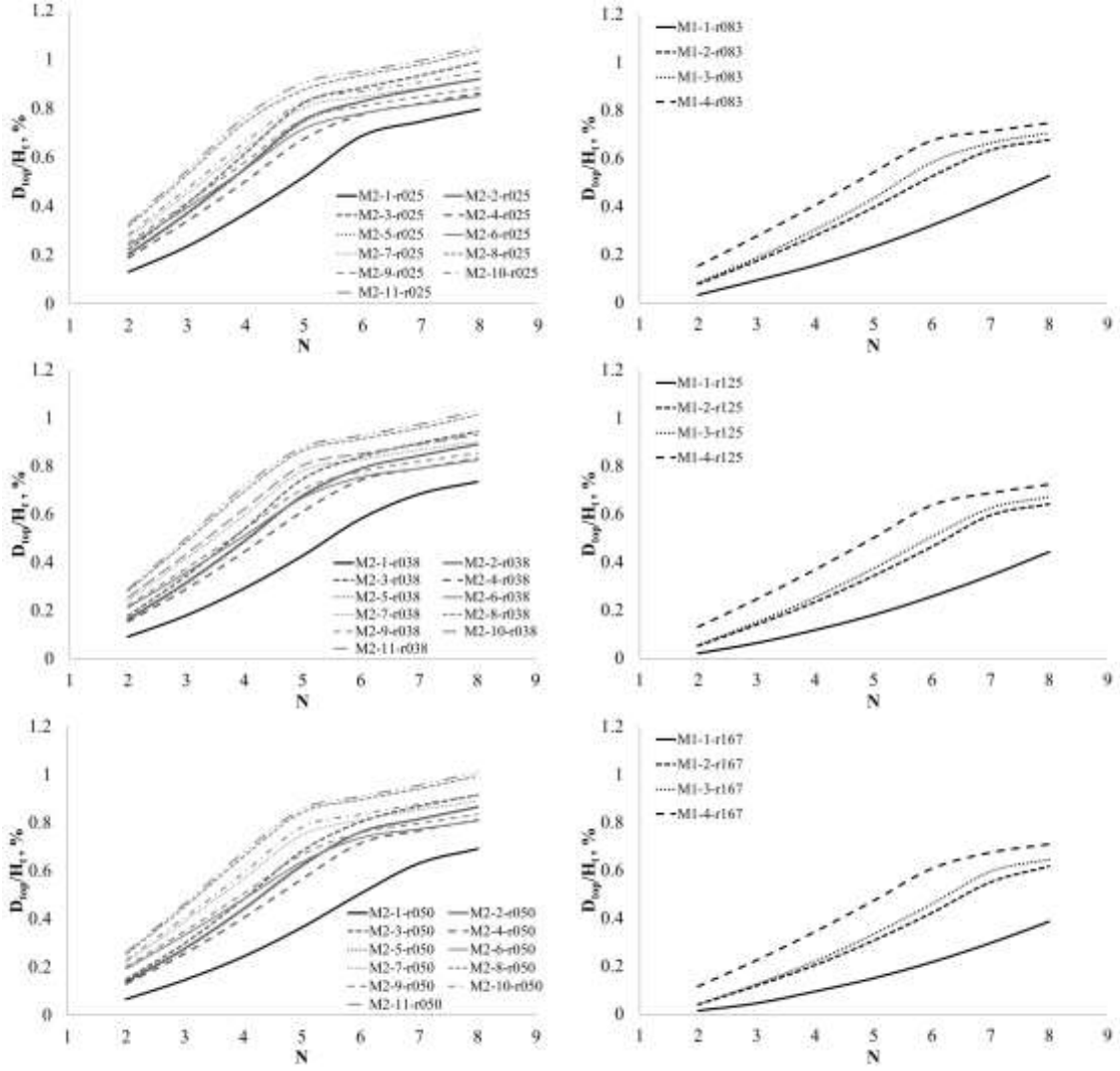
Şekil 10'da verilen grafiklerde tepe deplasmanın ( $D_{top}$ ) bina yüksekliğine ( $H_t$ ) oranının kat sayısı, perde duvar sayısı ve perde duvar oranı ile ilişkisi verilmektedir. Şekillerden görüleceği üzere tek perde duvarlı modelin iki perde duvarlı modele, onun da dört perde duvarlı modele göre  $D_{top}/H_t$  değerleri daha düşük seviyededir. Yapı yüksekliği arttıkça perde duvar etkinliği düşmekte ve modellerin tepe deplasmanları büyümekte fakat tepe deplasman oranları düşmektedir. Örneğin %0.25 perde duvar oranına sahip modellerde tek perde duvarlı 2 katlı modelde tepe deplasman 0.78 cm iken, 4 perde duvarlı modelde 1.97 cm olmakta (oran 2.53), tek perde duvarlı 8 katlı modelde tepe deplasman değeri yaklaşık 19.1 cm iken bu değer dört perde duvarlı sistemde 25.4 cm'ye kadar çıkmaktadır (oran 1.33). Buradan, perde duvar alanı sabit tutulup perde duvar sayısı artırıldığında, bir başka deyişle daha kısa fakat daha fazla sayıda perde duvar oluşturulduğunda, perde duvar rijitliği azaldığından tepe deplasmanlarda artış olduğu sonucuna varılabilmektedir.

Perde duvar oranının (perde duvar alanının bina taban alanına oranı) artması ile tepe deplasmanların azalması beklenmektedir. Perde duvar oranı 0.25 ile 0.50 olan modeller kıyaslandığında perde duvar oranının 2 katına çıkarılması ile maksimum tepe deplasmanda yaklaşık %15 oranında bir düşüş görülmüştür (Şekil 10). Deplasman farkının 2 ve 3 katlı yapılarda perde duvar oranı farkından çok etkilenmediği, kat sayısının artışı ile bu farkın önemli hale geldiği söylenebilir.

Perde duvarların sisteme kattıkları rijitlikler bina periyodunu ve nihayetinde binaya etkileyen yatay deprem yüklerini etkilemektedir. Perde duvarların düşük rijitlik katkısı verdiği modellerde (%0.25 perde duvar oranı, iki veya dört perde duvarlı modeller) belirli kat seviyelerinden sonra periyotlardaki büyük artışlar neticesinde yapıya daha az deprem yükü etkilemekte ve bu durum  $D_{top}/H_t$  değerlerinde ani düşüşlere yol açmaktadır. Perde duvarların büyük rijitlik katkısı verdiği modellerde nispeten daha orantılı  $D_{top}/H_t$  değerleri elde edilmiştir.

Perde duvarların konumlarının tepe deplasman oranlarına etkisi incelendiğinde bir önceki bölümde gözlenen rijitlik katkısının burada da etkili olduğu ve perde duvarların merkeze yerleştirilmeleri ile daha etkin rijitlik katkısı vererek en düşük tepe deplasman değerleri elde edilebileceği belirlenmiştir.



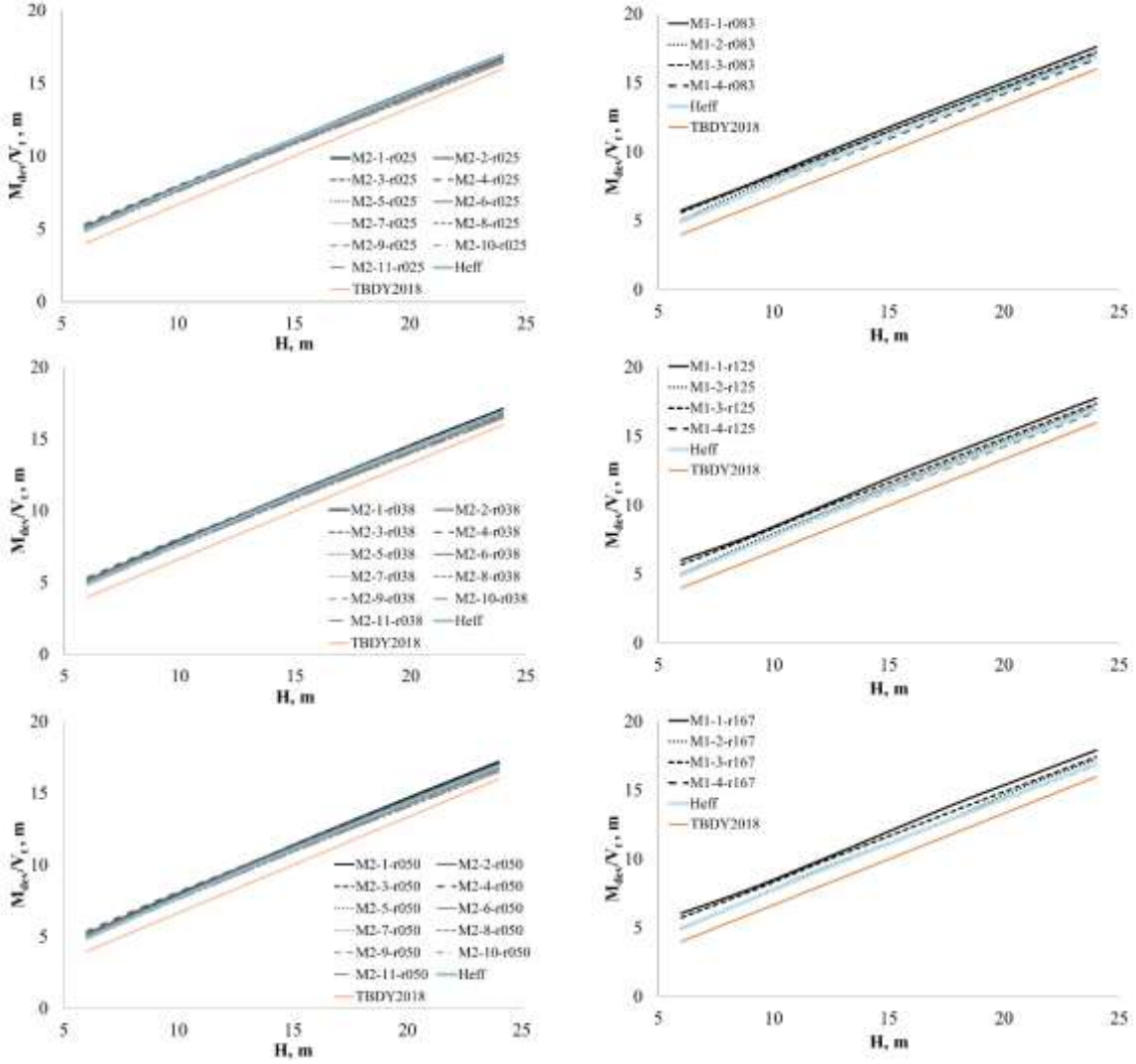


Şekil 10.  $D_{top}/H_t$  oranının perde duvar sayısı, yerleşimi ve kat sayısı ile değişimi.

