



Bitlis Eren Üniversitesi  
**Fen Bilimleri Dergisi**

Bitlis Eren University  
**Journal of Science**

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

Cilt / Volume: 9

Sayı / Number: 3

Yıl / Year: 2020

**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. Erdal Necip YARDIM
<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. Onur ATAKIŞI	Kafkas Üniversitesi
Prof. Dr. Murat SUBAŞI	Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Sezai YALÇIN	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Atilla ARSLAN	Selçuk Üniversitesi
Prof. Dr. Mahmut BÖYÜKATA	Kırıkkale Üniversitesi
Prof. Dr. Necati ÇELİK	Gümüşhane Üniversitesi
Prof. Dr. Cihangir AKDEMİR	Giresun Üniversitesi
Prof. Dr. Niyazi BULUT	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. İsmet KARACA	Ege Üniversitesi
Prof. Dr. Hakan ÇOBAN	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Koray KÖKSAL	Bitlis Eren Üniversitesi
Prof. Dr. Ömer KELEŞOĞLU	Fırat Üniversitesi
Prof. Dr. Tolga BEKLER	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi
Prof. Dr. Nilgün Lütfiye SAYIL	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Ahmet Şahin ZAIMOĞLU	Atatürk Üniversitesi
Prof. Dr. Saadettin AKSOY	İstanbul Gelişim Üniversitesi
Prof. Dr. İsa SIDİR	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Birol BAŞER	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet TEKİN	Trakya Üniversitesi
Doç. Dr. Fethi DAĞDELEN	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Oğuz Ayhan KİREÇCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Kesran AKIN	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Ebru CAVLAK ARSLAN	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Özlem SELÇUK ZORER	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşe Dilek ÖZŞAHİN KİREÇCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. İrfan EMRE	Fırat Üniversitesi
Doç. Dr. Sultan ŞAHİN BAL	Bitlis Eren Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan GÜR	Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi
Doç. Dr. Servet KÜTÜKÇÜ	Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Doç. Dr. Serkan ALTUNTAŞ	Yıldız Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Ahmet DURLU	Erzurum Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Hasan KARABULUT	Karabük Üniversitesi
Doç. Dr. Uğur GÖKMEN	Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Ekrem ALMAZ	Muş Alparslan Üniversitesi
Doç. Dr. Hakan GÖKMEŞE	Necmettin Erbakan Üniversitesi
Doç. Dr. Nevin YAĞCI	İstanbul Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Özlem DEMİR	Harran Üniversitesi
Doç. Dr. Tayfun SERVİ	Adıyaman Üniversitesi
Doç. Dr. Deniz UÇAR	Bursa Teknik Üniversitesi
Doç. Dr. Kadir ÖZDEMİR	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Doç. Dr. Zehra ŞAPÇI AYAŞ	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Canan GÜLMEZ	Iğdır Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Bora AKIN	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hilal ÇELİK KAZICI	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sertaç GÖKTAŞ	Mersin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erdem SEVEN	Batman Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Esra PAMUKÇU	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Şükrü ACITAŞ	Eskişehir Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Murat GENÇ	Adıyaman Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sümeyra GÜRKÖK	Atatürk Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yonca YÜZÜGÜLLÜ KARAKUŞ	Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Engin YILMAZ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Erkan AZİZOĞLU	Hakkâri Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Murat UZUNCA	Sinop Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Derya ARSLAN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Tarkan YORULMAZ	Çankırı Karatekin Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Simge ÖZTUNÇ	Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sait GÜL	Bahçeşehir Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fevzi Çakmak BOLAT	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Kemal ÜÇÜNCÜ	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Pınar MİÇ	Tarsus Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Fikri EGE	Toros Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Emrah DOKUR	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Davoot GADERİ	Bursa Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Bahadır Erman YÜCE	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serdal ARSLAN	Harran Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Selman AYDOĞAN	Balıkesir Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sedat SAVAŞ	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hakki GÜLŞEN	Harran Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Cevdet Emin EKİNCİ	Fırat Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Burhan BARAKLI	Sakarya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Zafer CÖMERT	Samsun Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi İhsan TUĞAL	Muş Alparslan Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serkan AKOĞUL	Pamukkale Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ÖZGÜVEN	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Rabia Mehtap TUNCAY	Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hakan SANCAK	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Serdar GÖZÜTOK	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Atiye Bahar MERGEN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yakup SAY	Munzur Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Haluk KEJANLI	Dicle Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hasan BALLIKAYA	İnönü Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Yakup ŞAHİN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Hülya DURMAZ BEKMEZCİ	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Yasin İLEMİN	Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi
Dr. Ercan ERCAN	Bitlis Eren Üniversitesi
Dr. Erdiñ VURAL	Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
Dr. Ferhat ÇIRA	Dicle Üniversitesi
Araş. Gör. Volkan ALA	Mersin Üniversitesi
Araş. Gör. Ezgi NAZMAN	Sivas Cumhuriyet Üniversitesi
Öğr. Gör. Emir Ali MALİS	Mersin Üniversitesi
Öğr. Gör. Zeynep KILIÇ	Bitlis Eren Üniversitesi

Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, mühendislik ve temel bilimler alanlarındaki gelişmeleri ve yenilikleri takip etmek, meslek kuruluşlarının, araştırmacıların ve bireylerin ulusal ve uluslararası gelişmelerine katkıda bulunmak ve bu alanlarda elektronik bir kaynak oluşturmak amacıyla yayımlanmaktadır. Derginin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Fen Bilimleri Dergisi, Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü yayını olup, 2012 yılından bu yana ücretsiz ve açık erişimli olarak yayın hayatına devam etmektedir. Mühendislik ve temel bilimlerin bilgi tabanına ve teknolojik gelişmelere ışık tutması amacıyla bu alanlarda yapılmış deneysel ve teorik ilerlemeleri konu alan özgün araştırma makalelerine, 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. **Fluorescent Copper Phosphate Nanoflowers: A Novel Toxicity Investigation Study Based On *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) Larvae** 975-984  
*Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) Larvasında Gerçekleştirilen Yeni Bir Toksik Araştırma: Floresan Bakır Fosfat Nano Çiçekler  
A. Eskin, C. Altınkaynak, M. Türk, N. Özdemir
2. **Borik Asit ve Boraks Pentahidrat Kristalleri için Kekleşmenin İncelenmesi** 985-996  
*Investigation of Caking for Boric Acid and Borax Pentahydrate Crystals*  
s. Kutluay, M.S. İzgi, Ö. Şahin, A.A. Ceyhan
3. **Değişken gecikmeli kısıtlı stokastik kontrol geçiş sistemleri için regülatör problemi** 997-1005  
*Regulator problem of restricted stochastic switching systems with variable delay*  
Ç. Ağayeva
4. **Investigation of Anatomical, Ecological and Trichome Morphological Features of Two Endemic *Symphytum* Species** 1006-1023  
*İki Endemik *Symphytum* Türünün Anatomik, Ekolojik ve Tüy Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi*  
H. Yakupoğlu, N. Kandemir, A. Cansaran
5. **Doğal Oksit Arayüzey Tabakalı Zr/p-Si Schottky Diyotlarının Yüksek Frekanslarda Kapasite-Gerilim ve İletkenlik-Gerilim Karakteristiklerinin Analizi** 1024-1030  
*The Analysis of Capacitance-Voltage and Conductance-Voltage Characteristics of Zr/p-Si Schottky Diodes with a Native Oxide Interfacial Layer at High Frequencies*  
D.A. Aldemir, H.E. Lapa, A.F. Özdemir, N. Uçar
6. **The Electrical Properties of Fabricated Pentacene Based Phototransistor with Polystyrene Gate Insulator** 1031-1039  
*Polistren Kapı Yalıtkanı ile Pentasen Fototransistör İmalatı*  
S. Ruzgar, M. Caglar
7. **İncir Ağaçlarının (*Ficus carica* L.) Yapraklarından Elde Edilen Bitki Çayının Bazı Özelliklerinin Araştırılması** 1040-1047  
*Investigation of Some Properties of Plant Tea from Leaves of Fig Trees (*Ficus carica* L.)*  
N. Yüksel, E. Vural, M. Sürmen
8. **Hazar Gölü çevresinde yaşayan Neuroptera (Insecta) faunasının saptanması** 1048-1059  
*Detection of Neuroptera (Insecta) fauna living around Hazar Lake*  
N. Koyuncu, S. Tusun
9. **Effects on mantel-haenszel chi-square statistic of scores in two-way contingency tables** 1060-1070  
*İki-yönlü olumsuzluk tablolarında skorların mantel-haenszel ki-kare istatistiği üzerine etkileri*  
E. Nazman, H. Olmuş
10. **Sülfodiazin, Sülfomerazin ve Sülfometazinin İyonlaşma Sabitlerinin Potansiyometrik Titrasyon Yöntemi ile Tayini** 1071-1079  
*Determination of Ionization Constants of Sulfodiazine, Sulfomerazine and Sulfomethazine by Potentiometric Titration Method*  
D. Başat Dereli, A.G. Alsancak
11. **Conformable Kesirsel Mertebeden Tam Değer Fonksiyonlu Lojistik Modelin Kararlılık ve Çatallanma Analizi** 1080-1090  
*Stability and Bifurcation Analysis of a Conformable Fractional Order Logistic Model with Piecewise Constant Arguments*  
G. Kaya, Ş. Kartal

12. **Hiperbolik Denklem İçeren Bir Optimal Kontrol Probleminin Nümerik Çözümü Üzerine** 1091-1101  
*On Numerical Solution of an Optimal Control Problem Including Hyperbolic Equation*  
S. İğret Araz
13. **Nuclear Shell Model Calculations for Ca Isotopes** 1102-1107  
*Ca İzotopları için Nükleer Kabuk Modeli Hesaplamaları*  
S. Akkoyun, Y. Ayhan, T. Bayram
14. **A Note on Finsler Version of Ambrose Theorem** 1108-1114  
*Ambrose Teoreminin Finsler Versiyonu Üzerine Bir Not*  
Y. Soylu
15. **Soil radon gas emission on the Sivrice (Elazığ, Turkey) fault zone between 2007-2008 years** 1115-1123  
*2007-2008 Yılları Arasında Sivrice (Elazığ, Türkiye) Fay Bölgesinde Toprak Radon Gazı Emisyonu*  
S. Şahin Bal, M. Doğru
16. **Tiyosemikarbazit ve bis-1,2,4-triazol Türevlerinin Antikanser, Apoptotik ve Antibakteriyal Etkileri** 1124-1133  
*Anticancer, Apoptotic and Antibacterial, Effects of Thiosemicarbazid and bis-1,2,4-Triazole Derivatives*  
G. Koçak, E. Akdemir
17. **Saccharomyces cerevisiae’de Hidrojen Peroksit ile Oluşturulan Oksidatif Hasara Karşı Karadut (Morus nigra L.) ve Kızılcık (Cornus mas L.)’in Bazı Moleküler Biyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkisi** 1134-1144  
*Effect of Black Mulberry (Morus nigra L.) and Cranberry (Cornus mas L.) on Some Molecular Biological and Biochemical Parameters Against Oxidative Damage Caused by Hydrogen Peroxide in Saccharomyces cerevisiae*  
S. Beyaz, L. Kadioğlu Dalkılıç, Ö. Gök, A. Aslan
18. **Fatsa-Sarmaşık Kaplıcasında Radon Aktivite Konsantrasyonunun Belirlenmesi (Ordu İli)** 1145-1152  
*Determination of Radon Activity Concentration in Fatsa-Sarmaşık Spa (Ordu Province)*  
S. Uzun Duran, B. Küçükömeroğlu, H. Taşkın
19. **Muğla İli Memeli Faunasına Katkılar** 1153-1165  
*Contributions to the Mammalian Fauna of Muğla Province*  
Y. İlemin
20. **Van’da yetiştirilen evcil güvercinlerde (Columba livia domestica) Trichomonas gallinae (Rivolta, 1878) prevalansı** 1166-1170  
*The prevalance of Trichomonas gallinae (Rivolta, 1878) in domestic pigeons (Columba livia domestica) in Van*  
A.B. Yılmaz
21. **Elektro Eğirme Yöntemiyle Üretilen TiO<sub>2</sub>-RGO Kompozit Tabanlı Kuantum Nokta Duyarlı Güneş Pilleri** 1171-1179  
*TiO<sub>2</sub>-RGO Composite Based Quantum Dot Sensitized Solar Cells via Electrospinning Technique*  
M. Yalçın
22. **Bats in Southeastern Turkey (Mammalia: Chiroptera)** 1180-1187  
*Güneydoğu Türkiye Yarasaaları (Mammalia: Chiroptera)*  
T. Yorulmaz, K. Toyran, İ. Albayrak

---

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

---

23. **Customer Behavior Analysis by Association Rules Mining** 1188-1209  
*Birliktelik Kuralları ile Müşteri Davranışlarının Analizi*  
G.N. Yücenur, Y. Yaygan, H. Tevge, G. Demir
24. **Homojen Kum Zeminlerde Optimum İyileştirme Derinliğinin Deneysel Olarak Belirlenmesi** 1210-1218  
*Experimental Determination of Optimal Improvement Depth in Homogeneous Sand Soils*  
H.S. Aksoy, A. İçen