### 3.5. $M_{dev}/V_t$ ve yapı yüksekliği ilişkisi

Binadaki toplam taban devrilme momenti ( $M_{dev}$ ) ile toplam taban kesme kuvveti ( $V_t$ )'in oranının aynı perde duvar alanına fakat farklı perde duvar sayısına sahip sistemlerde hangi oranda değiştiği Şekil 11'de incelenmiştir. Şekillerden görüleceği üzere tek, 2 ve 4 perdeli sistemlerin tümü için aynı lineer ilişki ortaya çıkmıştır. Bilindiği üzere deprem yükünü hesaplamada basit bir yöntem olarak gösterilen eşdeğer deprem yükü metodunda bile yapıya etkileyen momenti bulmak birkaç adım sürebilmektedir. Ancak Şekil 11 dikkatlice incelendiğinde grafiğin eğiminin yapının efektif yüksekliğini, bu efektif yükseklik ile taban kesme kuvvetinin çarpımının da devrilme momentini verdiği görülecektir. 315 farklı modelin sonuçlarından efektif yüksekliğin (taban kesme kuvvetinin bina yüksekliği boyunca etkilediği hayali nokta) Eş. 4 ile (grafiklerde mavi çizgiler) temsil edilebileceği görülmüştür. TBDY2018'de verilen eşdeğer deprem yükü yönteminde katlara etkileyen deprem yüklerinin yaklaşık üçgensel dağıldığı (baskın titreşim modunda bütün katların aynı doğrultuda deplasman yapacakları varsayımı sebebi ile), üst katlarda fazla alt katlarda daha az deprem yükünün oluştuğu, bu durumda taban kesme kuvvetinin hayali noktasının zeminden itibaren  $2/3H$  yüksekliğinde olduğu dolaylı olarak belirtilmektedir [20] (Şekil 11, turuncu çizgiler). Eş. 4 ile TBDY2018 arasında küçük farklar olduğu, Eş.4'ün güvenlik seviyesinin nispeten daha fazla olduğu görülebilir.

$$H_{eff} = H^{0.89} \quad (4)$$

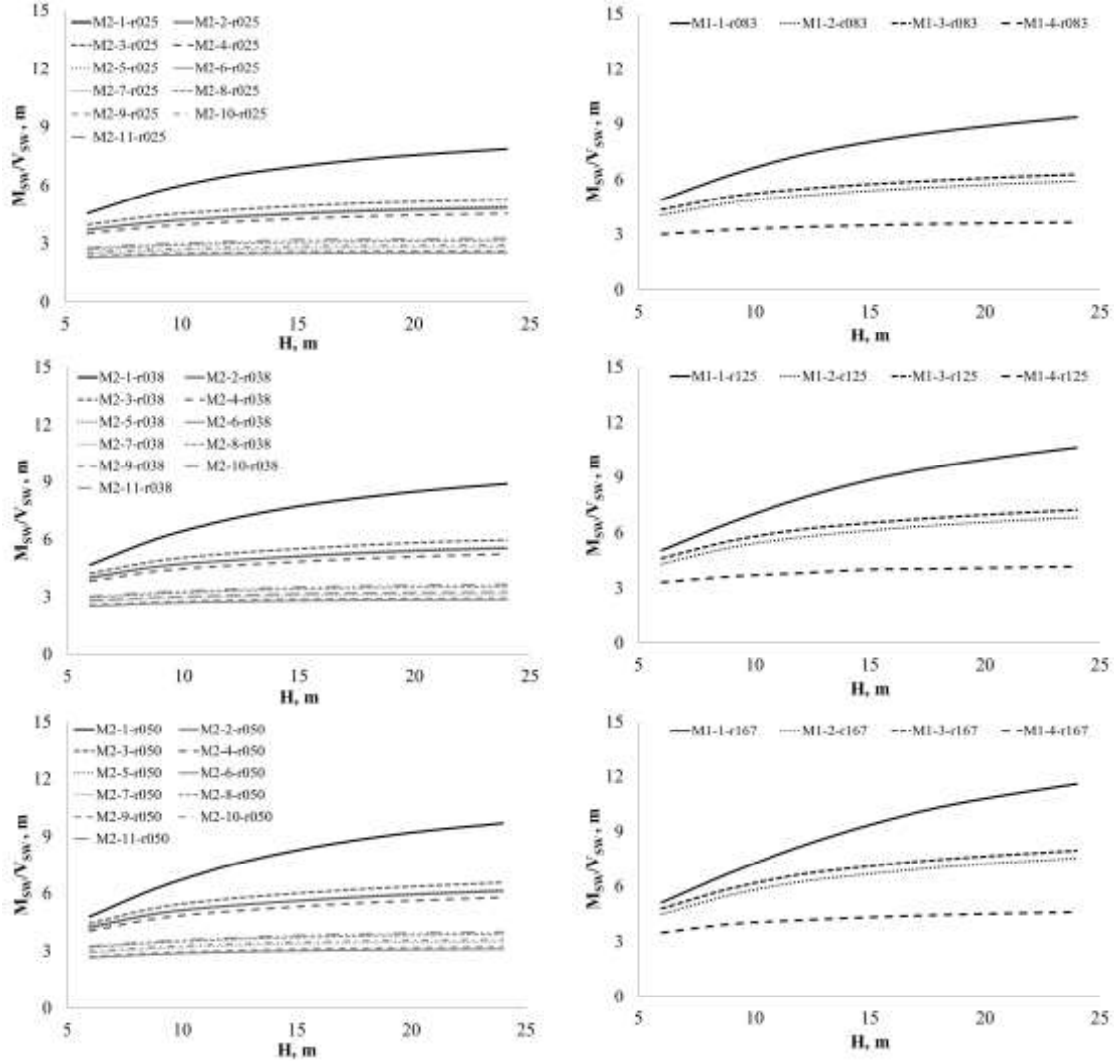


Şekil 11.  $M_{dev}/V_t$ 'in yükseklik ile ilişkisi ve efektif yükseklik.

### 3.6. $M_{sw}/V_{sw}$ ve yapı yüksekliği ilişkisi

Bir önceki bölümde yapının tabanında meydana gelen toplam devrilme momentinin toplam taban kesme kuvvetine oranının bütün perde duvar oranları için aynı olduğu ve kat yüksekliği ile lineer değiştiği söylenmişti. Perde duvarların tabanındaki toplam devrilme momentlerinin perde duvarların tabanındaki taban kesme kuvvetine oranının kat yüksekliği ile değişimi Şekil 12'deki grafiklerde verilmektedir. Grafiklerden görüleceği üzere perde duvarı tek parça halinde merkezde kullanmak en büyük  $M_{sw}/V_{sw}$  değerlerini verirken perde duvar oranını sabit tutup sayısı ikiye çıkarıldığında değerler yaklaşık 1.5 kat düşmekte, perde duvar sayısı dörde çıkarıldığında ise düşüş 2.5 kat civarında olmaktadır. Bu durum perde duvar oranı sabit tutulup sayısı artırıldığında perde duvarların etkinliğinin azaldığına işaret etmektedir.  $M_{sw}/V_{sw}$  için hesaplanan düşüşler kat yüksekliği azaldıkça azalmaktadır. Kat yüksekliği azaldıkça devrilme momentleri ve tepe deplasmanlar azalacağı için perde duvarlar daha az zorlanacaktır.

Aynı perde duvar oranı için perde duvar sayısının artırılması ile  $M_{sw}/V_{sw}$  değerlerinin kat yüksekliği ile pek fazla değişmediği yine grafiklerden görülebilir. İki perde duvarlı sistemlerde  $M_{sw}/V_{sw}$  değerlerinin kat yüksekliği ile çok az değiştiği, dört perde duvarlı sistemlerde ise düşük perde duvar oranlarında hemen hemen hiç değişmediği, perde duvar oranı arttıkça değişimin görüldüğü fakat çok düşük seviyelerde kaldığı gözlenmiştir.



Şekil 12.  $M_{sw}/V_{sw}$ 'in yükseklik ile ilişkisi.

#### 4. Sonuçlar

Günümüzde betonarme binaların güçlendirmesinde perde duvarlar yaygın olarak kullanılmakta, binalar için gerekli perde duvar oranları ya bina taban alanı ya da toplam alan ile ilişkili bir şekilde verilmektedir. Ancak güçlendirme esnasında kullanılacak perde duvar miktarı ve yerleşim yeri ile ilgili pratik bir formül öne sürülmemiş olup, güçlendirme esnasında perde duvarlar bilgisayar programları kullanılarak deneme yanılma yoluyla hesaplanıp yerleştirilmektedir. Bu da güçlendirme projesi yapan mühendisler için zaman kaybına sebep olmaktadır.

Yapılan bu çalışmada iki farklı kat alanına, üç farklı perde duvar oranına ve yedi farklı kat sayısına sahip 315 model üzerinde yapılan analizler neticesinde kesme kuvveti, moment, yapı periyodu ve tepe deplasmanlar elde edilmiştir.

Perde duvarların yapıda güçlendirme elemanı olarak kullanılma amacı sahip oldukları yüksek rijitliktir. Aynı perde duvar alanına sahip bir yapıda, perde duvarın iki veya dört parçaya bölünerek yerleştirilmesi durumunda perde duvarlar tarafından taşınan momentte azalma olduğu, azalan bu momentlerin kapasitesi yetersiz mevcut kolonlar tarafından taşınacağı görülmüştür. Perde duvarların çok parçalı kullanılması sonucunda boylarındaki azalma sebebiyle rijitlikleri çok fazla düştüğünden moment etkinliklerinde düşüş gözlenmiştir. Yapılan analizlerde tek perde duvarlı sistemin iki eşit parçaya bölünmesi ile perde duvarlar tarafından taşınan momentin %20-%25, dört eşit parçaya bölünmesi ile %50 oranında düşüş gösterdiği gözlemlenmiştir.

Perde duvarlar tarafından taşınan kesme kuvveti de tıpkı momentte olduğu gibi perde duvar sayısından etkilenmektedir. Perde duvarları aynı alana sahip olacak şekilde parçalara bölerek

yerleştirmek perde duvarın kesme kuvveti etkinliğinde düşüşe sebep olmuştur. Yapılan analizlerde perde duvarın kesme kuvveti etkinliğinin iki eşit parçaya bölünmesiyle %6-%8, dört eşit parçaya bölünmesiyle %10-%22 oranında düştüğü gözlemlenmiştir.

Dört perde duvarlı modeller üzerinde yapılan analizler neticesinde perde duvarların bina merkezine yakın yerleştirilmesi durumunda kesme kuvveti etkinliğinin arttığı, binanın dış kısımlarına yerleştirilmesi durumunda ise daha fazla moment taşıyacakları gözlemlenmiştir.