25. **Dizel Motorlarda EGR Gazlarının Soğutulmasında Harici Elektronik Kontrollü Soğutma Stratejisinin BSFC ve NO<sub>x</sub> Emisyonlarına Etkisi** 1219-1230  
*The Effect of External Electronically Controlled Cooling Strategy in Diesel Engines on BSFC and NO<sub>x</sub> Emissions in EGR Gas Cooling*  
H.İ. Akolaş, A. Kaleli, K. Bakırcı
26. **Bir Üretim İşletmesinde Departmanların Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Ergonomik Analizi** 1231-1241  
*Ergonomics Analysis of Departments in a Production Enterprise by Analytical Hierarchy Process Method*  
M. Işık, C. Dağsuyu
27. **PV Panellerin Farklı Koşullar Altında I-V Eğrisini Çıkartan ve Maksimum Güç Noktası Takibi Yapan Deney Sisteminin Tasarımı** 1242-1250  
*Design of an Experimental Test Bench to Obtain I-V Curve and to Track Maximum Power Point of PV Modules under Different Conditions*  
A. Durusu, A. Erduman
28. **Kameradan Alınan Görüntünün CNC Tezgâhında Gerçek Zamanlı Olarak İşlenmesi** 1251-1263  
*Real-Time Processing of the Image Taken from the Camera on the CNC Machine*  
S. Öztürk, M. Kuncan
29. **Santrifüj Dekantör Helezonunun Sonlu Elemanlar Analizi** 1264-1272  
*Finite Element Analysis of Centrifugal Decanter Screw*  
G. Sarı, A.A. Akış, G. Üğüdücü
30. **Investigation of Crushing Behavior of Polystyrene Coated Spherical Shaped Aluminum Foams** 1273-1281  
*Polistiren Kaplı Küresel Şekilli Alüminyum Köpüklerin Ezilme Davranışlarının Araştırılması*  
A. Uzun
31. **Hasenekevlere (Maden-Elazığ) Güneyindeki Diyabazlarda Gelişen Hidrotermal Cu Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Alterasyon Jeokimyası** 1282-1296  
*Geology and Alteration Geochemistry of Hydrothermal Cu Mineralization in the Diabases to the Southern of Hasenekevlere (Maden-Elazığ)*  
C. Yalçın, M. Kumral, M. Kaya, M. Karaman
32. **Köprülerin Yapısal Analizinde Hareketli Yük Dağıtma Katsayıları Etkisinin İncelenmesi** 1297-1305  
*Investigation of Live Load Distribution Factors Effect in Structural Analysis of Bridges*  
F. Ülker Peker, R. İnce
33. **Mezofilik ve Termofilik Anaerobik Çürütmenin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Fayda, Maliyet ve Risk Açısından Karşılaştırılması** 1306-1314  
*Comparison of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion with Multi-Criteria Decision Making Methods in terms of Benefit, Cost and Risk*  
E. Adar
34. **24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi Depreminin (M<sub>w</sub>=6.9) Sonlu-Fay Dalga Şekli Ters Çözümü** 1315-1326  
*Finite-fault Waveform Inversion of the May 24, 2014 Northern Aegean Sea Earthquake (M<sub>w</sub> = 6.9)*  
E. Budakoğlu, M. Utkucu
35. **Kum Zeminlerde İlave Düşey Gerilmenin Derinlikle Değişiminin Farklı Yöntemlerle İncelenmesi** 1327-1336  
*Investigation the Change of Additional Vertical Stress by Depth in Sand Soil by Different Methods*  
M.F. Yazıcı, R. Akan, S.N. Keskin
36. **Bazı Tarihi Yerleşimlere Ait Çevresel Faktörlerin CBS Destekli Analizi; Kilikya Bölgesi Örneği** 1337-1350  
*Analysis Using GIS of Environmental Factors of Some Historical Settlements; Cilicia Region*  
İ. Kaya, A. Demir Yetiş



37. **Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi** 1351-1363  
*Analysis of Lebit Energy Solar Power Plants with Pvsyst Program*  
H.K. Demiryürek, U. Arifoğlu, M. Bolat
38. **Diferansiyel Evrim Algoritması Uç Öğrenme Makinesi (DGA-UÖM) Kullanarak Derin Özelliklere Dayalı EKG İşareti Sınıflandırma Tekniği** 1364-1376  
*ECG Signal Classification Technique Based on Deep Features Using Differential Evolution Algorithm Extreme Learning Machine (DEA-ELM)*  
A. Diker, E. Avcı
39. **Gauss Karma Modellerin Özellikleri ve Değişken Parçalanmalarına Dayalı Kümeleme** 1377-1388  
*Properties of Gaussian Mixture Models and Variable Segmentations Based Clustering*  
M. Gögebakan
40. **Investigation of Some Microbiological and Chemical Properties of Different Cheeses** 1389-1400  
*Farklı Peynir Çeşitlerinin Bazı Mikrobiyolojik ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması*  
S. Harmankaya, A. Harmankaya
41. **İzole Sinyalize Kavşaklar için Çiçek Tozlaşma Algoritması Kullanılarak Devre Süresi Modellerinin Geliştirilmesi** 1401-1414  
*Development of Cycle Length Models using Flower Pollination Algorithm for Isolated Signalized Intersections*  
A.P. Akgüngör, S. Yavuz, E. Korkmaz, E. Doğan
42. **Kentsel Katı Atıklar ve Geri Kazanımlarının Faydaları; Eskişehir Örneği** 1415-1424  
*Benefits of Urban Solid Wastes and Recycling; The Case of Eskişehir*  
H. Durmaz Bekmezci, H. Çetin
43. **Multi-analytical Investigation of Early Bronze Age Cooking Pots with Triangular Handles (Tilbaşar, Turkey)** 1425-1436  
*Tilbaşar Höyük Erken Tunç Çağı Üçgen Kulplu Mutfak Kaplarının Çoklu Analitik Yöntemlerle İncelenmesi*  
Ç O. Ekinci, M. Bayazit, E. Genç
44. **Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretilen Cu-Sn/Ni Kompozitinin Elektriksel İletkenliğine Isıl İşlemin Etkileri** 1437-1448  
*Effects of Heat Treatment on Electrical Conductivity of Cu-Sn / Ni Composite Produced by Powder Metallurgy Method*  
T. Yıldız, N. Katı, N. Bozkurt

---

**Derleme Makaleleri / Review Articles (Basic Science)**

45. **Antropojenik Faaliyetler Nedeniyle Değişen Çevrenin Yarasalar Üzerine Etkileri** 1449-1459  
*The Effects of the Changing Environment due to Anthropogenic Activities on Bats*  
A. Arslan, M. Baş
46. **Sonlu Noktası Çıkarılmış Disk Üzerindeki Örgüler** 1460-1468  
*Braids on a Finite Punctured Disk*  
A. Meral, M. Demirtaş
-

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Fluorescent Copper Phosphate Nanoflowers: A Novel Toxicity Investigation Study Based On *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) Larvae**

Ata ESKİN<sup>1</sup>, Cevahir ALTINKAYNAK<sup>1\*</sup>, Merve TÜRK<sup>2</sup>, Nalan ÖZDEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Avanos Vocational School, Department of Plant and Animal Production, 50500, Nevşehir, Turkey

<sup>2</sup>Erciyes University, Faculty of Science, Department of Chemistry, 38039, Kayseri, Turkey  
(ORCID: 0000-0002-7953-654X) (ORCID0000-0003-0082-8521)  
(ORCID:0000-0003-0833-3224) (ORCID: 0000-0002-8930-5198)

**Abstract**

Organic-inorganic hybrid nanoflowers with commercialization potential are the novel materials and are widely used in many experimental applications, recently. However their potential toxicity values of these nanoflowers are still unknown. In this study, fluorescent copper phosphate nanoflowers (FCPnfs) were first synthesized to constructed via organic-inorganic hybrid nanoflower synthesis method. The morphological features of FCPnfs (acridine orange amount, shape, size) were analyzed. The results showed that different amount of acridine orange caused different morphology and the organic component were homogeneously distributed inside the nanoflowers. These materials were characterized by SEM, EDX, XRD, and FTIR techniques. The toxic effects of the as-prepared FCPnfs were investigated in *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) larvae compared to pure copper phosphate nanoflowers (CPnfs). Nanoflowers were force feed to larvae at the different doses of 0.001, 0.005, 0.010, 0.025, 0.050, 0.100 mg/10 µl. According to probit assay, LC<sub>50</sub> and LC<sub>99</sub> values of FCPnfs were found 0.490 and 0.145 mg/10 µl, respectively. On the other hand, LC<sub>50</sub> and LC<sub>99</sub> values of CPnfs were detected 0.066 and 0.172 mg/10 µl, respectively. It was found that the insect exhibited slightly more resistance to CPnfs than FCPnfs when compared to both chemical toxic values. These findings will be offer a new insight into the researchers about knowing the toxic effect of the skeletal structure of new materials to be synthesized using the organic-inorganic hybrid nanoflower method.

**Keywords:** Copper phosphate, nanoflowers, toxic effects.

***Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) Larvasında Gerçekleştirilen Yeni Bir Toksik Araştırma: Floresan Bakır Fosfat Nano Çiçekler**

**Öz**

Son zamanlarda birçok deneysel uygulamada yaygın olarak kullanılan organik-inorganik hibrit nano çiçekler ticarileşme potansiyeline sahip yeni malzemelerdir. Ancak bu nano çiçeklerin toksik etkileri hala bilinmemektedir. Bu çalışmada, ilk defa organik-inorganik hibrit nano çiçek sentez metodu kullanılarak floresan bakır fosfat nano çiçekler (FCPnfs) sentezlendi, morfolojik özellikleri (akridin orange miktarı, şekli, boyutu) analiz edildi. Sonuçlar, farklı miktarda akridin orange'ın farklı morfolojiye neden olduğu ve organik bileşenin nano çiçeklerin içinde homojen bir şekilde dağıldığını gösterdi. Sentezlenen malzemelerin karakterizasyonları SEM, EDX, XRD ve FTIR teknikleri ile gerçekleştirildi. Model organizma olarak seçilen *Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) larvalarında sentezlenen FCPnfs'lerin toksik etkileri, saf bakır fosfat nano çiçekleriyle (CPnfs) karşılaştırmalı olarak incelendi. Larvalara nano çiçekler, 0.001, 0.005, 0.010, 0.025, 0.050, 0.100 mg/10µl olacak şekilde farklı dozlarda zorla besleme yapıldı. Yapılan probit analizine göre, FCPnfs'in LC<sub>50</sub> değeri 0.490 mg/10 µl iken LC<sub>99</sub> değeri 0.145 mg/10 µl bulundu. Öte yandan, CPnfs'nin LC<sub>50</sub> değeri 0.066 mg/10 µl iken LC<sub>99</sub> değeri 0.172 mg/10 µl bulundu. Elde edilen toksik veriler değerlendirildiğinde; *Tenebrio molitor* larvalarının CPnfs'ye

\*Sorumlu yazar: [caltinkaynak@nevsehir.edu.tr](mailto:caltinkaynak@nevsehir.edu.tr)

Geliş Tarihi: 26.07.2019, Kabul Tarihi: 14.07.2020

FCPnfs'den biraz daha fazla direnç gösterdiği bulundu. Bu bulgular, organik-inorganik hibrit nano çiçek yöntemi kullanılarak sentezlenecek yeni malzemelerin iskelet yapısının toksik etkisinin bilinmesi hakkında araştırmacılara yön gösterecektir.

**Anahtar kelimeler:** Bakır fosfat, nano çiçekler, toksik etki.

## 1. Introduction

Organic-inorganic hybrid nanoflowers have received considerable attention with their high potential use in catalysis, adsorption, separation, sensing, drug delivery, energy storage, chemical and biological areas over the last six years [1-5]. The hybrid nanoflowers are synthesized via self-assembly method which included an organic and inorganic components [6-8]. In order to synthesize hybrid nanoflowers, proteins, enzymes, DNA, plant extracts and some organic molecules have been used as the organic components, while the copper (II) ion has commonly used as the inorganic component. [9-12]. Different metal ions such as  $\text{Co}^{2+}$ [13],  $\text{Mn}^{2+}$  [14],  $\text{Zn}^{2+}$ [15], and  $\text{Ca}^{2+}$ [16] can also be used for the synthesis of the hybrid nanoflowers. The technique that had been mentioned previously included three following steps: (1) nucleation, (2) growth and (3) completion [1, 6, 10]. The applications of hybrid nanoflowers are increasing broadly in every field, and they are being tested many novel industrial applications for the benefit of mankind at laboratory conditions [4, 10, 14, 17]. Up to date; Ildiz et al. successfully synthesized copper hybrid nanoflowers containing the extract of *Viburnum opulus* Linnaeus, 1758 (Dispacales: Caprifoliaceae) and reported peroxidase-like activity [11]. Then they proved that their effective antimicrobial activity against bacterial (*Escherichia coli* (Migula, 1895) (Enterobacteriales: Enterobacteriaceae), *Salmonella typhi* (Schroeter, 1886) (Enterobacteriales: Enterobacteriaceae), *Enterococcus faecium* (Orla-Jensen, 1919), *E. faecalis* (Andrewes and Horder, 1906) (Lactobacillales: Enterococcaceae), *Bacillus cereus* Frankland and Frankland, 1887 (Bacillales: Bacillaceae), *Staphylococcus aureus* Rosenbach, 1884 (Bacillales: Staphylococcaceae), except *Pseudomonas aeruginosa* (Schroeter, 1872) (Pseudomonadales: Pseudomonadaceae) and *Hemofilus influenza* (Lehmann and Neumann, 1896) (Pasteurellales: Pasteurellaceae) and fungal pathogens (*Candida albicans* (Robin) Berkhout (1923), and *C. glabrata* (Anderson, 1917) (Saccharomycetales: Saccharomycetaceae). The good antimicrobial materials should have either little or no toxic effect on environment.

Nanomaterials have potent risks to the environment with their concentration, morphology, migration, and transformation processes [18]. The smaller nanoparticles having large surface area are more toxic than larger particles [19]. In addition, the toxicity of nanomaterials might be stemmed from the rigid particle frameworks [20], including metal ions [21] or organic component type. Previous studies have reported that copper and copper nanoparticles damaged the liver and kidney of *Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758 (Cyrpniformes: Cyprinidae) [22] and proved that copper sulfate caused more severe damages compared to copper nanoparticle. Another study indicated that the toxicity of CuO nanoparticles was based on the dissolved  $\text{Cu}^{2+}$  [20].

When the organic-inorganic hybrid nanoflowers are used as an industrial material, inevitably, it will be released into the environment like other nanoparticles [23, 24]. However, the harmful effects of organic-inorganic hybrid nanoflowers and rigid framework's (pure copper phosphate nanoflowers) on living organisms are still unknown. Therefore; the major source of nanoparticle toxicity should be investigated due to the possibility of their industrial limitation.

*Tenebrio molitor* Linnaeus, 1758 (Coleoptera: Tenebrionidae) is a globally harmful insect that causing a high loss commodity in stored grains [25] and is an excellent model organism in toxicology researches because of similarities between nervous system of humans and insects [25]. On the other hand, *T. molitor* can be easily cultured in the laboratory with easily supplied materials such as flour, wheat bran, carrot and potato. Nanomaterials can be given into the insects via force-feeding [26, 27]. In the present study; *T. molitor* was used as a model organism for the reasons stated above. To the best of our knowledge, there has been no report on the formation of fluorescent copper phosphate hybrid nanoflowers including acridine orange (FCPnfs) which is both a fluorescent and toxic substance [28]. The aim of this study were to: (a) observe the distribution of acridine orange molecules to overall the organic-inorganic hybrid nanoflowers, and (b) also evaluate the toxic part and levels of the nanoflowers using *T. molitor* larvae as a model organism.