Perde duvarlar sahip oldukları yüksek rijitlikleri sayesinde yapının ötelenmesini önemli ölçüde azaltmaktadır. Yapının ötelenmesinin düşmesi sonucu yapı periyodunda düşüş gözlemlenmiştir. Analizlerde tek perde duvarlı sistem periyodunun iki ve dört perde duvarlı sisteme göre daha az olduğu görülmüştür. Deprem esnasında taşıyıcı sistemlerin deplasman ve görelî kat ötelemeleri oldukça önemlidir. Tepe deplasmanlar kıyaslandığında; tek perde duvarlı modelin iki perde duvarlı modele, iki perde duvarlı modelin ise dört perde duvarlı modele göre daha az olduğu belirlenmiştir. Buradan perde duvar oranı sabit tutulup perde duvar sayısı artırıldığında rijitliğin düşmesi sebebi ile tepe deplasmanlarda artışlar gözlenmiştir. Ayrıca perde duvar oranının iki katına çıkarılması tepe deplasmanda yaklaşık %15'lik bir düşüşü de beraberinde getirmiştir. Ancak iki ve üç katlı yapılarda deplasmanın perde duvar oranına bağlı olarak çok fazla değişmediği görülmüştür.

Analizlerde tek, iki ve dört perde duvarlı sistemlerin tümü için  $M_{dev}/V_t$  değerinin aynı lineer ilişkiye sahip olduğu belirlenmiştir.  $M_{dev}/V_t$  ilişkisi efektif yükseklik olarak nitelendirilmekte ve bu çalışma kapsamındaki analizler neticesinde  $H_{eff}=H^{0.89}$  olarak bulunmuştur. Basit bir yöntem olan eşdeğer deprem yükü metodunda yapıyı etkileyen momentin birkaç adımda elde edilebildiği bilinmektedir. Ancak önerilen  $H_{eff}$  ile taban kesme kuvvetinin çarpımı neticesinde yapının devrilme momenti kolayca elde edilebilecektir.

## Teşekkür

Bu çalışma Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2018-7232 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit katkı vermiştir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynakça

- [1] AFAD, 2014. [https://www.afad.gov.tr/upload/Node/17944/xfiles/mudahale\\_-iyilestirme-ve-sosyoekonomik-acidan-2011-van-depremi-raporu\\_2\\_.pdf](https://www.afad.gov.tr/upload/Node/17944/xfiles/mudahale_-iyilestirme-ve-sosyoekonomik-acidan-2011-van-depremi-raporu_2_.pdf) Müdahale İyileştirme ve Sosyoekonomik Açından 2011 Van Depremi, AFAD, Ankara, Turkey. (Erişim tarihi: 10.12.2018).
- [2] Erdil B. 2016. Why RC buildings failed in the 2011 Van, Turkey, Earthquakes: construction versus design practices. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31 (3): 04016110.
- [3] Sezen H., Whittaker A.S., Elwood K.J., Mosalam K.M. 2003. Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey. *Engineering Structures*, 25 (1): 103-114.
- [4] Akansel V., Ameri G., Askan A., Caner A., Erdil B., Kale Ö., Okuyucu D. 2014. The 23 October 2011 Mw=7.0 Van (Eastern Turkey) Earthquake: Interpretations of Recorded Strong Ground Motions and Post-Earthquake Conditions of Nearby Structures. *Earthquake Spectra*, 30 (2): 657-682.

- [5] Wallace J.W. 2012. Performance of structural walls in recent earthquakes and tests and implications for US building codes. In Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering.
- [6] Aktan S., Kıraç N. 2010. Betonarme binalarda perdelerin davranış etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23 (1):15-32.
- [7] Kazaz I. 2016. Seismic deformation demands on rectangular structural walls in frame-wall systems. Earthq. Struct, 10 (2): 329-350.
- [8] Wallace J.W. 1995. Seismic design of RC structural walls. Part I: new code format. Journal of Structural Engineering, 121 (1): 75-87.
- [9] Yakut A., Soydaş O. 2010. Evaluation of shear wall indexes for RC buildings. In 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, p. Paper (No. 371).
- [10] Burak B., Comlekoglu H. G. 2013. Effect of shear wall area to floor area ratio on the seismic behavior of reinforced concrete buildings. Journal of Structural Engineering, 139 (11): 1928-1937.
- [11] Yurdakul O., Tunaboyu O., Avşar O. 2014. Effects of shear wall ratio on the seismic behavior of buildings having inadequate seismic resistance. 10th US National Conference on Earthquake Engineering (10NCEE) at: Anchorage, Alaska, USA
- [12] Sozen M. 2001. As simple as it gets: The Anatolian formula for earthquake resistant design. Türkiye İnşaat Mühendisliği 16. Teknik Kongresi, Turkish Chamber of Civil Engineers, Ankara, Turkey.
- [13] Ersoy U. 2013. A simple approach for preliminary design of reinforced concrete structures to be built in seismic regions. Teknik Dergi Digest, 24 (120): 1701-1715.
- [14] Öztürk D., Nuhoglu A., Bozdoğan K.B. 2005. Betonarme yapılarda beton sınıfının taşıyıcı sistem davranışına etkisi. Deprem Sempozyumu. 23-25 Mart 2005, Kocaeli, Türkiye. 506-511.
- [15] Uçar T., Merter O. 2009. Planda perde yerleşiminin betonarme perde-çerçeve binaların deprem davranışına etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11 (2): 11-18.
- [16] Yoichi Higashi T.E., Ohkubo M., Shimizu Y. 1980. Experimental study on strengthening reinforced concrete structure by adding shear wall. In Proc. of the World Conf. on Earthquake Eng., Turkey, 7: 173-180.
- [17] Yılmaz Ü., Arslan M., Kaltakçı M. 2010. Betonarme dış perde duvarla güçlendirilmiş çerçevelerin dayanım parametrelerinin deneysel ve analitik yöntemlerle irdelenmesi. TÜBAV Bilim Dergisi, 3 (1): 11-22.
- [18] Ugalde D., Lopez-Garcia D. 2020. Analysis of the seismic capacity of Chilean residential RC shear wall buildings. Journal of Building Engineering, 31: 101369.
- [19] Cando M.A., Hube M.A., Parra P.F., Arteta C.A. 2020. Effect of stiffness on the seismic performance of code-conforming reinforced concrete shear wall buildings. Engineering Structures, 219: 110724.
- [20] TBDY2018. Deprem etkisi altında binaların tasarımı için esaslar. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara, Türkiye.
- [21] Erdil B. 2017. Dikdörtgen kesitli betonarme perde duvarların taşıma gücü momenti hesabı için basit bir yaklaşım. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23 (3): 209-220.
- [22] Computers and Structures Inc. (CSI) SAP2000 "Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three-Dimensional Structures". Version 14, Berkeley, CA.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Investigation of Cloud Computing Based Big Data on Machine Learning Algorithms**

Muhammed YILDIRIM\*, Ahmet ÇINAR, Emine CENGİL

*Firat University, Department of Computer Engineering, 23100, Elazığ, Turkey  
(ORCID: 0000-0003-1866-4721) (ORCID: 0000-0001-5528-2226) (ORCID: 0000-0003-4313-8694)*

---

### **Abstract**

Cloud computing technology is a model that allows access to a common pool of configurable computing resources whenever and wherever. With the developing technology, the use of this model is increasing day by day. There are many benefits of cloud computing to its users. The data that users keep in their data sets is the simplest example of this. With the cloud technology, the size of the data stored in databases is also increasing. For this reason, cloud technology and big data concepts are intertwined due to the large amount of data stored in databases. It is of great importance that the obtained data is evaluated by machine learning methods and produces results that can be used for technical and commercial purposes. In this study, first of all, cloud technology, the big data brought by this technology and the classification of these data with machine learning methods and algorithms have been examined. Then the studies in the literature were evaluated.

**Keywords:** Big Data, Cloud Computing, Resource Allocation, Machine Learning.

---

## **Bulut Bilişim Tabanlı Büyük Verilerin Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile İncelenmesi**

---

### **Öz**

Bulut bilişim teknolojisi, yapılandırılabilir bilişim kaynaklarından oluşan ortak bir havuza, istenildiği zaman ve her yerden erişme imkânı veren bir modeldir. Gelişen teknolojiyle birlikte bu modelin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bulut bilişimin kullanıcılarına sunduğu birçok fayda mevcuttur. Kullanıcıların veri setlerinde tuttuğu veriler bunun en basit örneğidir. Bulut teknolojisiyle birlikte veri tabanlarında tutulan verilerin boyutu da artmaktadır. Bu sebeple veri tabanlarında tutulan yüksek miktardaki veriler yüzünden bulut teknolojisi ile büyük veri kavramları iç içe girmiş durumdadır. Elde edilen verilerin makine öğrenmesi yöntemleriyle değerlendirilmesi teknik ve ticari amaçlarla kullanılabilir şekilde sonuçlar üretmesi büyük bir önem arz etmektedir. Bu çalışmada öncelikle bulut teknolojisi, bu teknolojinin getirmiş olduğu büyük veriler ve bu verilerin makine öğrenmesi yöntemleri ve algoritmaları ile sınıflandırılması incelenmiştir. Daha sonra literatürde yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Büyük Veri, Bulut Bilişim, Kaynak Tahsisi, Makine Öğrenmesi.

---

### **1. Introduction**

In this study, cloud computing and the accompanying big data, and the interpretation of these data with machine learning methods were examined. Cloud computing technologies enable users to access vast amounts of data [1]. In addition, it enables the storage of large amounts of data in data sets. However, this information kept in data sets does not make sense after it is processed and the necessary inferences are not made. With the developing technology, it is of great importance that these data kept in data sets are processed and benefit institutions, companies or users. Machine learning methods can be used to process these large data sets that come with cloud technology [2]. There are more than one machine learning method in the literature [3]. Processing big data already lies in the logic of the machine learning

---

\*Corresponding author: [yldrm23@hotmail.com](mailto:yldrm23@hotmail.com)

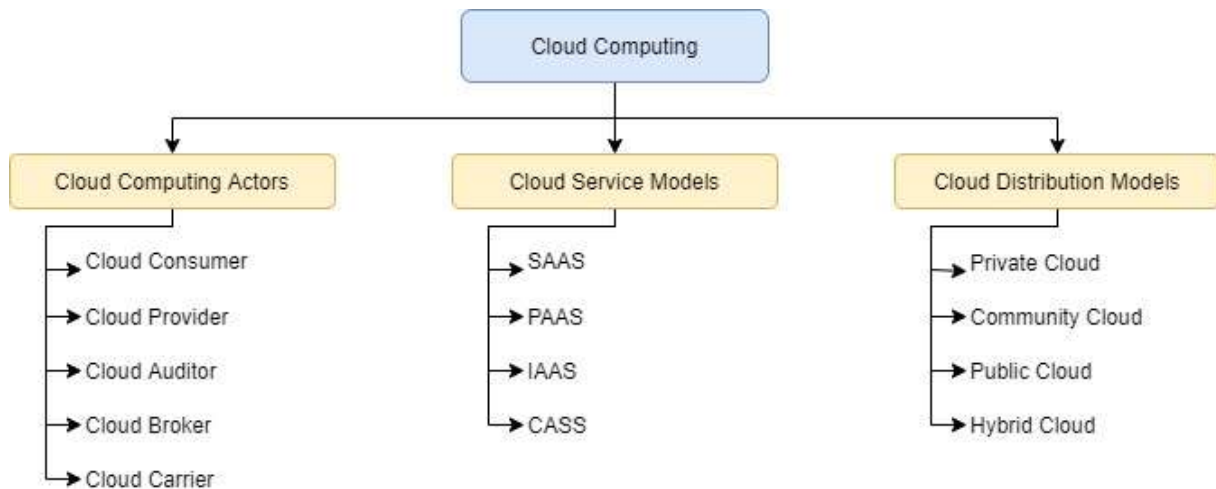
Received: 15.03.2021, Accepted: 16.05.2021

method [4]. Steps such as keeping the customer more on the site by processing the data stored on an e-commerce site, recommending products to the customer, encouraging the customer to shop more can be given to the processing of the data. This process allows the e-commerce site to gain more [5]. This data that can be processed will now become a meaningful data for the e-commerce site. Otherwise, these data will not make sense.