## 2. Materials and Methods

This studies are conducted at Science Technology Application and Research Center Laboratory and Plant and Animal Production Department Laboratory of Nevsehir Hacı Bektas Veli University, Avanos Vocational School in 2018.

### 2.1. Chemicals and Materials

Acridine Orange (AO), copper sulfate pentahydrate ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), and other chemicals were supplied from Sigma-Aldrich firm. For the preparation of phosphate buffer solution,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{NaOH}$ ,  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{HCl}$  were supplied and buffer solution was prepared with using ultrapure water (18.2 M $\Omega$ ; Millipore Co., USA) and these chemicals. The following materials were used in studies with insects; bath type sonicator, wheat bran plastic boxes (20 mL) (51 mm x 34 mm x 19 mm), micro-fine insulin syringe (29 gauges), ethyl alcohol (70%), purified water, stereo microscope and cotton.

### 2.2. Preparation of Fluorescent Copper Phosphate Nanoflowers

Fluorescent copper phosphate nanoflowers (FCPnfs) were synthesized according to the previous works with some modifications [1-7,9] At first, 120 mM copper sulfate pentahydrate solution was prepared. 333  $\mu\text{L}$  of this solution (0.8 mM) was added to 50 mL of phosphate buffered saline (PBS) solution (10 mM, pH 7.4) containing different amounts of acridin orange (AO) (50  $\mu\text{L}$ , 100  $\mu\text{L}$ , 250  $\mu\text{L}$  and 500  $\mu\text{L}$ ) in four different test tubes. Then, the mixture was vigorously vortexed for 30 sec. After incubation in the dark at +4°C for 3 days (Figure 1), the nanostructures were centrifuged 6.000 rpm for 15 min to obtain precipitates and washed with water for three times to remove unbounded molecules. The collected precipitates were dried 50°C under vacuum for using other analyses. For pure copper phosphate nanoflowers (CPnfs), copper (0.8 mM) were dissolved in PBS without any organic component. And similar process was followed.



**Figure 1.** Illustration of the experimental process for fluorescent copper phosphate nanoflowers and the corresponding scheme for toxicity of *T. molitor*

### 2.3. Characterization of Fluorescent Copper Phosphate Nanoflowers (FCPnfs)

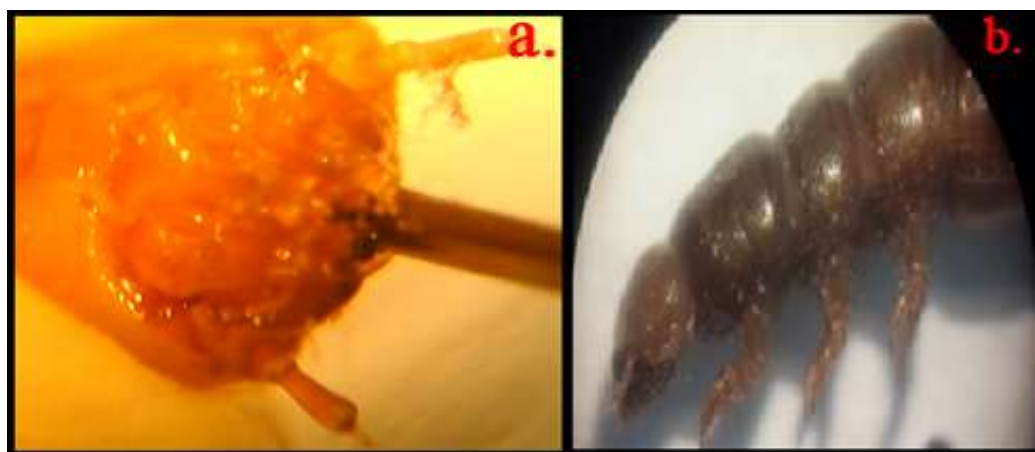
The morphologies of the prepared fluorescent copper phosphate nanoflowers (FCPnfs) were inquired using field emission scanning electron microscope (SEM) (ZEISS). For this reason, dry FCPnfs were deposited on stub, after sputter coating device was coated with gold source. The energy-dispersive X-ray technique (EDX) performed for determining weight and atomic percentage of Cu element in FCPnfs. The crystal and chemical structure of FCPnfs were determined using the X-ray diffraction analysis (XRD) (BRUKER AXS D8) and the Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) (Perkin Elmer Spectrum 400), respectively. The phase contrast and fluorescent microscopy images were recorded on CNOEC, OPTO-EDU microscope.

### 2.4. Insects

The larvae of *T. molitor* (n=20) were maintained (and reared under  $26 \pm 2^\circ\text{C}$ ,  $60 \pm 5\%$  relative humidity and dark conditions in our laboratory at Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Avanos Vocational School, Nevşehir, Turkey).

### 2.5. Experiments to Determine the Values of Lethal Concentration 50 (LC<sub>50</sub>) of FCPnfs and CPnfs on *T. molitor* Larvae

The toxicity studies were based on protocols from two different studies [25, 29]). In this context, FCPnfs and CPnfs were dissolved in purified water to prepare stock solution (0.001, 0.005, 0.01, 0.025, 0.05, 0.1 mg/10 µl/larva). FCPnfs and CPnfs doses were prepared to determine the acute toxicity on larvae, respectively. Both experiments were performed in separate arrangements and performed at different times. Larvae ( $85.50 \pm 17$  mg weight) for FCPnfs toxicity and larvae ( $93 \pm 20$  mg weight) for CPnfs toxicity were selected for the force feeding treatment from the insect culture. Determinated larvae were starved for 1 day. The FCPnfs and CPnfs stock solutions were homogenized in eppendorf tube using a bath type sonicator with operating at 40 degrees for 10 minutes. After this, larvae were force fed with 10µl of these solutions with different doses (0.001, 0.005, 0.01, 0.025, 0.05, 0.1 mg/10 µl) (Figure 1). Also another control and experiment group larvae force fed with 10 µl of the homogenized CPnfs with a micro-fine insulin syringe (29 gauges) using the stereo microscope (Figure 2a). The micro-fine insulin syringe was sterilized with alcohol impregnated cotton (70%) at the end of each force fed application. After force feeding experiment, each larva was subjected to a 2g diet (only wheat bran) and was observed daily for 5 days until at any dose all larvae died (Figure 2b).



**Figure 2.** (a) Forcefeeding treatment to *T. molitor* larvae, (b) Dead *T. molitor* larvae (40X magnification)

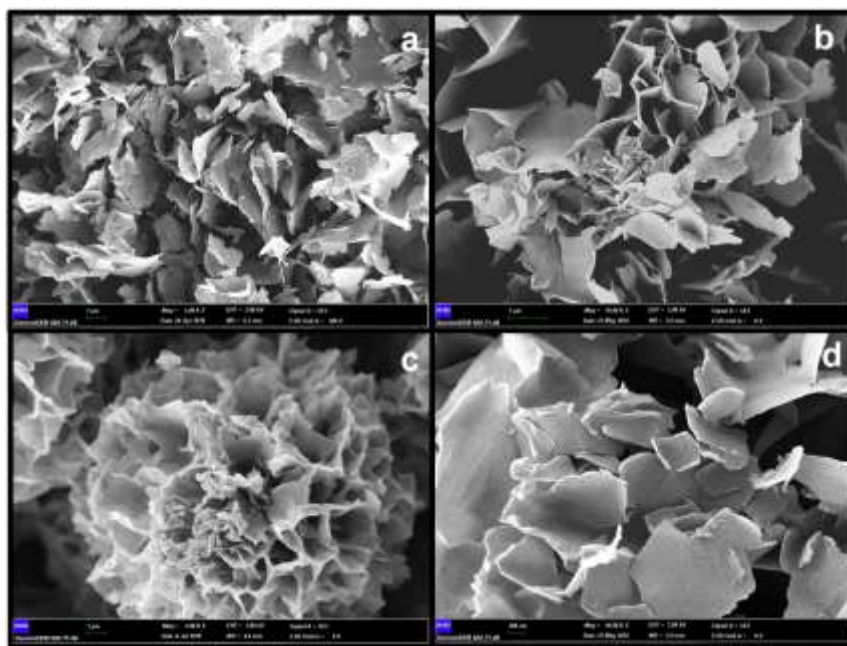
20 larvae were used in the each different doses (a total of 4 replicate experiments were established with 5 larvae in one replicate). The lethal concentrations (LC<sub>50</sub>, LC<sub>60</sub>, LC<sub>70</sub>, LC<sub>80</sub>, LC<sub>90</sub> and LC<sub>99</sub>) of FCPnfs and CPnfs were established with probit analysis (SPSS software (IBM, NY, USA) 95% confidence levels) (Table 1).

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. Characterization of Fluorescent Copper Phosphate Nanoflowers (FCPnfs)

The synthesized FCPnfs were characterized using some techniques such as SEM, EDX, XRD, and FTIR. Firstly, FCPnfs SEM images including different amounts of AO were evaluated, to understand the effect of AO concentration on the morphology (Figure 3). The effect of AO amount on synthesis of nanostructures was evaluated ranging from 50 to 500  $\mu\text{L}$  AO. At lower levels of organic component (50  $\mu\text{L}$  AO), no flower morphology were formed due to lack of nucleus area formation (Figure 3a). When AO amount (100  $\mu\text{L}$  AO) was doubled in synthesis solution, sufficient nucleus sites were observed and caused separate nanoscale petals to appear (Figure 3b). In growth process,  $\text{Cu}^{2+}$  binding sites on the surfaces of the agglomerates cause copper phosphate crystals. When the organic component was presented in the optimum amount (250  $\mu\text{L}$  AO) in the synthesis solution, nucleation sites are induced and result in anisotropic growth and cause more uniform and monodisperse flower-like morphology (Figure 3c). When using more number of AO (500  $\mu\text{L}$  AO), the uniform and spherically shaped nanoflower morphology was scattered and creates large petals (Figure 3d). More number of organic molecules probably prevented the petals from binding together during the growth process. The concentrations of organic and inorganic components played a key role in the self-assembly process, hence the experimental condition must be optimized. The average particle size of optimized FCPnfs were determined to be 12  $\mu\text{m}$  (Figure 3c).

To understand the distribution of organic components in FCPnfs, AO was added, and fluorescent microscopy images were analyzed as shown in Figure 4. Here, organic molecules (AO) were obtained that homogeneously distributed inside the nanoflowers like copper ions [17].

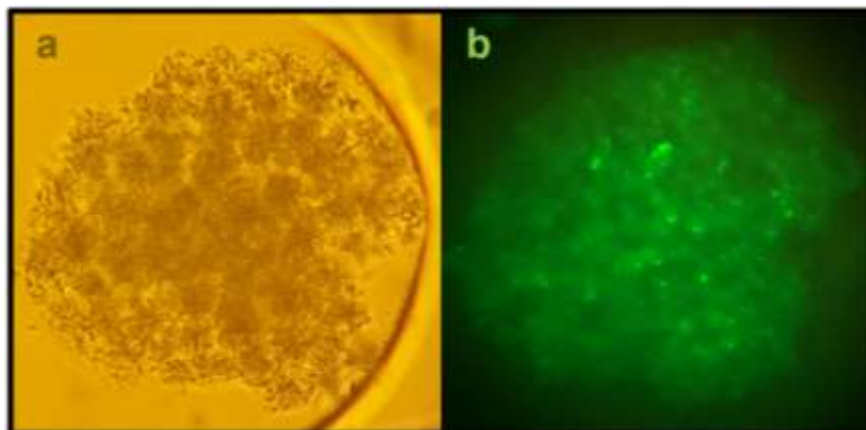


**Figure 3.** Scanning electron micrographs of fluorescent copper phosphate nanostructures formed with (a) 50  $\mu\text{L}$  AO; (b) 100  $\mu\text{L}$  AO; (c) 250  $\mu\text{L}$  AO; and (d) 500  $\mu\text{L}$  AO

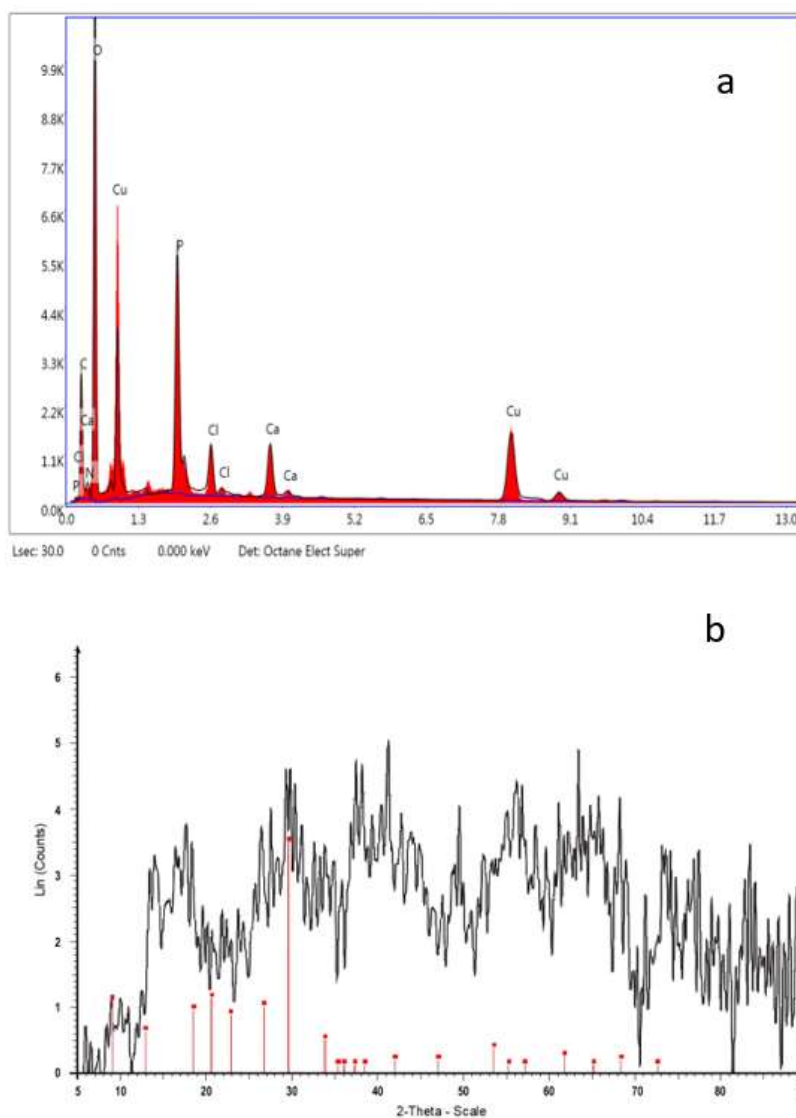
The EDX pattern of the FCPnfs was shown in Figure 5a. Figure 4a indicated to presence of C, O, Cu, P, and N atoms. The Cl peaks were stemmed from synthesis buffer. The trace element Ca ion was determined due to contamination of synthesis buffer. As shown in In Figure 5b; XRD analysis indicated the FCPnfs mainly matched with the crystal structure  $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (JCPDS card no 00-022-0548, red line). This data explained about that the copper ion was incorporated into the crystalline structure of FCPnfs.