In this study, cloud computing and its sub-titles, machine learning methods used in cloud computing, and later studies conducted with machine learning methods in cloud technology in the literature are presented. In the last part, the title of results and the studies planned to be done in the future are mentioned.

## 2. Cloud Computing

Cloud computing is a widely used service-based technology that enables users to access data at a lower cost and faster, maintains this data, uses the internet and central servers to process and use it [6]. More than one definition is used in cloud computing [7]. Cloud computing can be defined briefly as a technology that allows access to a common pool of configurable computing resources, at any time and from anywhere [8]. Cloud computing is a technology that includes many services, platforms and infrastructures. The cloud computing platform must contain some features. The first of these is that cloud technology should be able to determine the resources according to the need. In other words, the user should be able to update the server processing time and storage space at any time. The cloud computing platform should allow wide network access according to the needs [9]. The user should be able to easily access from devices such as computers and phones. It is another desired feature of the cloud computing platform to be scalable. In addition, the cloud computing platform's resource pooling and providing instant flexibility are very important criteria [10]. Cloud computing and its subtitles are roughly shown in Figure 1.



**Figure 1.** Cloud computing and main components

### 2.1. Cloud Computing Actors

In general, 5 main actors are focused on in cloud computing. These are Cloud Consumer, Cloud Provider, Cloud Auditor, Cloud Broker and Cloud Carrier [11].

#### 2.1.1. Cloud Consumer

The cloud consumer is the stakeholder supported by the cloud computing service. Cloud consumer represents an individual or business using the cloud service. Cloud consumer can be roughly defined as the beneficiary of the cloud service. The cloud consumer can get his / her preferred service from the services offered by the cloud provider and these services are subject to the contract they have made with the service provider [12].

### **2.1.2. Cloud Provider**

The cloud provider is obliged to maintain the continuity of the services, especially the security and confidentiality of these services, by managing the required software, platform and infrastructure services. The cloud provider can be in an entity used by an individual, organization, or consumers [13].

### **2.1.3. Cloud Auditor**

Cloud auditor are controllers that can connect to cloud services and control these service providers by considering criteria such as security, privacy and performance. These auditors can be third party persons or organizations [14].

### **2.1.4. Cloud Broker**

Due to the developing technology, users cannot directly contact the cloud computing service provider. Instead, it communicates with a cloud agent. The cloud agent is an entity that regulates the relationship of cloud services between the user and the cloud provider, increasing performance and availability [15].

### **2.1.5. Cloud Carrier**

Cloud carrier performs connections and transfers between cloud providers of cloud services and cloud users. It provides software installation in the cloud infrastructure, software management, maintenance and support of these software [16].

## **2.2. Cloud Service Models**

### **2.2.1. SAAS**

It refers to the users' ability to connect and use internet-based applications remotely. These applications are based on pay-as-you-go logic. Applications such as social networks, office programs, e-mail, calendars can be given as examples [17].

### **2.2.2. PAAS**

It is a cloud environment that allows to deploy everything from simple-based applications to advanced applications in cloud computing. Programming languages, frameworks, structural data can be given as examples. This platform is based on pay-as-you-go logic [18].

### **2.2.3. IAAS**

It is known as the virtual infrastructure manager. It is an instant information processing infrastructure that is provided and managed over the Internet. It is roughly known as the virtual infrastructure manager. Examples include compute server, firewall, load balancer, and data storage[19].

### **2.2.4. CAAS**

The cloud server hosts an image taken from the user and allows the user to use it from anywhere. This brings a scalable advantage to the user [20]. An example of this is Google Cloud Run.

## **2.3. Cloud Distribution Model**

Private cloud, community cloud, public cloud, hybrid cloud are the most well-known computing distribution models [21].



**2.3.1. Private Cloud**

An organization, institution, company or user has its own cloud infrastructure built on its own data centers and offers its own services. In this way, users can manage their own security and privacy policies. This model is not available to everyone. It belongs to the institution, organization or user. It only serves its own users [22].

**2.3.2. Community Cloud**

It is the process of sharing cloud services by more than one institution or organization. These communities open their data center's to common use and use existing services together. Thus, resources are shared with less cost. Community clouds are often related to each other [23].

**2.3.3. Public Cloud**

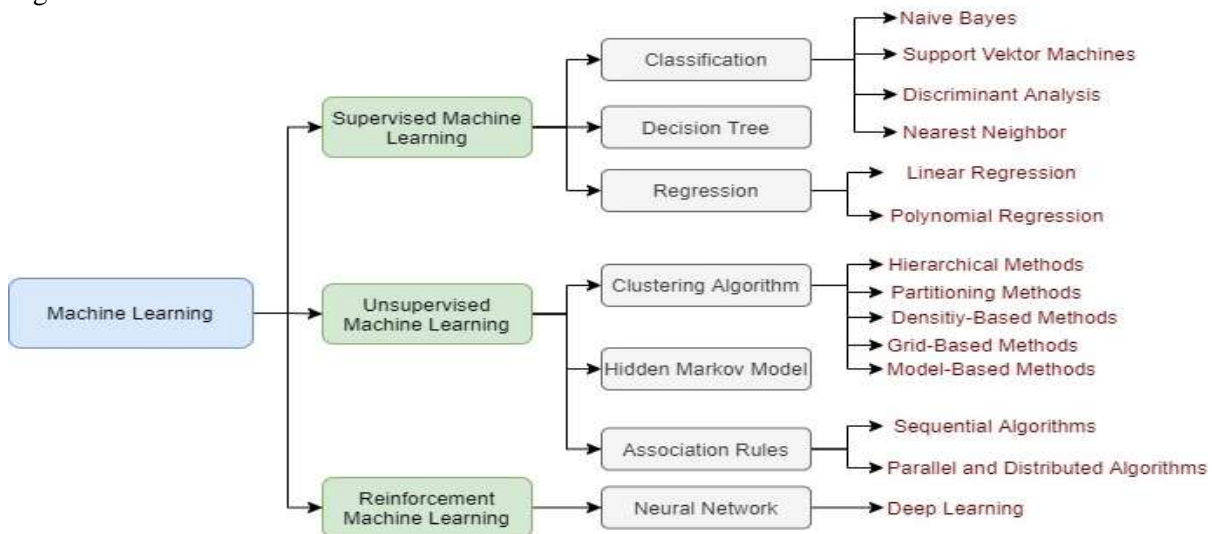
This cloud, which is accepted as a standard, offers application and infrastructure services to users by a third party cloud provider. It is possible for more than one user to access the services offered here. Since all services such as hardware and infrastructure are provided by the service provider, it is easier and less expensive to install than other cloud models. This cloud model is charged by the amount used by the user [24].

**2.3.4. Hybrid Cloud**

They are structures where at least 2 cloud models are used together. This cloud model is intended to work together with cloud-based systems brought together. With this cloud model, a more flexible working platform is provided. The main goal here is to provide a better cloud service [25].

**3. Cloud Computing and Machine Learning**

It has become an important issue to examine the data in the big data sets coming with cloud computing with machine learning methods [26]. It is of great importance to process these data in public and commercial areas. These data are of great importance in the public and private sector. Considering this for an e-commerce site, it is a big problem that a customer makes inferences from which product he is looking at, recommends other products to the customer accordingly, and also keeps the customer on the site. Big data, cloud computing systems and machine learning methods will increase both production efficiency and sales capacity and provide a great decrease in costs [27]. Due to all these features, machine learning methods can be used to process this data. Machine learning is roughly as given in Figure 2.



**Figure 2.** Machine learning approaches

### 3.1. Supervised Machine Learning

The basic logic of supervised machine learning is the learning of the network by giving sample data to the network. The trained network is required to produce the closest result to the desired value for the new inputs that will come later [28]. This process is roughly given in equation 1.

$$Y = f(X) \quad (1)$$

$X$ : input values,  $Y$ : output values

It is possible to categorize supervised machine learning in 3 classes.

#### 3.1.1. Classification

It is the process of separating these data into categories by making a conclusion from the data observed with the machine learning algorithm and determining which category belongs to the new data that will come later. This method can be used if it is desired to categorize the roughly used data. The number of classes is not important here, the important thing is that the data is labelled [29]. The label refers to the class of the data. With the developing technology, there are more than one classification method currently used [30]. The most known methods are given in figure 2.

**Naive Bayes:** The naive bayes classification, which is a statistical classification method, is based on the bayes theorem in statistics. The probability of whether the available data belongs to the specified classes is evaluated. It contains the logic of probabilistic calculation of the effect of each criterion of the data on the result. Naive Bayes method is frequently used in cloud technologies due to its simplicity and simplicity compared to other classification algorithms [31]. Naive bayes data classification is roughly given in Figure 3.

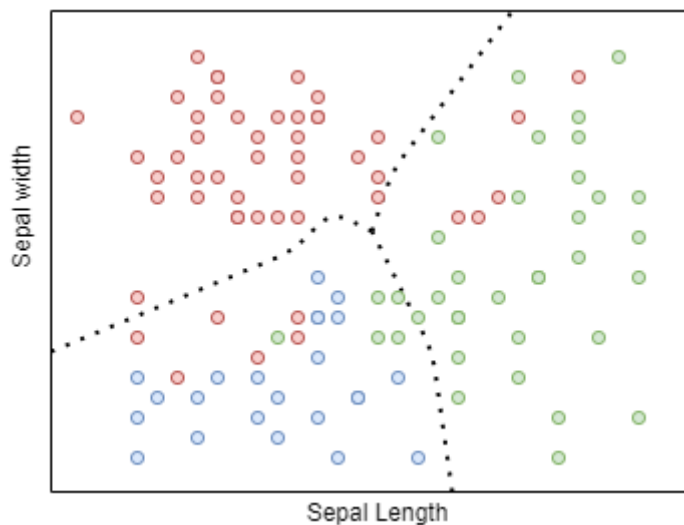


Figure 3. Naive bayes data classification

**Support Vector Machines:** Support Vector Machines is a technique used to logically separate data belonging to more than one class from each other in the most appropriate way. For this, decision boundaries or in other words, hyper planes are determined. Support vector machines can produce successful results in high dimensional spaces. In addition, memory is used efficiently thanks to the training points they have used. The data set used can be of 2 types. The first of these are data sets that can be decomposed linearly and the other is nonlinearly decomposable [32]. Data sets that can be linearly separated and not linearly separated by using support vector machines are roughly shown in Figure 4.