FTIR spectrums of pure AO and FCPnfs were shown in the range 4.000-400  $\text{cm}^{-1}$  (Figure 6). The characteristic vibrations in the spectrum of AO was fit well with FCPnfs. The strong bands at around at 1.621 and 3.289  $\text{cm}^{-1}$ , can be assigned to N-H, H-O-H and C=C stretching vibrations [30]. In spectrum,

the peaks at 1.045, 959, 630, and 556  $\text{cm}^{-1}$  demonstrated existence of phosphate groups [7]. These results illustrated that FCPnfs contains the AO molecules.



**Figure 4.** (a) The phase contrast and (b) Fluorescent microscopy images of Fns formed with 250  $\mu\text{l}$  AO (100x magnification)



**Figure 5.** (a) EDX analysis and (b) XRD diagram of synthesized FCPnfs ( $\text{Cu}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ , JCPDS card no (00-022-0548, Red line)

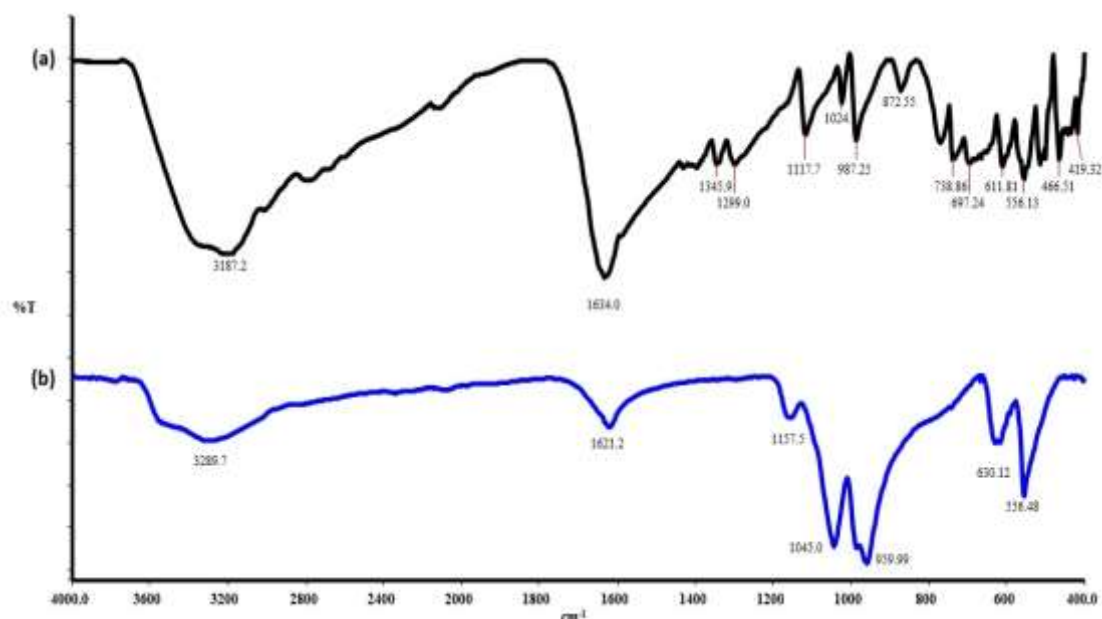


Figure 6. FTIR analysis of (a) acridin orange (AO) and (b) FCPnfs

### 3.2. Insect Toxicity Tests

To examine the different lethal concentrations of FCPnfs and CPnfs in *T. molitor* larvae, the larvae fed with FCPnfs and CPnfs at several concentrations (ranging between 0.001 and 0.100 mg/10  $\mu$ l) (Table 1). Then larvae were placed into the experiment boxes (20 mL (51 mm x 34 mm x 19 mm) plastic boxes). The vitality of larvae were checked on a daily basis for 5 days. Different lethal concentrations of FCPnfs were determined as LC<sub>50</sub>: 0.49, LC<sub>60</sub>: 0.60, LC<sub>70</sub>: 0.71, LC<sub>80</sub>: 0.84, LC<sub>90</sub>: 0.102 and LC<sub>99</sub>: 0.145 mg/10  $\mu$ l. On the other hand, lethal concentrations of CPnfs were also determined as LC<sub>50</sub>: 0.066, LC<sub>60</sub>: 0.078, LC<sub>70</sub>: 0.090, LC<sub>80</sub>: 0.105, LC<sub>90</sub>: 0.125 and LC<sub>99</sub>: 0.172mg/10  $\mu$ l as shown in Table 1.

The results demonstrated that FCPnfs at the concentration of 0.100 mg/10  $\mu$ l were caused 100% mortality on *T. molitor* larvae in 5 days exposure time. However, CPnfs displays 85% mortality in the same nfs concentration. Probit analysis demonstrated that *T. molitor* was susceptible to FCPnfs. Table 1 also showed that at higher doses, such as >0.05 mg/10  $\mu$ l were more toxic in both nanoflowers (with more than 10 dead larvae). This suggests that higher doses of nanoflowers were extremely disrupted the metabolisms of the larvae and caused the death of *T. mollitor* larvae within 5 days (Table 1). Based on these, FCPnfs including acridine orange is more toxic (LC<sub>50</sub>: 0.49 mg/10  $\mu$ l) than CPnfs (LC<sub>50</sub>:0.066 mg/10  $\mu$ l). Acridin orange may have made of increasing impact on the toxic effect of the FCPnfs. Because the cytotoxic effect of free AO on bladder cancer cells was reported by Nishi and co-workers [30].

According to the previous results, the mechanisms of acute toxicity are defined as “necrosis, acetylcholinesterase inhibition, ion channel modulators, inhibitors of cellular” [31,32]. Carmona and co-workers indicated that CuONPs are genotoxic in *Drosophila* (Meigen, 1830) (Diptera: Drosophilidae) and the oxidative stress may be mediated to these effects and most of the effects appear to be related to the presence of copper ions [33]. Another study, CuONP-induced toxicity was inquired using *Drosophila* as an *in-vivo* model. They observed that CuONPs increased in the body, and caused a dose dependent decrease in egg to adult survivorship and a delay in development [34]. Furthermore, the effects of CuO and copper sulphate nanoparticles on detoxification enzymes in the gut and fat body of *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae) as a model organism were also determined by Tuncsoy and co-workers [35].

In conclusion, the reason of observed larval deaths seen in this study can be due to the mechanism of FCPnfs and CPnfs toxicity at the cellular, enzymatic, biochemical, and genetic levels in *T. mollitor* larvae mentioned above studies [30-33, 35].



**Table 1.** Toxicity of FCPnfs on *T. molitor* larvae ( $85.50 \pm 17$  mg weight) and toxicity of CPnfs on *T. molitor* larvae ( $93 \pm 20$  mg weight) that exposed to nfs for 5d under laboratory conditions ( $26 \pm 2^\circ\text{C}$  and  $60 \pm 5\%$  RH). Purified water was used as a control

FCPnfs CPnfs mg/10 $\mu\text{l}$ larvae	*No. of exposed larvae (n=20)	No. of dead larvae	Lethal concentration	Probability doses (mg)	95% Confidence limits**	
<b>***FCPnfs</b>						
Control	20	2			<b>Lower</b>	<b>Upper</b>
0.001	20	3	LC <sub>50</sub>	0.49	0.018	0.468
0.005	20	1	LC <sub>60</sub>	0.60	0.320	0.730
0.010	20	4	LC <sub>70</sub>	0.71	0.420	1.018
0.025	20	9	LC <sub>80</sub>	0.84	0.052	1.355
0.050	20	12	LC <sub>90</sub>	0.102	0.063	1.825
0.100	20	20	LC <sub>99</sub>	0.145	0.087	2.943
<b>***CPnfs</b>						
Control	20	2				
0.001	20	3	LC <sub>50</sub>	0.066	0.042	0.156
0.005	20	1	LC <sub>60</sub>	0.078	0.052	0.198
0.010	20	1	LC <sub>70</sub>	0.090	0.061	0.244
0.025	20	4	LC <sub>80</sub>	0.105	0.071	0.299
0.050	20	10	LC <sub>90</sub>	0.125	0.084	0.376
0.100	20	17	LC <sub>99</sub>	0.172	0.113	0.559

\* 20 larvae were used in the each different doses (a total of 4 replicate experiments were established with 5 larvae in one replicate).

\*\* Results are given with minimum and maximum confidence limits, FCPnfs-probit; Chi-Square=23.130, df=7, P=0.000, (Cu<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>) crystals probit; Chi-Square=13.343, df=7, P=0.020.

\*\*\*Larvae ( $85.50 \pm 17$  mg weight) for FCPnfs toxicity and larvae ( $93 \pm 20$  mg weight) for CPnfs toxicity were selected for the force feeding treatment from the insect culture.

#### 4. Conclusion

In summary, FCPnfs were prepared by simple and one-step via self-assembly method. The effects of acridine orange amount on hybrid nanoflower's morphology were investigated. The distribution of organic components in FCPnfs were imaged. Further, this study, for the first time, reported the toxic levels of copper phosphate nanoflowers with/without acridine orange on *T. molitor* larvae. The evaluating toxicological impact of FCPnfs and CPnfs are needed in the industrial production processes. Hereby, the knowledge of organic-inorganic hybrid nanoflowers chemical and toxicological behaviours, provide us to exhibit preventive behaviors on the materials to be produced and their effects on the environment. Importantly, FCPnfs toxicity was observed more toxic compared to CPnfs toxicity. The mechanisms of fluorescent copper phosphate nanoflowers toxicity will be detailed in the further studies. We continue to work on our studies on the effect of these two chemicals on the *T. molitor* and also another model organism insect species.

#### Acknowledgments

We also appreciate Elif Orgut (eliforgut@gmail.com) at the Cappadocia Technopark Corporation for assistance with schema drawings.

#### Authors' Contributions

C.A. and A.E. conceived the original idea and build. N.Ö. supervised the project. The experiments were performed by A.E., C.A. and M.T. All authors contributed to the writing of the manuscript.

#### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

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

## References

- [1] Altinkaynak C., Tavlasoglu S., Özdemir N., Ocsoy I. 2016. A New Generation Approach In Enzyme Immobilization: Organic-Inorganic Hybrid Nanoflowers With Enhanced Catalytic Activity And Stability. *Enzyme Microb. Technol.*, 93-94:105-12.
- [2] Wang R., Zhang Y., Lu D., Ge J., Liu Z., Zare R.N. 2013. Functional Protein-Organic/Inorganic Hybrid Nanomaterials. *Wiley Interdiscip Rev. Nanomed Nanobiotechnol*, 5 (4): 320-328.
- [3] Lee S.W., Cheon S.A., Kim M.I., Park T.J. 2015. Organic-Inorganic Hybrid Nanoflowers:Types, Characteristics, And Future Prospects. *J. Nanobiotechnology*, 13: 54.
- [4] He X., Chen L., He Q., Xiao H., Zhou X., Ji H. 2017. Self-Assembled Metalloporphyrins–Inorganic Hybrid Flowers And Their Application To Efficient Epoxidation of Olefins. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92 (10): 2594-2605.
- [5] Gulmez C., Altinkaynak C., Özdemir N., Atakisi O. 2018. Proteinase K hybrid nanoflowers (P-hNFs) as a novel nanobiocatalytic detergent additive. *International Journal of Biological Macromolecules* 119: 803-810.
- [6] Ge J., Lei J., Zare R.N. 2012. Protein-Inorganic Hybrid Nanoflowers. *Nat. Nanotechnol*, 7 (7): 428-432.
- [7] Yu Y., Fei X., Tian J., Xu L., Wang X., Wang Y. 2015. Self-Assembled Enzyme-Inorganic Hybrid Nanoflowers and Their Application to Enzyme Purification. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 130: 299-304.
- [8] Jing M., Fei X., Ren W., Tian J., Zhi H., Xu L., Wang X., Wang Y. 2017. Self-Assembled Hybrid Nanomaterials With Alkaline Protease And A Variety of Metal Ions, *RSC Advances*, 7 (76): 48360-48367.
- [9] Nadar S.S., Gawas S.D., Rathod V.K. 2016. Self-Assembled Organic-Inorganic Hybrid Glucoamylase Nanoflowers With Enhanced Activity and Stability. *International Journal of Biological Macromolecules*, 92: 660-669.
- [10] Altinkaynak C., Tavlasoglu S., Kalin R., Sadeghian N., Ozdemir H., Ocsoy I., Özdemir N. 2017. A Hierarchical Assembly of Flower-Like Hybrid Turkish Black Radish Peroxidase-Cu<sup>2+</sup> Nanobiocatalyst And Its Effective Use in Dye Decolorization. *Chemosphere*, 182: 122-128.
- [11] Ildiz N., Baldemir A., Altinkaynak C., Özdemir N., Yilmaz V., Ocsoy I. 2017. Self Assembled Snowball-Like Hybrid Nanostructures Comprising *Viburnum opulus* L. Extract and Metal Ions For Antimicrobial and Catalytic Applications. *Enzyme and Microbial Technology*, 102: 60-66.
- [12] Altinkaynak C., Kocazorbaz E., Özdemir N., Zihnioglu F. 2018. Egg White Hybrid Nanoflower (EW-Hnf) With Biomimetic Polyphenol Oxidase Reactivity: Synthesis, Characterization And Potential Use in Decolorization of Synthetic Dyes. *Int. J. Biol. Macromol*, 109: 205-211.
- [13] Kim K.H., Jeong J-M., Lee S.J., Choi B.G., Lee K.G. 2016. Protein-Directed Assembly Of Cobalt Phosphate Hybrid Nanoflowers. *J. Colloid Interface Sci.*, 484: 44-50.
- [14] Zhang Z., Zhang Y., He L., Yang Y., Liu S., Wang M., Fang S., Fu G. 2015. A Feasible Synthesis of Mn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>@BSA Nanoflowers and Its Application as the Support Nanomaterial for Pt Catalyst. *Journal of Power Sources*, 284: 170-177.
- [15] Zhang B., Li P., Zhang H., Wang H., Li X., Tian L., Ali N., Ali Z., Zhang Q. 2016. Preparation of Lipase/Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> Hybrid Nanoflower and its Catalytic Performance as an Immobilized Enzyme. *Chemical Engineering Journal*, 291: 287-297.
- [16] Wang X., Shi J., Li Z., Zhang S., Wu H., Jiang Z., Yang C., Tian C. 2014. Facile One-Pot Preparation of Chitosan/Calcium Pyrophosphate Hybrid Microflowers. *ACS Applied Materials & Interfaces (ACS Publications)*, 6(16):14522-14532.
- [17] Jiao J., Xin X., Wang X., Xie Z., Xia C., Pan W. 2017. Self-Assembly Of Biosurfactant–Inorganic Hybrid Nanoflowers As Efficient Catalysts For Degradation Of Cationic Dyes, *RSC Advances*, 7 (69):43474-43482.
- [18] Li J., Schiavo S., Xiangli D., Rametta G., Miglietta M.L., Oliviero M., Changwen W., Manzo S. 2018. Early Ecotoxic Effects of ZnO Nanoparticle Chronic Exposure in *Mytilus Galloprovincialis*