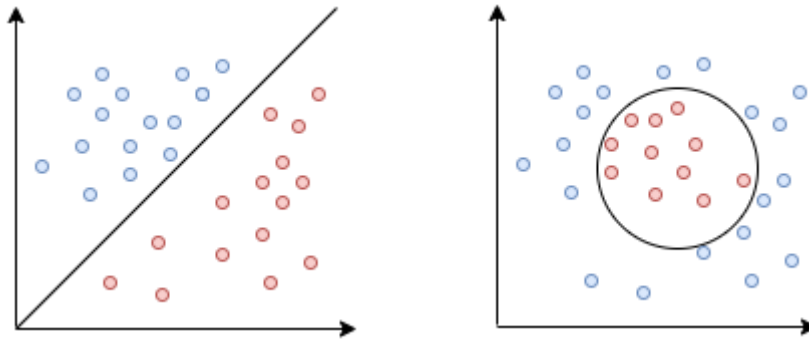


Figure 4. SVM classification notation

**Discriminant Analysis:** Discriminant analysis method is a preferred method to make the data easier to separate in cases where more data sets are complex. It uses the covariance matrix to perform this process. DA examines the distribution of classes to distinguish between classes in the data set and uses the difference between the average values of these classes. It examines the distribution of classes and uses the difference between their mean values to distinguish between classes [33]. PCA and LDA are the most widely used methods.

**K- Nearest Neighbors (KNN):** The KNN algorithm is an algorithm that works by looking at the proximity of the data to be classified to k of the previous data. In the classification phase, test and training data are compared with each other. In these comparisons, Euclidean connection is more preferred in measuring neighborhood distances. This method can be preferred to extract information from the large data sets that come with cloud technology [34]. This algorithm is a type of algorithm that can be successful against noisy data.

### 3.1.2. Decision Tree

Decision trees are one of the most preferred methods in classification. Decision trees have a predefined variable. Due to their structure, they have a structure that expands from the top to the bottom. Decision trees are a method used to divide data sets that have a large number of data into smaller clusters. It is a hierarchical data structure that represents data with a divide and conquer strategy. Being easy to understand and interpret, and processing both numerical and categorical data are the reasons why this method is frequently preferred. Decision trees consist of knots and leaves [35]. The structure of the decision tree is shown in Figure 5. In the figure, every internal node tests a feature. Leaf node corresponds to the attribute value. Each leaf node assigns a classification.

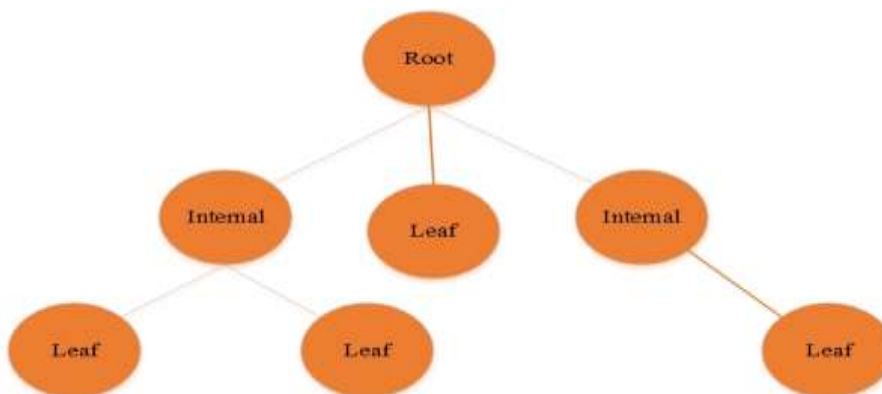


Figure 5. Decision Tree

### 3.1.3. Regression

Regression analysis is one of the main areas of statistical science. The process of predicting the behaviour of a random variable using a model. Here, the relationships of dependent and independent variables with each other are examined. Thanks to this relationship between variables, the modelling or

estimation process is performed. There are more than one type of regression used in statistics [36]. In this study, the most frequently used methods in the classification of big data sets that come up with cloud technology are mentioned.

**Linear Regression:** If there is a linear relationship between the predicted data and the variables in the study, linear regression is preferred [37]. Linear Regression curve and the representation of the data are given in Figure 6.

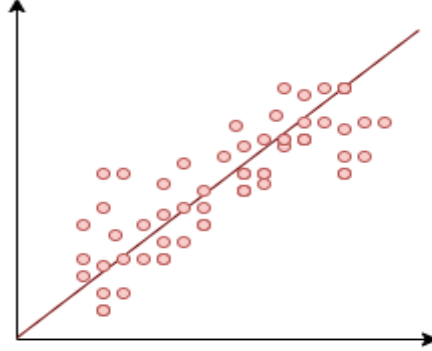


Figure 6. Linear Regression

**Polynomial Regression:** If the distribution of available data is not linearly distributed, then it will not be possible to draw a linear regression curve. In this case, polynomial regression can be used to divide the data set. The regression curve to be drawn is polynomial and is given in Figure 7.

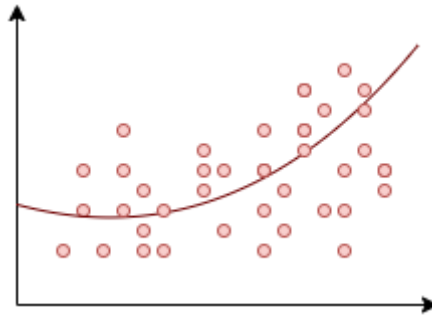


Figure 7. Polynomial Regression

### 3.2. Unsupervised Machine Learning

Unsupervised learning models are in the descriptive model category. Because here the models are not meant to predict a particular outcome. In these methods, the relationships between the data in the data sets are revealed. Through the detected relationships, the data are divided into groups according to their proximity. In this way, the new data that comes as input is taken into the relevant group according to the proximity [38].

#### 3.2.1. Clustering Algorithms

It is aimed to obtain a homogeneous sub-data group from a heterogeneous data group by dividing the data into clusters consisting of similar elements. Most of the clustering methods use distances between data. The most common of these are Euclidean distance, Manhattan distance, and Minkowski distance. The main methods used in clustering methods are given respectively [39].

**Hierarchical Methods:** Hierarchical methods are based on grouping objects in the form of a tree structure called dendrogram. These methods do not need to know the number of clusters. These methods are the methods that enable the gradual combination of sets considered separately. There is more than one hierarchical method in the literature. The best known of these are the closest neighbor algorithm and the furthest neighbor algorithm.

**Partitioning Methods:** Partition methods are the process of dividing a database of  $n$  objects into  $k$  sections specified as input parameters. Each data in the database is placed in one of the  $k$  sections

according to the difference function. Each section obtained here is called a cluster. K-means algorithm and k-medoids algorithm are among the most known algorithms.

**Density Based Methods:** A threshold value is determined in density-based methods. Then, according to this threshold value, the distribution of objects is computed with a density function and decomposed into clusters. These are the methods with high success in finding clusters. It can be used comfortably in cloud computing as it is not affected by noise and exceptions much.

**Grid Based Methods:** This method uses grid structures consisting of a finite number of square cells to examine the data space. Cloud computing is among the methods that can be preferred, as they can work independently of the number of objects in the database due to the grid format they use.

**Model Based Methods:** In this method, the data are expressed with an algebraic model. Model-based methods are among the preferred models in cloud computing because they use the statistical approach and artificial intelligence approach.

### 3.2.2. Hidden Markov Model

In this model, situations cannot be observed from the outside, only the observation outputs of each situation can be viewed. In this model, all observations are independent of the model. The Markov process provides probabilistic information about the future state of an event happening now. The usage area of this model is quite wide. This model is widely used in many areas such as marketing, education, and finance [40]. Therefore, this model is among the models that can be used in cloud computing.

### 3.2.3. Association Rules

Association rules are a method that resolves the situations of co-occurrence of events. Association rules are also used to define simultaneous partnerships. It can find the relationships between data different from the big data sets emerging with cloud computing and perform the interpretation process. It is used extensively, especially in the marketing sector. In addition, it is used in many fields such as economy, telecommunication, e-commerce, health and marketing due to its usefulness and easy understanding [41]. It is possible to categorize the algorithms used in association rules extraction under two headings as sequential and parallel.

**Sequential Algorithms:** While creating association rules, it is accepted that many data are defined sequentially and kept in databases in this way. It is an approach that provides convenience when creating object sets of ordered objects in sorting algorithms. Ais, Apriori, Setm, Partitioning algorithm, Sampling algorithm, Carma and Fp-Growth are the most well-known sequential algorithms [42]. This group constitutes the most preferred algorithms group in cloud computing.

**Parallel and Distributed Algorithms:** Parallel algorithms focus on paralleling the process of finding object clusters. Parallel and distributed algorithms generally work on paralleling logic. In the working logic of these algorithms, either the data is parallelized or the task is parallelized. While processing large amounts of data sets that come with cloud computing, the parallel features of these models can be used. Count Distribution, Parallel Data Mining, Distributed Mining Algorithm, Common Candidate Partitioned Database, Data Distribution, Intelligent Data Distribution, Skew Handling and Hybrid Distribution are the most well-known algorithms [43]. Since these algorithms can work in parallel, they have taken their place among the preferred algorithms in cloud technology.

## 3.3. Reinforcement Machine Learning

Reinforcement learning is an approach that learns from past experience what choices need to be made to reach the highest value. The difference of this algorithm from classical methods is that it does not need prior knowledge.

### 3.3.1. Artificial neural networks

Artificial neural networks are designed with inspiration from the human brain. The learning process is carried out with mathematical models. Artificial neural networks consist of many cells and these cells can perform complex tasks. These networks can be trained with different learning algorithms. They can

be used in many areas such as pattern recognition and classification. Since they have a wide range of uses, they have taken their place among the most preferred methods in cloud computing [44].

**Deep Learning:** Deep learning is one of the most popular machine learning methods in recent years. Deep learning architectures consist of multiple layers. The exit of each layer becomes the entrance of the next layer. In deep learning models, feature maps are extracted and models are trained. The trained models are then tested with test data and the performance performances of the models are evaluated. Outputs are estimated according to the given input data. After the models are trained, new data are placed in the relevant class. Deep learning is widely used in many areas such as face recognition, speech recognition, image processing, cyber-attack analysis, and alarm systems. Deep learning is among the most used methods in cloud computing [45].