- Revealed by Transcription of Apoptosis and Antioxidant-Related Genes. *Ecotoxicology*, 27 (3): 369-384.
- [19] Gebel T. 2012. Small Difference in Carcinogenic Potency Between GBP Nanomaterials and GBP Micromaterials. *Arch. Toxicol*, 86 (7): 995-1007.
- [20] Sun X., Chen B., Bin Xia N., Han Q., Zhu L., Qu K. 2017. Are CuO Nanoparticles Effects on Hemocytes of the Marine Scallop (*Chlamys farreri*) Caused by Particles And/OR Corresponding Released Ions?. *Ecotoxicol Environ. Saf.*, 139: 65-72.
- [21] Adam N., Vakurov A., Knapen D., Blust R. 2015. The Chronic Toxicity of CuO Nanoparticles and Copper Salt to *Daphnia Magna*. *J. Hazard Mater.*, 283: 416-422.
- [22] Hoseini S.M., Hedayati A., Taheri Mirghaed A., Ghelichpour M. 2016. Toxic Effects of Copper Sulfate and Copper Nanoparticles on Minerals, Enzymes, Thyroid Hormones and Protein Fractions of Plasma and Histopathology in Common Carp *Cyprinus carpio*. *Exp. Toxicol Pathol.*, 68 (9): 493-503.
- [23] Rajput V., Minkina T., Fedorenko A., Sushkova S., Mandzhieva S., Lysenko V., Duplii N., Fedorenko G., Dvadnenko K., Ghazaryan K. 2018. Toxicity of Copper Oxide Nanoparticles on Spring Barley (*Hordeum Sativum Distichum*). *Science of the Total Environment*, 645: 1103-1113.
- [24] Braz-Mota S., Campos D.F., MacCormack T.J., Duarte R.M., Val A.L., Almeida-Val V.M.F. 2018. Mechanisms of Toxic Action of Copper and Copper Nanoparticles in Two Amazon Fish Species: *Dwarf Cichlid (Apistogramma agassizii)* and *Cardinal Tetra (Paracheirodon axelrodi)*. *Sci. Total Environ.*, 630: 1168-1180.
- [25] Collins L. 2012. Toxicity of Moist Snuff and Impact on Various Stages of Darkling Beetles. *Biology and Biotechnology*, 7.
- [26] Ramarao N., Nielsen-Leroux C., Lereclus D. 2012. The Insect *Galleria Mellonella* As A Powerful Infection Model to Investigate Bacterial Pathogenesis. *J. Vis. Exp.*, 70: 4392.
- [27] Dere B., Altuntaş H., Nurullohoğlu Z.U. 2015. Insecticidal and Oxidative Effects of Azadirachtin on the Model Organism *Galleria mellonella* L. (Lepidoptera: Pyralidae). *Arch. Insect. Biochem Physiol*, 89 (3): 138-152.
- [28] Manente S., De Pieri S., Iero A., Rigo C., Bragadin M. 2008 A Comparison Between The Responses Of Neutral Red And Acridine Orange: Acridine Orange Should Be Preferential And Alternative To Neutral Red As A Dye For The Monitoring Of Contaminants By Means Of Biological Sensors. *Anal. Biochem.*, 383 (2): 316-319.
- [29] Altuntaş H., Duman E., Şanal Demirci S.N., Ergin E. 2016. Toxicological And Physiological Effects Of Ethephon On The Model Organism, *Galleria mellonella* L. 1758 (Lepidoptera: Pyralidae). *Turkish Journal of Entomology*, 40 (4).
- [30] Nishi M., Hiruma H., Sasamoto H., Iwamura M., Isonaka R., Baba S. 2012. Cytocidal Effects Of Acridine Orange Evoked By Blue Light On Human Bladder Cancer Cells. *Kitasato Med. J.*, 42: 128-137.
- [31] Ali T.H., Abed A.A., Ellah A.A. 2016. Determination Of The Lethal Concentration 50% (Lc50) Of Cadmium Chloride in Mosquito Fish *Gambusia Holbrooki*. *Tikrit Journal of Pure Science*, 21: 1.
- [32] Calabrese E.J., Baldwin L.A. 2001. U-Shaped Dose-Responses in Biology, Toxicology And Public Health. *Annu. Rev. Public Health*, 22: 15-33.
- [33] Carmona E.R., Inostroza-Blancheteau C., Obando V., Rubio L., Marcos R. 2015. Genotoxicity Of Copper Oxide Nanoparticles in *Drosophila melanogaster*. *Mutat. Res. Genet. Toxicol Environ. Mutagen*, 791: 1-11.
- [34] Baeg E., Sooklert K., Sereemasun A. 2018. Copper Oxide Nanoparticles Cause a Dose-Dependent Toxicity via Inducing Reactive Oxygen Species in *Drosophila*. *Nanomaterials (Basel)*, 8: 10.
- [35] Sezer Tunçsoy B., Ozalp P. 2016. Toxic Effects Of Copper Oxide Nanoparticles In Midgut And Fat Body Of *Galleria mellonella* (Lepidoptera: Pyralidae). *Toxicology Letters*, 258: 270.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Borik Asit ve Boraks Pentahidrat Kristalleri için Kekleşmenin İncelenmesi**

Sinan KUTLUAY<sup>1\*</sup>, M. Sait İZGİ<sup>1</sup>, Ömer ŞAHİN<sup>1</sup>, A. Abdullah CEYHAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Siirt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Siirt

<sup>2</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Konya

(ORCID: 0000-0001-9493-918X) (ORCID: 0000-0003-3685-3219)

(ORCID: 0000-0003-4575-3762) (ORCID: 0000-0003-1592-5121)

---

### **Öz**

Bu çalışmada, CMSMPR (sürekli-karıştırmalı, sürekli-ürün çekmeli) tipi kristalizörde, saf ortamda üretilen borik asit ( $H_3BO_3$ ) ve boraks pentahidrat ( $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ ) kristallerinin su alma yeteneği, kekleşme derecesi tayini ve mekanik dayanım, kekleşme, kırma testleri yapılmıştır. CMSMPR sisteminde üretilen hem  $H_3BO_3$  hem de  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin su alma yeteneği, kekleşme, aşınma derecelerinin yüksek olduğu ve bu kristallerin nemden oldukça etkilendiği ve bu nedenle habitinde bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca, kekleşme ve kırma testleri sonucunda belirlenen akışkanlık durumları değerlendirildiğinde ise  $H_3BO_3$  kristallerinin kohezif (yapışan),  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin ise çok kohezif olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar esas alındığında, kekleşmeyi önlemek için  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin yüksek nem oranlarına maruz kalmaması gerektiği görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Boraks Pentahidrat ( $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ ), Borik Asit ( $H_3BO_3$ ), Kristalin kekleşmesi.

---

## **Investigation of Caking for Boric Acid and Borax Pentahydrate Crystals**

---

### **Abstract**

In this study, the determination of hygroscopicity and the caking degree, and the tests of mechanical strength, caking, breaking of boric acid ( $H_3BO_3$ ) and borax pentahydrate ( $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ ) crystals produced in pure medium in the CMSMPR (Continuous Mixed-Suspension, Mixed-Product Removal) type crystallizer were performed. Both the  $H_3BO_3$  and  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  crystals produced in the CMSMPR system were found to have high hygroscopicity, degrees of caking and attrition, and these crystals were highly influenced by moisture and thus deteriorated their habit. Furthermore, when the fluidity conditions determined as a result of caking and breaking tests were evaluated, it was found that  $H_3BO_3$  crystals were cohesive and  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  crystals were very cohesive. Based on these results, it is seen that  $H_3BO_3$  and  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  crystals should not be exposed to high humidity in order to avoid caking.

**Keywords:** Borax Pentahydrate ( $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ ), Boric Acid ( $H_3BO_3$ ), Caking of crystal.

---

### **1. Giriş**

Dünya bor rezervlerinin yaklaşık %73'nün Türkiye'de bulunması sebebiyle bor bileşikleri Türkiye için oldukça büyük önem arz etmektedir. Türkiye, dünyanın en zengin bor cevheri rezervlerine sahip olmakla birlikte, bor bileşiklerinin özellikle Avrupa piyasalarındaki en büyük satıcısı konumundadır [1]. Son yıllardaki çalışmalar, özellikle ülke ekonomisi göz önünde bulundurularak söz konusu cevherlerin ham olarak değil de piyasanın talebini karşılayacak özelliklere sahip çeşitli bor bileşikleri halinde ihracatını sağlamaya yönelik olarak yapılmaktadır. Dünya piyasasının kabul edebileceği kalite ve görünümde bor bileşikleri üretildiği takdirde, bu ihracatın başarılı bir şekilde gerçekleşmesi mümkün olabilir. Endüstriyel ve stratejik açıdan dünyadaki en önemli elementlerden biri olan bor, endüstrinin birçok alanında bor bileşikleri halinde kullanılmaktadır. Ülkemizin bor piyasasında hak ettiği yeri alabilmesi

---

\*Sorumlu yazar: [sinankutluay@siirt.edu.tr](mailto:sinankutluay@siirt.edu.tr), [kutluays2012@gmail.com](mailto:kutluays2012@gmail.com)

Geliş Tarihi: 10.10.2019, Kabul Tarihi: 08.04.2020

için bor bileşiklerinin, mevcut ve yeni üretim yöntemlerinin geliştirilmesine, proses verimliliği ve ürün kalitesinin artırılmasına yönelik çalışmalar çok önemlidir. Önemli bor ürünlerinden olan borik asit ( $H_3BO_3$ ) ve boraks pentahidrat ( $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ ) kristallerinin kristal habiti ve akışkanlık gibi kalite özellikleri ile ilgili yeterli bilgiye literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle, kristallerinin özellikleri ile ilgili bilgilerin tespit edilmesi oldukça önemlidir.

Kristalizasyon, temel kimyasal bileşiklerden özel kimyasallara kadar farklı maddelerin üretimi için uygulanan bir ayırma ve saflaştırma prosesidir [2]. Endüstriyel üretim prosesi sonucu elde edilen kristal ürünlerde görülen kekleşme işletmeler için büyük sorun etmektedir. Kekkleşme, düşük partikül boyutundaki kristallerin aglomerasyonu sonucu daha büyük partikül boyutuna sahip bozuk şekilli kristallerin oluşumu olarak ifade edilmektedir [3, 4]. Endüstriyel olarak üretilen kristal ürünlerde karşılaşılan kekleşme sorunu, torbalarda veya tanklarda depolanması sürecinde meydana gelmektedir. Kristal ürünler bu süreçte serbest akış özelliklerini kaybederek kekleşirler. Kristal ürünlerin nemden etkilenebilir olması, kekleşme sorununu meydana getiren en önemli özelliktir. Bu değerlendirmeler ışığında, kristal ürünlerin nemden etkilenebilir özelliklerinin düşük olması kekleşme sorununu azaltırken, tersi durumda ise kristal ürünler daha çok kekleşme eğilimi gösterirler [5]. Kitle halindeki yani ambalajsız tozlar zamanla dönüşümlere uğrayabilir ve bu, değişen çevresel ve mekanik koşullar tarafından karmaşıklaştırılan dinamik bir prosestir. Kekkleşme, kitle halinde bulunan madde içindeki sıcaklık ve su ya da madde ve çevresi arasındaki içerik profillerinden yoğun bir biçimde etkilenmektedir. Bu profiller anlaşılır ise, bunlar kekleşmenin oluşumu ve gücüne bağlanabilmektedir [6]. Bununla birlikte, çeşitli maddeler için kekleşmenin nedenleri farklılık gösterebilmektedir. Kristal boyutu, şekli, nem içeriği, ürünün altında depolandığı basınç ve depolama sürecinde sıcaklık ve nem değişimleri, gibi değişkenlerin tümü kristal ürünlerin kekleşmesine katkıda bulunabilir. Genellikle, kekleşme, kristal yüzeylerin nemli hale gelmesinden kaynaklanmaktadır. Kristal yüzeyleri birkaç yolla nemli hale gelebilir; ürün, yetersiz kalmış bir kurutma işleminden kalan bir miktar çözücü içerebilir, ya da nem dış kaynaklardan gelebilir [7]. Boraks kristallerinde meydana gelen kekleşme sorununu gidermek amacıyla yapılan çalışmalarda, birçok yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılanı ise boraks kristal yüzeylerinin iyi bölünmüş, nem-absorblayan ya da hidrofobik malzeme olan ya da organik bir yüzey aktif bir madde ile kaplanmasıdır. Boraks kristallerinin kekleşmesini engellemek amacıyla önerilen başka bir yöntem ise safsızlığın giderilmesidir. Bu proseste, boraks kristallerinin pH'ı 5.5'in altında olan bir asit çözeltisine maruz bırakılması sonucunda sürekli olarak serbest akış özelliğini koruduğu ifade edilmiştir [5]. Belirli bir habite ve homojen partikül boyut dağılımına sahip boraks kristallerinin üretilmesiyle birlikte karşılaşılan kekleşme sorununun önlenmesi için boraks dekahidratın özellikleri incelenmiştir [6]. Bu amaçla, farklı Ca içeriğine sahip boraks kristalleri üretilerek tek hücre sisteminde büyüme işlemine tabi tutulmuş ve kristal büyüme hızı ve büyüme kinetiği gibi faktörler incelenmiştir. Ayrıca Mg iyonunun ve anyonik ve katyonik flokülantların kristal şekli üzerine etkileri incelenmiştir. Daha sonra oleik asit, hekzanoik asit ve dekanıik asit varlığında kristal yapısında meydana gelen değişimler incelenmiş ve tek hücre sisteminde kristal büyüme prosesi oleik asit varlığında tekrarlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, oleik asit varlığında kristal şeklinin (habitinin) diğer safsızlıklar ile karşılaştırıldığında daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Tek hücre sisteminde yapılan kristal büyüme prosesinde elde edilen sonuçlara göre ise safsızlıklar varlığında kristal büyüme hızının değişmediği görülmüştür. Johanson ve Paul [8] tarafından yapılan çalışmada, sıcaklık değişiminin, yaygın olarak kullanılan tuz ve şeker de dahil olmak üzere bir dizi çözünür madde üzerindeki etkisi incelenmiştir. Numuneler, sabit sıcaklıkta 1.5 gün boyunca ağız kapalı bir kaptaki saklandığında, tuz güçlü bir kek oluşturmuştur. Bu dönüşüm, dengeye ulaşılan kadar nemin yeniden dağılması ile ilişkilendirilmiştir. Tuz için sıcaklık döngüsü, döngü sayısı ile birlikte kekleşmenin kuvvetinde doğrusal bir artış göstermiştir. Bunun aksine, şeker, bir döngünün sonunda maksimum kekleşme gücüne ulaşmıştır. Benzer şekilde, Cleaver ve ark., [9] tarafından yapılan çalışmada, 20°C ile 40°C arasında sıcaklık döngüsü sayısı ile  $H_3BO_3$  kekleşme endeksinde sürekli bir artış olduğu ortaya konulmuştur.