#### 4. Literature Review

Zhang et al. Investigated intelligent cloud resource management with deep intelligent empowerment methods in their study in 2017. They stated that cloud computing provides low-cost and flexible hardware and software resources over the internet. They also stated that there is an increasing trend towards using machine learning to improve the intelligence of cloud management. In their study, they stated that they examined a smart cloud resource management architecture that includes comprehensive empowerment learning. They stated that one of the best algorithms in this type of learning is DQN learning and the main idea of this is to create a Q table. They also talked about the Markov decision process in their work [46].

Barnes did a detailed study on Azure machine learning in 2015. He explained in detail what machine learning is, the relationship of machine learning with cloud computing, training networks, testing models, client and server applications. He also detailed the relationship of cloud computing with regression analysis and clustering methods [47].

Botchkarev aimed to evaluate the Performance of Regression Machine Learning Models in cloud-based Azure Machine Learning Studio in his study in 2018. He performed this process by using Multiple Error Measures in his study [48].

Rajagopal et al. Conducted a performance analysis of binary and multi-class models using cloud computing azure machine learning methods in their study in 2020. In addition, they used more than one classifier in their study [49].

Abdelaziz et al. Proposed a machine learning model to improve healthcare services in a cloud computing environment in their study in 2018. Recently, they stated that cloud computing has been widely used in the field of health, but choosing the optimum virtual machine is very difficult. In order to avoid the difficulty of selecting the optimum virtual machine based on incoming medical demands, they proposed a new model based on the cloud environment using Parallel Particle Swarm Optimization. In addition, they stated that the model they proposed was more successful than the other models in the literature [50].

Tuli et al. Stated in their study in 2020 that they aimed to predict the growth and trend of the COVID-19 epidemic using machine learning and cloud computing. They stated that they proposed a new model to predict the impact of the Covid19 outbreak, and that this model was based on real-time, cloud computing and machine learning. In addition, they calculated the metrics values of many countries in their study [51].

Wang et al. Used Machine Learning approaches for Cloud Computing Supported Resource Allocation in their study in 2018. They stated that since most of the resource allocation problems are not convex, it is difficult to get optimal solutions in real time. They stated that the system they proposed was more successful than traditional resource allocation methods [52].

Zhang et al. Used machine learning methods for resource allocation in cloud computing in their study in 2018. They stated that resource allocation in cloud computing is an NP problem and cannot be solved in polynomial time. In their study, they used machine learning methods to model and analyse the multidimensional cloud resource allocation problem. They proposed two resource allocation algorithms based on linear and logistic regression. They stated that the algorithms they proposed got good results [53].

Chiba et al. Stated in their study in 2019 that cyber-attacks have increased with the advancing cloud technology and that attacks from outside may occur. They stated that they recommended a

machine learning-based intrusion detection system to detect and prevent these anomalies and attacks. They stated that their models are successful in detection rate and they can be used comfortably in cloud computing [54].

Zekri et al. Stated in their study in 2017 that they performed DDoS attack detection using machine learning techniques in cloud computing environments. They used decision trees, one of the machine learning classifiers, to detect DDoS attacks. They compared their results with traditional results [55].

**Table 1.** Studies on the subject

Article	Year	Language	Subject
[46]	2017	English	Investigated intelligent cloud resource management with deep intelligent empowerment methods
[47]	2015	English	Relationship of machine learning with cloud computing, training networks, testing models, client and server applications
[48]	2018	English	Performance of Regression Machine Learning Models in cloud-based
[49]	2020	English	Using cloud computing azure machine learning methods
[50]	2018	English	Machine learning model to improve healthcare services in a cloud computing environment
[51]	2020	English	Proposed a new model to predict the impact of the Covid19 outbreak, and that this model was based on real-time, cloud computing and machine learning
[52]	2018	English	Used Machine Learning approaches for Cloud Computing Supported Resource Allocation
[53]	2018	English	Used machine learning methods for resource allocation in cloud computing
[54]	2019	English	Using machine learning in cyber-attacks with the developing cloud technology
[55]	2017	English	DDoS attack detection using machine learning techniques in cloud computing environments

## 5. Conclusion

Studies involving cloud computing and machine learning have started to be carried out especially in recent years. Developing cloud technology brings along big data sets. In order for these data sets to become meaningful, machine learning methods should be used effectively. Processing these data sets with other methods is a very difficult process. Machine learning has recently become one of the most important issues such as cloud computing. We believe that these studies should produce instant results via cloud computing in order to yield effective results. In particular, instant evaluation of critical data is of great importance.

### Author's Contributions

All authors contributed equally.

### Conflict of Interest Statement

There is no conflict of interest between the authors.

### Research and Publication Ethics Statement

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

### References

- [1] Aceto G., Persico V., Pescapé A. 2020. Industry 4.0 and health: Internet of things, big data, and cloud computing for healthcare 4.0. *Journal of Industrial Information Integration*, 18: 100129.

- [2] Mrozek D., Koczur A., Małysiak-Mrozek B. 2020. Fall detection in older adults with mobile IoT devices and machine learning in the cloud and on the edge. *Information Sciences*, 537: 132-147.
- [3] Yıldırım M., Cınar A. 2020. A deep learning based hybrid approach for COVID-19 disease detections. *Traitement du Signal*, 37 (3): 461-468.
- [4] Morariu C., Morariu O., Răileanu S., Borangiu T. 2020. Machine learning for predictive scheduling and resource allocation in large scale manufacturing systems. *Computers in Industry*, 120: 103244.
- [5] Tang S., He B., Yu C., Li Y., Li K. 2020. A survey on spark ecosystem: Big data processing infrastructure, machine learning, and applications. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*.
- [6] Namasudra S., Devi D., Kadry S., Sundarasekar R., Shanthini A. 2020. Towards DNA based data security in the cloud computing environment. *Computer Communications*, 151: 539-547.
- [7] Sunyaev A. 2020. Cloud computing. In *Internet computing*. Springer, Cham, 195-236.
- [8] Soh J., Copeland M., Puca A., Harris M. 2020. Overview of Azure Infrastructure as a Service (IaaS) Services. In *Microsoft Azure*, Apress, Berkeley, CA., 21-41.
- [9] Caiza G., Saeteros M., Oñate W., Garcia M.V. 2020. Fog computing at industrial level, architecture, latency, energy, and security: A review. *Heliyon*, 6 (4): e03706.
- [10] Liu S., Chan F.T., Yang J., Niu B. 2018. Understanding the effect of cloud computing on organizational agility: An empirical examination. *International Journal of Information Management*, 43: 98-111.
- [11] De la Prieta F., Rodríguez-González S., Chamoso P., Corchado J.M., Bajo J. 2019. Survey of agent-based cloud computing applications. *Future Generation Computer Systems*, 100: 223-236.
- [12] Kholidy H.A. 2020. An intelligent swarm based prediction approach for predicting cloud computing user resource needs. *Computer Communications*, 151: 133-144.
- [13] Hassan H., El-Desouky A.I., Ibrahim A., El-Kenawy E.S.M., Arnous R. 2020. Enhanced QoS-based model for trust assessment in cloud computing environment. *IEEE Access*, 8: 43752-43763.
- [14] Taha A.A., Ramo W., Alkhaffaf H.H.K. 2021. Impact of external auditor–cloud specialist engagement on cloud auditing challenges. *Journal of Accounting & Organizational Change*. <https://doi.org/10.1108/JAOC-08-2020-0111>.
- [15] Kurdi H., Alsalamah S., Alatawi A., Alfaraj S., Altoaimy L., Ahmed S.H. 2019. HealthyBroker: a trustworthy blockchain-based multi-cloud broker for patient-centered ehealth services. *Electronics*, 8 (6): 602.
- [16] Tamimi A.A., Dawood R., Sadaqa L. 2019. Disaster recovery techniques in cloud computing. In *2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT)*, IEEE, 845-850.
- [17] Hajji M.A., Mezni H. 2018. A composite particle swarm optimization approach for the composite saas placement in cloud environment. *Soft Computing*, 22 (12): 4025-4045.
- [18] Zaitsev D., Luszczek P. 2020. Docker container based PaaS cloud computing comprehensive benchmarks using LAPACK. In *CMIS*, 323-337.
- [19] Sanaj M.S., Prathap P.J. 2020. Nature inspired chaotic squirrel search algorithm (CSSA) for multi objective task scheduling in an IAAS cloud computing atmosphere. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 23 (4): 891-902.
- [20] Pratama I.P.A.E. 2021. The implementation of Container as a Service (CaaS) cloud using openSUSE kubic. *Global Journal of Engineering and Technology Advances*, 6 (1): 001-009.
- [21] Namasudra S. 2021. Data access control in the cloud computing environment for bioinformatics. *International Journal of Applied Research in Bioinformatics (IJARB)*, 11 (1): 40-50.
- [22] Tavbulatova Z.K., Zhigalov K., Kuznetsova S.Y., Patrusova A.M. 2020. Types of cloud deployment. In *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 1582 (1): 012085).
- [23] Qureshi A., Sharma A. 2021. Cloud Computing: The New World of Technology. In *Proceedings of Second International Conference on Smart Energy and Communication*, Springer, Singapore, 55-60.
- [24] Xu Y., Sun S., Cui J., Zhong H. 2020. Intrusion-resilient public cloud auditing scheme with authenticator update. *Information Sciences*, 512: 616-628.
- [25] Talaat M., Alsayyari A.S., Alblawi A., Hatata A.Y. 2020. Hybrid-cloud-based data processing for power system monitoring in smart grids. *Sustainable Cities and Society*, 55: 102049.