Bu çalışmanın temel amacı, CMSMPR (sürekli-karıştırmalı, sürekli-ürün çekmeli) tipi kristalizörde, saf ortamda üretilen  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristalleri için su alma yeteneği, kekleşme derecesi tayini ve mekanik dayanım, kekleşme, kırma testlerini gerçekleştirmektir. Çalışma kapsamında yapılan testler esas alındığında, kekleşme eğilimini önlemek için  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristalleri için uygun kalite özellikleri belirlenmiş ve özellikle endüstriyel olarak üretilen bor ürün kristallerinde

görülebilecek kekleşme eğiliminin tespiti ile ilgili önemli bir eksiklik araştırmacılara ve literatüre kazandırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma kapsamında kekleşme çalışmaları yapılan  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristalleri sürekli beslemeli ve sürekli ürün çekmeli CMSMPR tipi bir kristalizörde üretilmiştir. CMSMPR sisteminde, kekleşme çalışmaları yürütülen  $H_3BO_3$  kristallerinin elde edildiği kristalizasyon koşulları: 180 dakika kristalizörde kalma zamanı, 90-60°C verilen aşırı doygunluk, 250 rpm karıştırma hızı, 80 mL/dk besleme debisi, iken  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin elde edildiği kristalizasyon koşulları ise: 120 dakika kristalizörde kalma zamanı, 90-65°C verilen aşırı doygunluk, 350 rpm karıştırma hızı, 175 mL/dk besleme debisidir. Ayrıca, CMSMPR tipi bir kristalizörde üretilen  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristalleri fitrasyon yöntemiyle süspansiyondan ayrılmıştır. Elde edilen  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristalleri etanol ile yıkandıktan sonra kurutulmuştur. Kekleşme çalışmaları yapılan  $H_3BO_3$  kristallerinin partikül boyutu; -500+425  $\mu m$ , iken  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin partikül boyutu; -425+300  $\mu m$ 'dir.

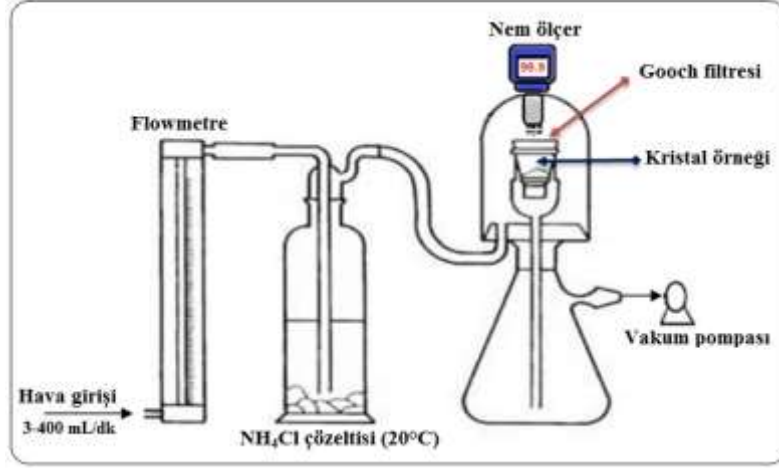
CMSMPR tipi kristalizörde, saf ortamda üretilen  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin kekleşme analizleri için üç farklı sistem kullanılmıştır. Kekleşme analizlerinde kullanılan sistemler ile yapılan çalışmaları şu şekilde sıralanabilir:

- a) Kekleşme çalışmalarının ilk aşamasında,  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin, su alma yeteneği ve kekleşme derecesinin hesaplanması ve karakterizasyonu,
- b) İkinci aşamada,  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin, mekanik mukavemet testine tabi tutularak hesaplanan aşınma derecesinin tespiti,
- c) Son olarak ise  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin, kekleşme ve kırma işlemleri için uygulanan basınçların oranı ile ifade edilen akıcılık doğruları ile kristal akıcılığının tayini çalışmaları yapılmıştır.

Bu analizleri gerçekleştirmek için aşağıdaki sistem ve eşitliklerden yararlanılmıştır.

### 2.1. Su Alma Yeteneği ve Kekleşme Derecesi Analizleri

$H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin, su alma yeteneği ve kekleşme derecesi tayini için kullanılan sistem Şekil 1'de verilmektedir. Bu sistemde, 5 g kristal numunesinin elek analizi yapılarak 500  $\mu m$ 'nin üstünde kalan 0.5 g kristal Gooch filtresine konulur. Numunenin %100 neme doyurulması işlemi; 20°C'deki çözünürlük değerine sahip olan 50 mL amonyum klorür ( $NH_4Cl$ ) çözeltisi kullanılarak oluşturulan nemin 3-400 mL/dk debideki hava ile Gooch filtresinde bulunan kristal numunesi üzerinden sürekli olarak geçirilmesi sonucunda sağlanır. Bu işlem esnasında, her 10 dakikada bir numunedeki ağırlık artışı kontrol edilir ve bu kontrol 30-40 dakikadan sonra her 20 dakikada bir yapılarak ağırlık farkının olmadığı denge anına kadar işlem devam eder. Numunedeki ağırlık artışı ilk başta normal olarak maksimum seviyeyi gösterir ve daha sonra hafifçe azalır ve sonunda sabit bir seviyeye ulaşır. Maksimuma ulaşıldığında analiz durdurulabilir. Normalde bu 4 saatten fazla sürmez. Bu işlem sonucunda, dengedeki numune ağırlığı belirlenerek su alma yeteneği Eşitlik 1 ile hesaplanır [10]. Bununla birlikte, nem çekme bakımından dengeye ulaşmış numunenin, 102±2°C'deki etüvde 1 saat kurutulduktan sonra elek analizi ile 500  $\mu m$ 'nin üstündeki, ağırlığı belirlenir ve bu sonuç ile kekleşme derecesi Eşitlik 4 ile hesaplanır [11]. Kristal şeklindeki tüm numuneler az çok nem çekme özelliğine sahiptir. Nem çekme özelliği ile birlikte, numunenin içerdiği nem de önemlidir. Bir maddenin içerdiği nem; 5 g numune 87 ± 2°C'deki etüvde 6 saat boyunca kurutulduktan sonra Eşitlik 3 ile hesaplanır [12]. Bu eşitlikler yardımıyla hesaplanan, su alma yeteneği karakterizasyonu Tablo 1'e göre, kekleşme derecesi karakterizasyonu ise Tablo 2'ye göre belirlenir.



Şekil 1. Su alma yeteneği ve kekleşme derecesi tayini için kullanılan sistem [10]

Su alma yeteneği: Bir numunenin nem çekme özelliği, belirli koşullar altında nemli havaya maruz bırakıldıktan sonra dengedeki nem içeriğinin derecesidir.

$$\% \text{ Su alma yeteneği} = \frac{\% \text{WI} + \% \text{FW}}{100 + \% \text{WI}} 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ WI} = \frac{c-b}{b-a} 100 \quad (2)$$

Burada;

a = Gooch filtresinin ağırlığı, g

b = Gooch filtresinin ağırlığı + numune ağırlığı, g

c = Gooch filtresinin ağırlığı + denge anındaki numune ağırlığı, g

$$\% \text{ FW} = \frac{b-c}{b-a} 100 \quad (3)$$

Burada;

a = Boş kap ağırlığı, g

b = Boş kap ağırlığı + numune ağırlığı, g

c = Boş kap ağırlığı + kurutulmuş numune ağırlığı, g

%WI: Belirli koşullar altında nemli havaya maruz bırakılan numunenin nem alma derecesidir.

%FW: Numunenin içerdiği nemi ifade etmektedir.

$$\% \text{ Kekkleşme derecesi} = \frac{b}{a} 100 \quad (4)$$

Burada;

a = Kullanılan numune ağırlığı (500 µm üstü), g

b = Nem ve kurutma sonrası elek üstünde kalan numune ağırlığı (500 µm üstü), g

**Tablo 1.** Su alma yeteneği karakterizasyonu [10]

Su alma yeteneği	
Nem çekme özelliği yok	< %10
Nem çekme özelliği az	% 10.1-15
Nem çekme özelliği var	% 15.1-20
Nem çekme özelliği çok	% 20.1-25
Nem çekme özelliği aşırı	> % 25

**Tablo 2.** Kekleşme derecesi karakterizasyonu [11]

Kekleşme derecesi	
Kekleşme eğilimi olmayan toz	< %10
Kekleşme eğilimi az olan toz	% 10.1-20
Kekleşme eğilimi çok olan toz	% 20.1-50
Kekleşme eğilimi çok olan toz	> % 50
Kekleşme eğilimi aşırı olan toz	% 100

## 2.2. Mekanik Dayanım Testi ile Aşınma Derecesi Analizleri

Kristal ürünlerin mekanik dayanımı, depolama ve taşınma sırasındaki aşınma ve kırılmalarla boyutunun küçülmesinin ölçüsüdür. Kristal ürünlerdeki mekanik dayanım, tüm boyut bölgelerinde partikül içeren karışımda yapıldığında ortalama olarak fikir edinmek mümkündür. Böyle bir ölçüm aşındırma derecesi tayini ile yapılabilmektedir.  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin aşınma derecelerini tayin etmek amacıyla kullanılan sistem Şekil 2'de verilmektedir. Sistemde bulunan akışkanlaştırma kolonu 600 mm uzunluğunda ve 23 mm iç çapındadır. Akışkanlaştırma için gerekli olan hava kompresörden sağlanmaktadır. Havanın geçeceği delik 0.4 mm çapında olup, 90 mm çapında ve 3 mm kalınlığında pirinç bir plakanın merkezinde bulunmaktadır. Ayrıca, akışkanlaştırma esnasında kristal kaybını önlemek amacıyla kolonun üst kısmı, sadece havanın geçebileceği çaptaki (0.4 mm) bir kartuşla kapatılır. Deneye başlamadan önce, akışkanlaştırma için gerekli olan 7 L/dk debideki hava akımı kolon üzerine yerleştirilen bir akış ölçer ile ayarlanır. Aşınma derecesi tayini için 50 g'lık iki numune alınır. Öncelikle ilk 50 g'lık numune, 10 dakika elenerek,  $150 \mu m$ 'nin altına geçen kısım tartılır. Diğer 50 g'lık numune ise, akışkanlaştırma kolonuna konularak kolonun üstü kartuşla kapatılır. Akışkanlaştırma için gerekli olan ve debisi daha önce ayarlanan hava verilerek, 10 dakika süre ile kristallerinin akışkanlaştırılması sağlanır. Bu sürenin sonunda, kolondan alınan numune 10 dakika eleme işlemine tabi tutulur ve  $150 \mu m$ 'nin altına geçen kısım tartılır. Her bir deneme için eleme süreleri ve hızları sabit tutulur. Bunun sonucunda aşınma derecesi aşağıdaki şekilde hesaplanır [13].

$$\% \text{ Aşınma derecesi} = \frac{W_4}{W_3} \cdot 100 - \frac{W_2}{W_1} \cdot 100 \quad (5)$$

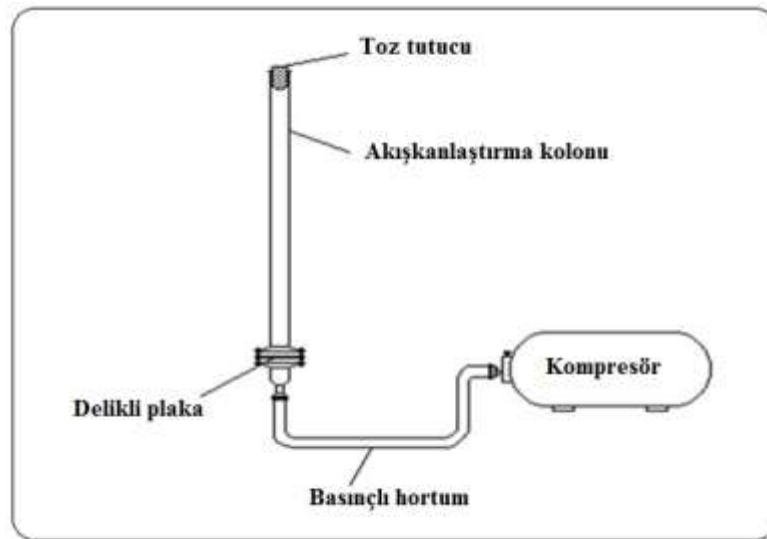
Burada;

$w_1$  = Sadece eleme işlemine tabi tutulan numune miktarı (g)

$w_2$  = Eleme işlemi sonucunda  $150 \mu m$ 'nin altına geçen numune miktarı (g)

$w_3$  = Aşınma testine tabi tutulan numune miktarı (g)

$w_4$  = Aşınma testi sonucu  $150 \mu m$ 'nin altına geçen numune miktarı (g).



**Şekil 2.** Aşınma derecesi tayini için kullanılan sistemin şematik gösterimi

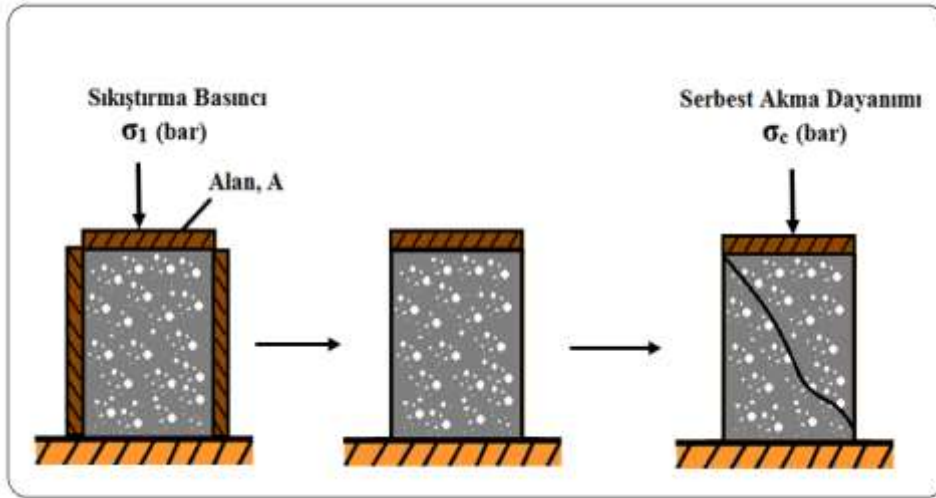


### 2.3. Kekleşme ve Kırma Testleri ile Kristal Akıcılığının Analizi

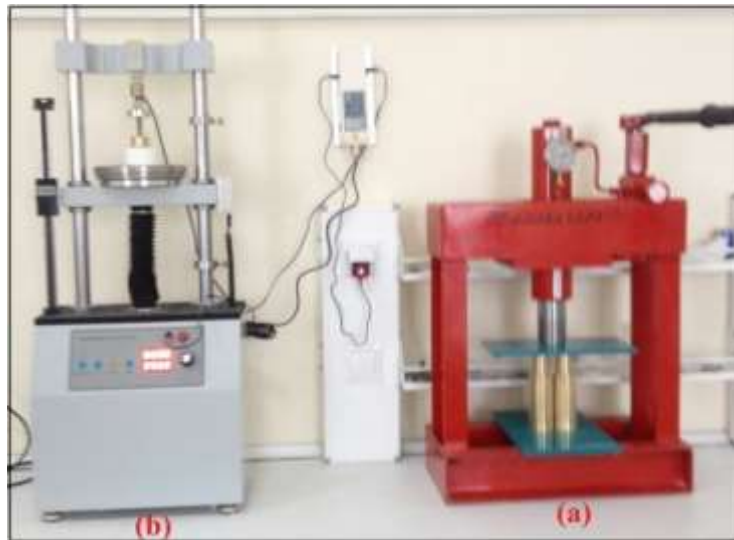
$H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin basınç altında kekleşmesi ve oluşan kekin kırılması için kullanılan sistemin, şematik gösterimi Şekil 3'te, fotoğrafı ise Şekil 4'te verilmektedir. Şekil 3 ve Şekil 4a, ince taneli kohezif bir yığın katı ile dolu sürtünmesiz duvarlara sahip içi boş bir silindiri göstermektedir. İlk olarak, yığın katı cisim (kristal) sıkıştırma basıncı ( $\sigma_1$ ) ile kekleştirilir. Daha sonra oyuk silindir çıkarılır ve numune kırılana kadar, giderek artan bir dikey basma gerilmesi ile silindirik yığın katı numuneye yükleme yapılır. Baskının sebep olduğu kırmaya, basınç dayanımı veya serbest akma dayanımı ( $\sigma_c$ ) denir. Serbest akma dayanımı genellikle sıkıştırma basıncı ile artar. Şekil 5'teki A eğrisi, sıkıştırma basıncından bağımsız olarak serbest akma dayanımının artışı göstermektedir. Ayrıca, Şekil 5'te, sınıflandırma aralıklarının sınırları düz doğrular gibi gösterilmektedir. Genellikle sıkıştırma basıncının serbest akma dayanımına oranı ile ifade edilen  $ff_c$ , akışkanlığı sayısal olarak karakterize etmek için kullanılır [14]:

$$ff_c = \frac{\sigma_1}{\sigma_c} \quad (6)$$

Büyük  $ff_c$  oranının olması durumunda yığın bir katı daha iyi akar. Genellikle Tablo 3'te verilen sınıflandırma uygulanır.



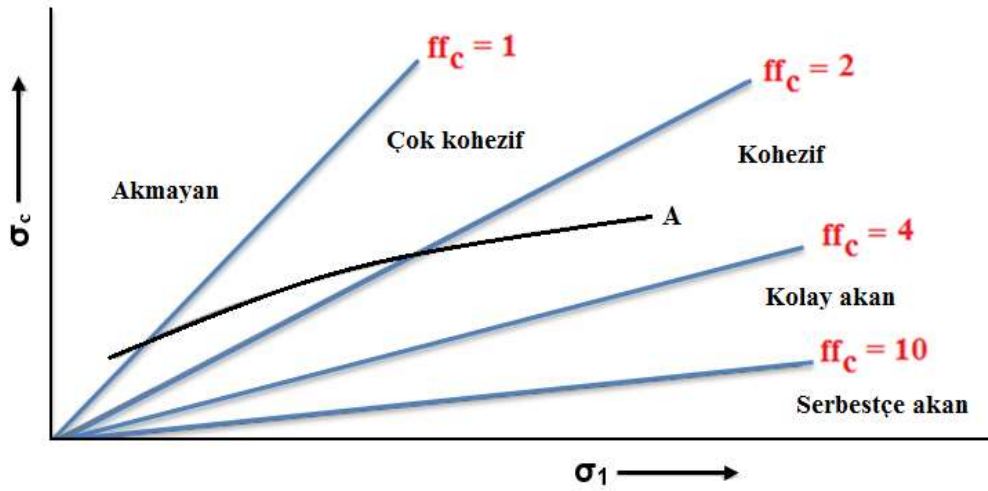
Şekil 3. Kristallerin kekleşmesi ve oluşan kekin kırılması için kullanılan sistemin şematik gösterimi



Şekil 4. Kristallerin basınç altında kekleştirilmesi ve oluşan kekin kırılması için kullanılan sistemlerin fotoğrafı (a:Numuneyi kekleştirme aparatı, b: Numuneyi kırma aparatı)

**Tablo 3.** Akışkanlığın  $ff_c$  ile sayısal olarak karakterizasyonu [14]

Akışkanlık durumu	
Akmayan	$ff_c < 1$
Çok kohezif (akışkan olmayan için)	$1 < ff_c < 2$
Kohezif (yapışan)	$2 < ff_c < 4$
Kolay akan	$4 < ff_c < 10$
Serbestçe akan	$10 < ff_c$

Şekil 5. Sıkıştırma basıncı üzerinde bağımsız serbest akma dayanımı; sabit akıcılık doğruları,  $ff_c$ .

### 3. Bulgular ve Tartışma

CMSMPR sisteminde saf ortamda, üretilen  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin su alma yeteneği ve kekleşme derecesi tayini ve mekanik dayanım, kekleştirme ve kırma testi çalışmaları, yukarıda açıklanan yöntemler esas alınarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

#### 3.1. $H_3BO_3$ ve $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$ Kristallerinin Su Alma Yeteneği ve Kekleşme Derecesi Analiz Sonuçları

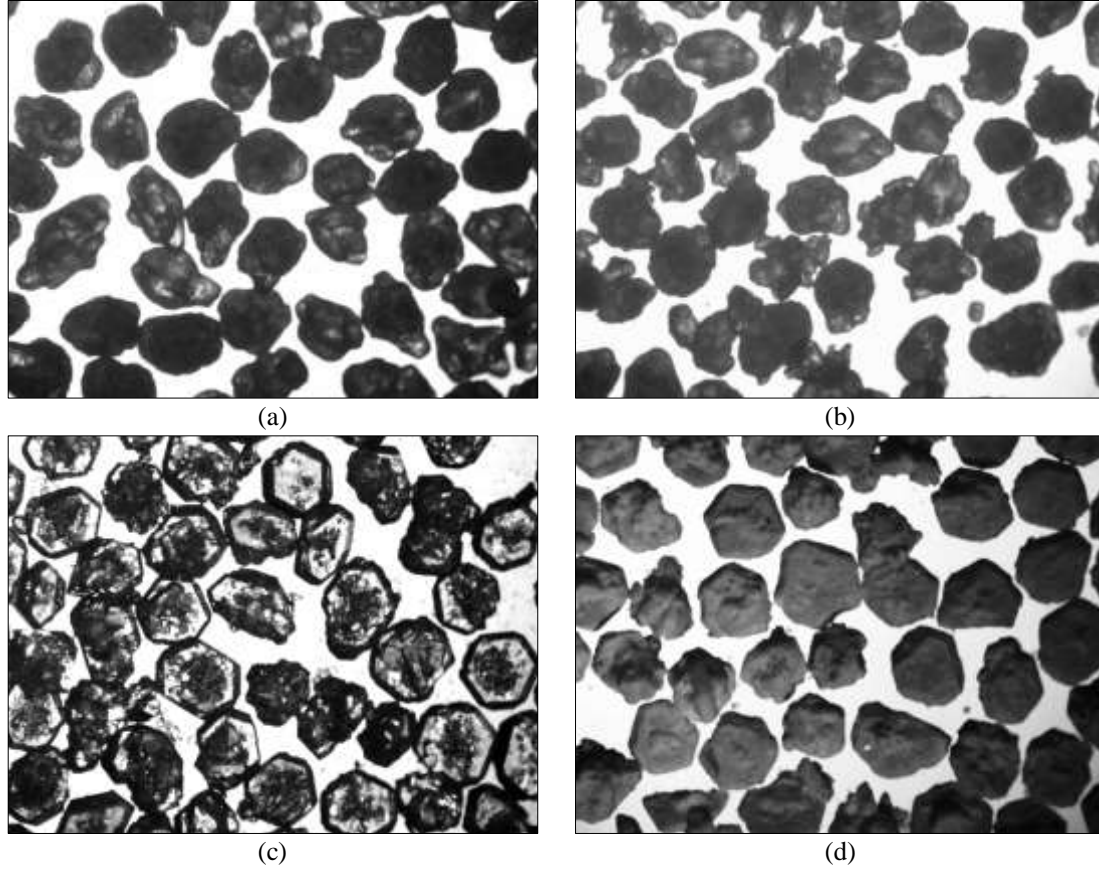
$H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin, su alma yeteneği ve kekleşme derecesi sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4'te görüldüğü üzere, saf ortamda üretilen  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin hem su alma yeteneği hem de kekleşme derecesi sonuçları yüksek olmakla birlikte  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin su alma yeteneği ve kekleşme derecesi sonuçlarının çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla, saf  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin, nem çekme özelliği ile beraber kekleşme eğiliminin de olduğu görülmüştür. Bununla birlikte,  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin, nem çekme özelliği ve kekleşme eğiliminin daha yüksek olduğu açıktır.

**Tablo 4.**  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin su alma yeteneği ve kekleşme derecesi sonuçları

Maddeler	Su alma yeteneği	%	Kekleşme derecesi	%
$H_3BO_3$	Nem çekme özelliği az	10.82	Kekleşme eğilimi az	16.03
$Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$	Nem çekme özelliği çok	23.45	Kekleşme eğilimi çok	28.64

CMSMPR sistemde üretilen  $H_3BO_3$  kristallerinin habitinin nemden nasıl etkilendiğini belirlemek için çalışmalar yürütülmüştür. Bu kapsamda, su alma yeteneği işlemine tabi tutulan ve kekleşme derecesi tayini için kurutulan  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin mikroskop ile belirlenen kekleşme öncesi ve sonrası görüntülerine ait sonuçlar Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6'da verilen mikroskop görüntülerinin incelenmesinde, hem  $H_3BO_3$  hem de  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$  kristallerinin nemden etkilendiği ve habitinde bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Bunun yanı sıra,  $Na_2B_4O_7 \cdot 5H_2O$

kristallerinin  $H_3BO_3$  kristalleri ile kıyaslandığında, habitinde daha fazla bozulmalar meydana geldiği söylenebilir. Bu sonuç, söz konusu kristallerin nemli ortamlarda taşınması sırasında daha fazla kekleşebileceğini göstermektedir.