- [26] Stergiou C.L., Plageras A.P., Psannis K.E., Gupta B.B. 2020. Secure machine learning scenario from big data in cloud computing via internet of things network. In Handbook of computer networks and cyber security, Springer, Cham, 525-554.
- [27] Ionescu L., Andronie M. 2021. Big Data Management and Cloud Computing: Financial Implications in the Digital World. In SHS Web of Conferences, Vol: 92, EDP Sciences.
- [28] Cengil E., Çınar A. 2020. Göğüs Verileri Metrikleri Üzerinden Kanser Sınıflandırılması. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 11 (2): 513-519.
- [29] Yıldırım M., Çınar A. 2020. Classification of Alzheimer's Disease MRI Images with CNN Based Hybrid Method. Ingénierie des Systèmes d'Information, 25 (4).
- [30] Uçkan T., Hark C., Karci A. 2021. SSC: Clustering of Turkish texts by spectral graph partitioning. Politeknik Dergisi, <https://doi.org/10.2339/politeknik.684558>.
- [31] Kim H.C., Park J.H., Kim D.W., Lee J. 2020. Multilabel naïve Bayes classification considering label dependence. Pattern Recognition Letters, 136: 279-285.
- [32] Li L.L., Zhao X., Tseng M.L., Tan R.R. 2020. Short-term wind power forecasting based on support vector machine with improved dragonfly algorithm. Journal of Cleaner Production, 242: 118447.
- [33] Özdemir A., Şahan M.H. 2020. Radiologic features of symptomatic cholelithiasis: a current perspective. Journal of Health Sciences and Medicine, 3 (4): 466-472.
- [34] Yaşar Ş., Çolak C. 2020. A Proposed Model Can Classify the Covid-19 Pandemic Based on the Laboratory Test Results. The Journal of Cognitive Systems, 5 (2): 60-63.
- [35] Kaçmaz A., Yıldız K., Buldu A. 2020. An Application on Technology Addiction with C4. 5 Classification Algorithm. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9 (4): 1756-1765.
- [36] Naji D.M., Akin M.K., Cabalar A.F. 2021. Evaluation of seismic site classification for Kahramanmaraş City, Turkey. Environmental Earth Sciences, 80 (3): 1-17.
- [37] Jiao S., Gao Y., Feng J., Lei T., Yuan X. 2020. Does deep learning always outperform simple linear regression in optical imaging?. Optics express, 28 (3): 3717-3731.
- [38] Yıldırım M., Çınar A. 2019. Simultaneously Realization of Image Enhancement Techniques on Real-Time Fpga. In 2019 International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), IEEE, 1-6.
- [39] Yıldırım M., Çınar A. 2019. Use of Fpga for Real-Time K-Means Clustering Algorithm. International Journal of Engineering Science and Application, 3 (3): 130-136.
- [40] Wang X., Xu W., Jin Z. 2017. A hidden Markov model based dynamic scheduling approach for mobile cloud telemonitoring. In 2017 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI), IEEE, 273-276.
- [41] Osadchiy T., Poliakov I., Olivier P., Rowland M., Foster E. 2019. Recommender system based on pairwise association rules. Expert Systems with Applications, 115: 535-542.
- [42] Powell T. 2018. Sequential algorithms and the computational content of classical proofs. arXiv preprint arXiv: 1812.11003.
- [43] Levchenko O., Kolev B., Yagoubi D.E., Shasha D., Palpanas T., Valduriez P., Maseglier, F. 2019. Distributed algorithms to find similar time series. In Joint European Conference on Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases, Springer, Cham, 781-785.
- [44] Çınar A., Yıldırım M. 2020. Detection of tumors on brain MRI images using the hybrid convolutional neural network architecture. Medical hypotheses, 139: 109684.
- [45] Yıldırım M., Çınar A. 2019. Classification of White Blood Cells by Deep Learning Methods for Diagnosing Disease. Revue d'Intelligence Artificielle, 33 (5): 335-340.
- [46] Zhang Y., Yao J., Guan H. 2017. Intelligent cloud resource management with deep reinforcement learning. IEEE Cloud Computing, 4 (6): 60-69.
- [47] Barnes J. 2015. Azure machine learning. Microsoft Azure Essentials. 1st ed, Microsoft.
- [48] Botchkarev A. 2018. Evaluating performance of regression machine learning models using multiple error metrics in Azure Machine Learning Studio Available at SSRN 3177507.
- [49] Rajagopal S., Hareesha K.S., Kundapur P.P. 2020. Performance analysis of binary and multiclass models using azure machine learning. International Journal of Electrical & Computer Engineering, 10 (1): 2088-8708.
- [50] Abdelaziz A., Elhoseny M., Salama A.S., Riad A.M. 2018. A machine learning model for improving healthcare services on cloud computing environment. Measurement, 119: 117-128.

- [51] Tuli S., Tuli S., Tuli R., Gill S.S. 2020. Predicting the growth and trend of COVID-19 pandemic using machine learning and cloud computing. *Internet of Things*, 11: 100222.
- [52] Wang J.B., Wang J., Wu Y., Wang J.Y., Zhu H., Lin M., Wang J. 2018. A machine learning framework for resource allocation assisted by cloud computing. *IEEE Network*, 32 (2): 144-151.
- [53] Zhang J., Xie N., Zhang X., Yue K., Li W., Kumar D. 2018. Machine learning based resource allocation of cloud computing in auction. *Comput. Mater. Continua*, 56 (1): 123-135.
- [54] Chiba Z., Abghour N., Moussaid K., Rida M. 2019. Intelligent approach to build a Deep Neural Network based IDS for cloud environment using combination of machine learning algorithms. *Computers & Security*, 86: 291-317.
- [55] Zekri M., El Kafhali S., Aboutabit N., Saadi Y. 2017. DDoS attack detection using machine learning techniques in cloud computing environments. In *2017 3rd International Conference of Cloud Computing Technologies and Applications (CloudTech) IEEE*, 1-7.

# BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

## YAZIM KURALLARI

### İLK SUNUŞ FORMATI

Makaleler elektronik ortamda Word dosyası olarak sunulmalıdır. Makale, A4 kâğıda, 11 punto büyüklüğündeki Times New Roman fontuyla, tüm kenarlardan 2,5 cm boşluk bırakılarak, tek satır aralıklı olarak yazılmalıdır. Makaleler 20 sayfayı geçmeyecek şekilde yazılmalı ve online olarak <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> adresinden gönderilmelidir. Kör hakemlik uygulamasından dolayı makale ana dosyasında yazar bilgileri verilmemelidir. Yazar bilgileri ayrı bir dosya yüklenerek verilmelidir. Bir sayıda aynı yazara ait en fazla 2 yayın bulunabilir. **Gönderiler, araştırma ve yayın etiğine uygun olmak zorundadır.** Makaleler aşağıda verilen düzene ve kurallara göre yazılmalıdır.

Makalenin ana bölümleri Giriş, Materyal ve Metot, Bulgular ve Tartışma, Sonuç ve Kaynaklardan oluşur.

**Benzerlik Oranı:** Gönderilen makalelerin benzerlik oranı %15'i geçmemelidir. Her bir benzerlik oranı ise %3'i geçmemelidir.

**Makale Dili:** Türkçe veya İngilizce'dir.

**Başlık:** İçeriğe uygun, kısa ve anlaşılır olmalıdır. Türkçe ve İngilizce başlıklar Times New Roman, 14 punto, kalın (**bold**), ilk harfleri büyük ve ortalanarak yazılmalıdır.

**Yazar isimleri ve adresleri:** Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltmasız, ilk harf büyük ve soyadı büyük harflerle, 12 punto, ortalı olarak yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra virgül ve adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (1, 2, 3, gibi). Sorumlu yazar isminde mutlaka üst simge yıldız sembolü olmalıdır

(\*). Yazarların tam adresleri isimlerinin hemen alt kısmına küçük harflerle (İlk harfler büyük), ortalı, italik ve 10 punto yazılmalı, sorumlu yazarın e-mail adresi ilk sayfanın sol alt köşesinde (\*) sembolü ile belirtilmelidir.

**Özet ve Anahtar kelimeler (Summary ve Keywords):** Makalede Türkçe ve İngilizce öz olmalı ve makale özü en az 75, en fazla 250 sözcük içerecek şekilde 10 punto olarak yazılmalıdır. Her iki özün hemen altında en az 3, en fazla 6 sözcükten oluşan Anahtar Kelimeler (Keywords) 10 punto olarak yazılmalıdır.

**Ana Metin:** Makaledeki ana başlıklar ve varsa alt başlıklar anlaşılır ve numaralı olmalıdır. Tüm ana metin başlıkları sola yanaşık, İlk harfleri büyük diğerleri küçük harflerle, 11 punto ve kalın karakter olmalıdır. Alt başlıklar 11 punto yazılmalıdır. Metin; iki yana yaslı, paragraflar arası satır boşluğu kullanılmamalı, alt başlıklardan hemen sonraki ilk paragrafta girinti olmamalıdır.

**Giriş:** Konu hakkında kısa bir literatür bilgisi vermeli, sonunda çalışmanın amacı kısaca belirtilmelidir.

**Materyal ve Metot:** Detaylı ve açıklayıcı bir biçimde verilmelidir.

**Bulgular ve Tartışma:** Bu bölümde elde edilen sonuçlara yer verilmeli, sonuçlar gerekirse şekil ve tablolarla da desteklenmelidir. Elde edilen bulgular ilgili literatürlerle karşılaştırılmalıdır.

**Sonuç ve Öneriler:** Sonuçlar gereksiz tekrarlardan kaçınılarak mutlaka yorumlanmalıdır. Sonuçların başka araştırmalarla benzerlik ve farklılıkları verilmeli, bunların olası nedenleri tartışılmalıdır.

**Teşekkür:** Gerek görüldüğü takdirde ya da proje vs. kapsamında bir çalışma ise; çalışmada yardımcıları olan kişi(ler), kurum ve kuruluşlara yardım ve desteklerinden dolayı teşekkür edilmelidir.

**Kaynaklar:** Kaynakların metin içinde gösterimi numara sırasına göre olmalıdır ([1], [2] v.b.). Makale içinde verilen her kaynak, makalenin Kaynaklar kısmında mutlaka yer almalıdır. Kaynaklar makale sonunda numara sırasına göre verilmelidir. Kaynakların makale sonundaki gösterimi aşağıdaki örneklerdeki gibi olmalıdır.

**Kaynak bir makale ise;**

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices. *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) letswaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) letswaart from Turkey. *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

**Kaynak bir kitap ise;**

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler. Literatür Yayınları, İstanbul, 1-1004.
2. Demirsoy A. 1999. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası (Hayvan Coğrafyası). Meteksan Yayınları, Ankara, 1-965.

**Kitap bölümü ise;**

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. In: Flora of Turkey and East Aegean Islands, Edited by Davis PH., Vol: 5, Edinburgh Univ Press, Edinburgh, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams. In: Developments in Hydraulic Engineering 2, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd., Essex, UK, 153-173.

**Kaynak sempozyum ise;**

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül, İzmir, 1168-1169.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress, Abstract Book, 8-11 April, Antalya, 63.

**Web adresi;****İnternet kaynağın yazar ismi ve tarihi biliniyorsa;**

1. Şenel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Ateşi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Erişim Tarihi: 21.01.2007).

**Yazar ve tarih isimleri bilinmiyorsa;**

1. Biyolojik çeşitlilik, 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

**Kaynak Tez ise;**

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia* L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-348.

**Kaynak Anonim ise;**

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, 1-93.

**Şekil ve Tablolar:** Fotoğraf, resim, çizim ve grafik gibi göstermeler şekil olarak verilmelidir. Resim, şekil ve grafikler net ve ofset baskı tekniğine uygun olmalıdır. Şekiller (Renkli ve siyah-beyaz fotoğraflar, siyah-beyaz çizimler, haritalar) metin içerisinde verilmelidir. Şekiller 16x20 cm den büyük olmamalıdır. Resim ve fotoğraflar en az 600 dpi çözünürlükte olmalıdır. Tüm tablo ve şekiller makale

boyunca sırayla numaralandırılmalı (Tablo 1., Şekil 1.), başlık ve açıklamalar içermelidir. Açıklamaların sonunda nokta veya virgül konulmamalıdır. Tablo başlıkları tablonun üstünde, şekil başlıkları ise şekil altında ortalı ve 10 punto olmalıdır.

**Birim Sistemi:** Makalelerde kullanılan birim sistemleri SI birim sistemlerine uyumlu olmalıdır.

**Yayına Kabul Edilen Makalelerin Son Düzeltmelerindeki Dikkat Edilecek Hususlar**

- Tüm kenar boşlukları (sağ, sol, üst ve alt) 2,5 cm ve satır aralığı tek olmalı,
- Özetler 10 punto, ana metin 11 punto olmalı,
- Makale başlıkları (Türkçe – İngilizce) 14 punto, kalın yalnızca ilk harfler büyük,
- Metin ana başlıkları 11 punto, kalın yalnız ilk harfler büyük,
- Alt başlıklar 11 punto, kalın ve sadece ilk harfi büyük olmalıdır.

# BEU JOURNAL OF SCIENCE

## Manuscript Preparation

### Format of First Submission

Manuscripts should be submitted digitally as MS Word. Files should be prepared by using A4 paper size with 2.5 cm margin from all sides, in 11 font size and Times New Roman font with single space. Manuscripts should not exceed 20 pages and should be submitted via <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen> web site. Author informations should not be given in the main file of the article due to blind review. Author informations should be given by uploading a different file. Up to 2 publications of the same author can be found in one issue. Submissions must comply with research and publication. Manuscripts should be written according to following rules and structure.

Main sections of the article are Introduction, Material and Methods, Results and Discussion, and References. An Acknowledgement section can be included before References.

**Similarity Ratio:** The similarity rate of submitted articles should not exceed 15%. Each similarity rate should not exceed 3%.

**Manuscript Language:** Turkish or English.

**Title:** It should a concise and clear phrase describing the content of the text. Both Turkish and English titles should be centered and bold in Times New Roman with 14 font size and First Letters Should Be Capitalized.

**Author Names and Addresses:** Full names of all authors are given below the title. Surnames (Family Names) and first letters of the Given Names should be capitalized with 12 font size as centered. Author names are separated by coma. Superscript Arabic letters (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>, <sup>3</sup>, ect.) should be used to indicate addresses. Corresponding author should be indicated with an asterisk (\*). Full addresses of the authors should be written with lower case italic letter and be centered (10 font) immediately after author names. E-mail address of the corresponding author should be given lower left corner of the first page, leading with an asterisk (\*).

**Abstract and Key Words:** All manuscript should include Turkish and English abstracts and each abstract should be written in 1 font size including at least 75 words and at most 250 words. Keywords consisting of at least 3 words and at most 6 words should be written in 10 points just under both abstracts.

**Main Text:** Titles of main sections and subsections should be comprehensible and numbered. All main section titles should be left aligned, bold, and in 11 font size with capitalized first letters. Subsection titles should be in 11 font size. The text should be justified. There should be no space between paragraphs. Paragraphs following a title should not have first-line indent.

**Introduction:** A brief summary of the subject and the current literature should be given. The aim of the study should be briefly stated at the end.

**Material and Method:** It should be given in detail and clearly.

**Results and Discussion:** The results should be presented in a comprehensible manner which may include figures and tables. Presented results should be compared with the literature.

**Conclusion:** The results should be interpreted in avoiding unnecessary repetitions. It should be stated and discussed with its possible reasons if the results comply with previous studies or not.

**Acknowledgement:** If appropriate, acknowledgements to sponsor(s) and assisting individual(s) should be given.

**References:** References should be cited in text according to order of appetences with Arabic numbers in square brackets (e.g. [1], [2], ect.). All references cited in the text should be listed in References and vice versa. Journal names should not be abbreviated in the References. References should be listed according to numeric order at the end of the article. References should be written according to following examples.

**Article;**

1. Köksal K., Koç F. 2016. Optical Manipulation of Photo-induced Current in Spherical Semiconductor Quantum Dots by Optical Vortices. *Philosophical Magazine*, 96 (25): 2686-2695.
2. Kurşat M., Emre İ., Yılmaz Ö., Erecevit P. 2011. Antioxidant and antimicrobial activity in the seeds of *Origanum vulgare* L. subsp. *gracile* (C. Koch) letsvaart and *Origanum acutidens* (Hand.-Mazz.) letsvaart from Turkey. *Grasas y aceites*, 62 (4): 410-417.

**Book;**

1. Chapra C.S., Canale R.P. 2003. Yazılım ve Programlama Uygulamalarıyla Mühendisler için Sayısal Yöntemler. Literatür Yayınları, İstanbul, 1-1004.
2. Demirsoy A. 1999. Genel ve Türkiye Zoocoğrafyası (Hayvan Coğrafyası). Meteksan Yayınları, Ankara, 1-965.

**Book Chapter;**

1. Cullen J. 1975. *Artemisia* L. In: Flora of Turkey and East Aegean Islands, Edited by Davis PH., Vol: 5, Edinburgh Univ Press, Edinburgh, 311-324.
2. Cassidy J., Elder R. 1984. Spillways of high dams. In: Developments in Hydraulic Engineering 2, Edited by Novak P., Applied Science Publishers Ltd., Essex, UK, 153-173.

**Symposium Proceeding;**

1. Akyüz M., Kırbağ S. 2012. Fatty Acid and Vitamin Composition of *Pleurotus eryngii* var. *ferulae* Grown on Various Agro-wastes. 21. Ulusal Biyoloji Kongresi, 3-7 Eylül, İzmir, 1168-1169.
2. Tabur M.A., Uzun A., Ayvaz Y. 2004. Why is White-headed Duck Wintering in Lake Burdur (Turkey) decreasing? 1st International Eurasian Ornithology Congress, Abstract Book, 8-11 April, Antalya, 63.

**Web sites;****If the author name and date are known;**

1. Senel F. 2006. Kırım-Kongo Kanamalı Atesi. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/pdf/kene>. (Access Date: 21.01.2007).

**If the author name and date are unknown;**

1. Biyolojik çeşitlilik, 2005. Türkiye'nin Biyolojik Çeşitliliği. <http://www.bcs.gov.tr/1.4.php> (Erişim tarihi: 15.01.2007).

**Thesis;**

1. Kurşat M. 2010. Türkiye'de Yetişen *Artemisia* L. (Asteraceae) Taksonlarının Taksonomik Revizyonu. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 1-348.

**Anonymous;**

1. Anonim, 1990. Sulak Alanların Korunması. Doğal Hayatı Koruma Derneği, İstanbul, 1-93.

**Figures and Tables:** Images like photos, pictures, drawings, and graphs should be given as figures. Figures should be clear and appropriate for press. All figures should be given within the text. Figures should not exceed the size of 16x20 cm. Pixel based figures should be minimum of 600 dpi. All tables and figures should be numbered (e.g. Table 1, Figure 1), and should include a title and legend. There should be no period or comma after the legend. The tiles should be centered and in 10 font size. Tables

and figure titles should be placed above the table and below the figure, respectively.

**Units:** All units should be given according to SI (International System of Units).

### **Final Check List For Articles Accepted For Publication**

- All margins are 2.5 cm.
- Paragraphs are single spaced.
- Article titles (Turkish and English) are bold and in 14 font size with capitalized first letters.
- Main section titles are bold and in 11 font size with capitalized first letters.
- Subsection titles are bold and in 11 font size and only the first letter of the first word is capitalized.



# BEU FEN BİLİMLERİ DERGİSİ YAYIN İLKELERİ

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, mühendislik ve temel bilimler alanlarındaki gelişmeleri ve yenilikleri takip etmek, meslek kuruluşlarının, araştırmacıların ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişimlerine 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 bilimler bilgi tabanına ve teknolojik gelişmelere ışık tutması amacıyla bu alanlarda yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan özgün araştırma makalelerine, derlemelere ve teknik notlara 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 (iki 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.**

Dergide yayımlanacak makalelerin bilimsel etik kuralları içerisinde olması gerekmektedir. Makalede yer alan tüm yazarlar, çalışmalarının yayın haklarını Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi'ne verdiklerine dair **Telif Hakları Formu**'nu imzalamalıdır. Bu form iletilmeden yayın kabul edilse de yayımlanmayacaktır. Bütün bu bilgiler aşağıdaki DergiPark sistemi, e-posta adresi veya posta adresi ile editörlüğe gönderilmelidir. Dergide yayımlanacak makalelerin içeriğinden kaynaklanan her türlü yasal sorumluluklar ve telif haklarına ilişkin doğabilecek hukuki sorumluluklar tamamen yazarlara aittir.

## **Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü**

Bitlis Eren Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
13000, Merkez, Bitlis/TÜRKİYE  
E-posta : [fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)  
Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>



Makale No/Article ID: .....

**B.E.U.**

**FEN BİLİMLERİ DERGİSİ**

**Telif Hakkı Devir Formu / Copyright Form**

[Makale Adı / Article title]

.....  
.....  
.....

Başlıklı makalenin telif hakkından feragat etmeyi/ettiğimizi, makalenin telif hakkının Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'ne devredildiğini ve Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü makalenin yayımlanabilmesi konusunda yetkili kılındığını kabul eder ve imza ederiz.

Ayrıca, adı geçen makalenin tüm içeriği konusunda tüm sorumluluk yazar/yazarlara ait olup, makalenin içeriği konusunda doğabilecek sorunlardan Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Editörlüğü sorumlu değildir.

**Bütün yazarlar tarafından imzalanması gerekiyor:** (Sorumlu yazar/Corresponding author\*)

<u>Yazarın Adı ve Soyadı / Author Names</u>	<u>İmzası / Signature</u>	<u>Tarih / Date</u>
1 .....		
2 .....		
3 .....		
4 .....		
5 .....		

**NOT:** Eksik imza durumunda sorumluluk imzalayan yazarlara aittir. Form doldurulup imzalandıktan sonra online veya e-posta yoluyla gönderilmelidir:

Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

E-mail : [fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)



Article ID: .....

**BEU**  
**JOURNAL OF SCIENCE**  
**Copyright Transfer Form**

We, the authors of the manuscript entitled

---

---

---

relinquish our copyrights on the manuscript in favor of BEU Graduate School of Science. Hence, we, the authors, accept and signs for this copyright transfer which includes but not limited to granting the right to publish the manuscript to the Editorial Board of BEU Journal of Science.

Nevertheless, we, the authors, retain all responsibilities regarding the manuscript. The Editorial Board of BEU Journal of Science cannot be held responsible for any conflict due to the content of the manuscript, by any means.

**All authors must sign:**

Authors' Full Names	Signature	Date
1. _____	_____	_____
2. _____	_____	_____
3. _____	_____	_____
4. _____	_____	_____
5. _____	_____	_____

(Add additional lines if needed. Corresponding author should be indicated by “\*”.)

In case of absent signature, signing authors will be responsible. Filled and signed forms should be sent online or by email.

Web : <http://dergipark.gov.tr/bitlisfen>

E-mail : [fbe@beu.edu.tr](mailto:fbe@beu.edu.tr)