Şekil 6. CMSMPR sisteminde saf ortamda elde edilen,  $H_3BO_3$  kristallerinin kekleşme (a) öncesi, (b) sonrası ve  $Na_2B_4O_7.5H_2O$  kristallerinin kekleşme (c) öncesi, (d) sonrası mikroskop görüntüleri

### 3.2. $H_3BO_3$ ve $Na_2B_4O_7.5H_2O$ Kristallerinin Mekanik Dayanım Testi Sonuçları

Kristal ürünlerin mekanik dayanımı, depolama ve taşınma sırasındaki aşınma ve kırılmalarla boyutunun küçülmesinin ölçüsüdür. Kristal ürünlerdeki mekanik dayanım, tüm boyut bölgelerinde partikül içeren karışımda yapıldığında ortalama olarak fikir edinmek mümkündür. Böyle bir ölçüm aşındırma derecesi tayini ile yapılabilmektedir. Bu amaçla, bu çalışma kapsamında CMSMPR sisteminde saf ortamda üretilen  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7.5H_2O$  kristallerinin aşınma derecelerini belirlemek için çalışmalar yürütülmüş olup elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5'te görüldüğü üzere, saf ortamda üretilen  $H_3BO_3$  kristallerinin  $Na_2B_4O_7.5H_2O$  kristallerine nazaran aşınma derecelerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

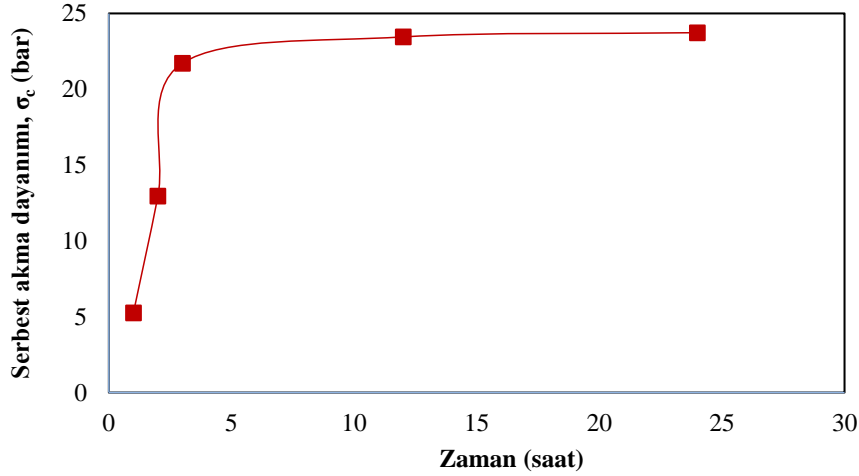
Tablo 5.  $H_3BO_3$  ve  $Na_2B_4O_7.5H_2O$  kristallerinin aşınma derecesi sonuçları

Maddeler	Aşınma derecesi (%)
$H_3BO_3$	2.482
$Na_2B_4O_7.5H_2O$	0.786

### 3.3. $H_3BO_3$ Kristallerinin Kekleşme ve Kırma Testi Sonuçları

CMSMPR tipi kristalizörde üretilen saf  $H_3BO_3$  kristallerinin serbest akma dayanımına, zamanın etkisini belirlemek için farklı zamanlarda (1, 2, 3, 12 ve 24 saat) 60 bar ( $\sigma_1$ ) sabit sıkıştırma basıncı uygulanmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü üzere, 60 bar sabit sıkıştırma basıncı uygulamasında 3 saatten sonra serbest akma dayanımı fazla değişmemiştir. Sonuç olarak, 3, 12,

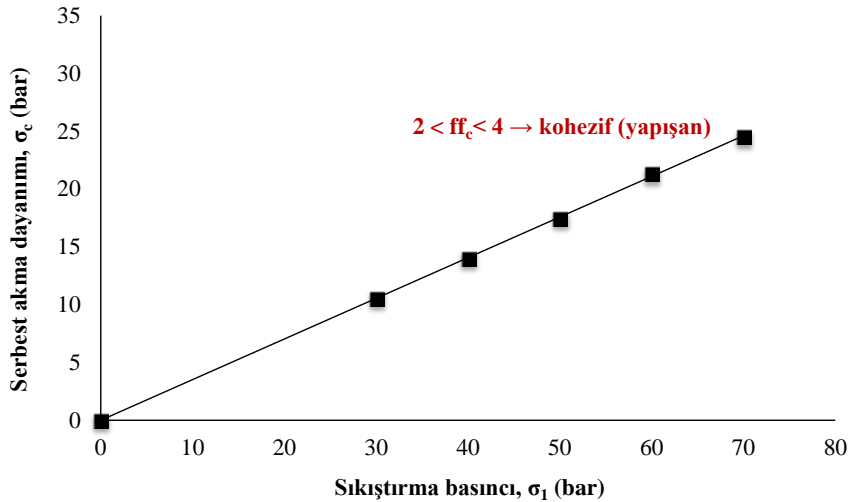
24 saat ve 60 bar sıkıştırma basıncında elde edilen serbest akma dayanımı sonuçlarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bu sonuç esas alınarak, çalışmanın bundan sonraki kısımlarında sıkıştırma süresi 3 saat olarak alınmıştır. Akışkanlığı sayısal olarak karakterize etmek için kullanılan, spesifik bir yığın kristalin sıkıştırma basıncının ( $\sigma_1$ ) serbest akma dayanımına ( $\sigma_c$ ) oranı ile ifade edilen  $ff_c$  sıkıştırma basıncı ile değişmektedir. Sabit sıkıştırma süresinde (3 saat), sıkıştırma basıncının  $ff_c$ 'ye etkisini incelemek için 40, 50, 60 ve 70 bar basınçta çalışmalar yapılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir. CMSMPR sisteminde üretilen saf  $H_3BO_3$  kristalleri için  $ff_c$  karakterizasyonu ( $2 < ff_c < 4$ ) Şekil 8'de gösterilmiştir. Buna göre,  $H_3BO_3$  kristallerinin  $ff_c$  aralığının sıkıştırma basıncı ile fazla değişmediği ve söz konusu kristallerin kohezif (yapışan) yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden çalışmanın bundan sonraki kısımlarında sıkıştırma basıncı 60 bar olarak alınmıştır.



Şekil 7. CMSMPR tipi kristalizörde saf ortamda, üretilen  $H_3BO_3$  kristallerine 60 bar sıkıştırma basıncı ( $\sigma_1$ ) uygulanması durumunda farklı zamanlar için serbest akma dayanımının değişimi

Tablo 6.  $H_3BO_3$  kristalleri için sıkıştırma basıncının serbest akma basıncına oranı olan sabit akıcılık doğrusu ( $ff_c$ ) sonuçları

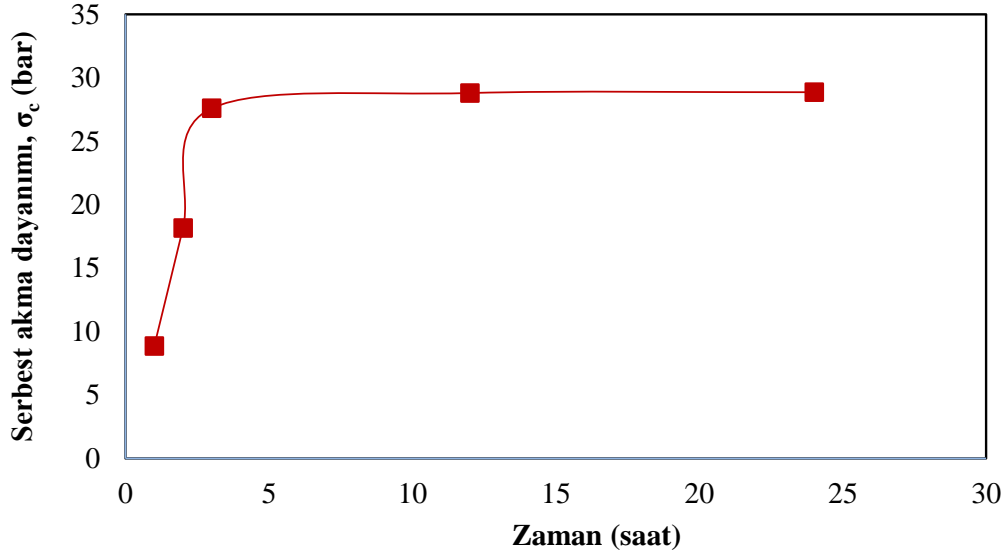
Sıkıştırma basıncı, $\sigma_1$ (bar)	Serbest akma dayanımı, $\sigma_c$ (bar)	$ff_c$ ( $\sigma_1 / \sigma_c$ )
0	0	0
30	10.561	2.841
40	13.995	2.858
50	17.456	2.864
60	21.308	2.816
70	24.528	2.854



Şekil 8. Saf ortamda, üretilen  $H_3BO_3$  kristallerinin sabit akıcılık doğrusu,  $ff_c$

### 3.4. Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.5H<sub>2</sub>O Kristallerinin Kekleşme ve Kırma Testi Sonuçları

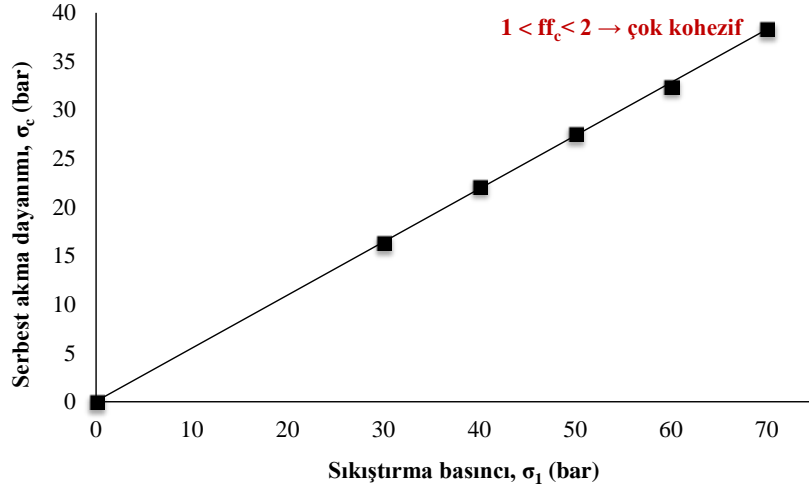
CMSMPR tipi kristalizörde elde edilen saf Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.5H<sub>2</sub>O kristallerinin serbest akma dayanımına, zamanın etkisini belirlemek için farklı zamanlarda (1, 2, 3, 12 ve 24 saat) 50 bar sabit sıkıştırma basıncı ( $\sigma_1$ ) uygulanmış olup elde edilen sonuçlar Şekil 9'da verilmiştir. Şekil 9'da görüldüğü üzere, 50 bar sabit sıkıştırma basıncı uygulamasında, 3 saatten sonra serbest akma dayanımı fazla değişmemiştir. Sonuç olarak, 3, 12, 24 saat ve 50 bar sıkıştırma basıncında elde edilen serbest akma dayanımı sonuçlarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bu sonuç esas alınarak, çalışmanın bundan sonraki kısımlarında sıkıştırma süresi 3 saat olarak alınmıştır. Akışkanlığı sayısal olarak karakterize etmek için kullanılan, spesifik bir yığın kristalin sıkıştırma basıncının ( $\sigma_1$ ) serbest akma dayanımına ( $\sigma_c$ ) oranı ile ifade edilen  $ff_c$ , sıkıştırma basıncı ile değişir. Sabit sıkıştırma süresinde (3 saat), sıkıştırma basıncının  $ff_c$ 'ye etkisini incelemek için 30, 40, 50, 60 ve 70 bar basınçta çalışmalar yapılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir. CMSMPR sisteminde üretilen saf Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.5H<sub>2</sub>O kristallerinin  $ff_c$  karakterizasyonu sonuçları ise ( $1 < ff_c < 2$ ) Şekil 10'da verilmiştir. Tablo 7 ve Şekil 9'da verilen sonuçlar incelendiğinde, saf ortamda üretilen Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.5H<sub>2</sub>O kristallerinin  $ff_c$  aralığının sıkıştırma basıncı ile fazla değişmediği ve söz konusu kristallerin çok kohezif (yapışan) yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden çalışmanın bundan sonraki kısımlarında sıkıştırma basıncı 50 bar olarak alınmıştır.



Şekil 9. CMSMPR tipi kristalizörde, saf ortamda üretilen Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.5H<sub>2</sub>O kristallerine 50 bar sıkıştırma basıncı ( $\sigma_1$ ) uygulanması durumunda farklı zamanlar için serbest akma dayanımının değişimi

Tablo 7. Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>.5H<sub>2</sub>O kristalleri için sıkıştırma basıncının serbest akma basıncına oranı olan sabit akıcılık doğrusu ( $ff_c$ ) sonuçları

Sıkıştırma basıncı, $\sigma_1$ (bar)	Serbest akma dayanımı, $\sigma_c$ (bar)	$ff_c$ ( $\sigma_1 / \sigma_c$ )
0	0	0
30	16.321	1.838
40	22.156	1.805
50	27.589	1.812
60	32.475	1.847
70	38.365	1.825



Şekil 10. Saf ortamda üretilen  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kristallerinin sabit akıcılık doğrusu,  $ff_c$

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, sürekli-karıştırmalı, sürekli-ürün çekmeli CMSMPR tipi kristalizörde, saf ortamda üretilen  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kristallerinin su alma yeteneği, kekleşme derecesi tayini ve mekanik dayanım, kekleşme, kırma testleri yapılmıştır. CMSMPR sisteminde üretilen hem  $\text{H}_3\text{BO}_3$  hem de  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kristallerinin su alma yeteneği, kekleşme, aşınma derecelerinin yüksek olduğu ve bu kristallerin nemden oldukça etkilendiği dolayısıyla habitinde bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Bununla birlikte,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  kristallerinin su alma yeteneği ve kekleşme derecesi  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kristallerine nazaran daha düşük, aşınma derecesinin ise daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca, kekleşme ve kırma testleri sonucunda belirlenen akışkanlık durumları değerlendirildiğinde ise, saf ortamda üretilen  $\text{H}_3\text{BO}_3$  kristallerinin kohezif (yapışan),  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kristallerinin ise çok kohezif olduğu tespit edilmiştir. Tüm bu sonuçlar esas alındığında, kekleşmeyi önlemek için  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kristallerinin yüksek nem oranlarına maruz kalmaması gerektiği görülmektedir. Çalışma kapsamında yapılan testler esas alındığında, kekleşme eğilimini önlemek için  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kristalleri için uygun kalite özellikleri belirlenmiş ve özellikle endüstriyel olarak üretilen bor ürün kristallerinde görülebilecek kekleşme eğiliminin tespiti ile ilgili önemli bir eksiklik giderilmiştir. Literatürde,  $\text{H}_3\text{BO}_3$  ve  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  kristalleri için su alma yeteneği, kekleşme derecesi tayini ve mekanik dayanım, kekleşme, kırma testlerinin yapılmasına yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamış ve ilk defa yapılan bu çalışma ile araştırmacılara ve literatüre önemli katkılar sunulmuştur.

#### Yazarların Katkısı

Sinan Kutluay: kavramsallaştırma, araştırma, görselleştirme, yazma-inceleme ve düzenleme. M. Sait İzgi: inceleme. Ömer Şahin: denetim, gözden geçirme ve araştırma. A. Abdullah Ceyhan: denetim, gözden geçirme ve araştırma.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

[1] Etimaden, 2016. Bor sektör raporu. Ankara, 5-16.

- [2] Kutluay S., Şahin Ö., Ceyhan A.A., İzgi M.S. 2017. Design and Optimization of Production Parameters for Boric Acid Crystals with the Crystallization Process in an MSMR Crystallizer using FBRM® and PVM® Technologies. *Journal of Crystal Growth*, 467 (1): 172-180.
- [3] Kutluay S., Ceyhan A.A., Şahin Ö., İzgi M.S. 2020. Utilization of In Situ FBRM and PVM Probes to Analyze the Influences of Monopropylene Glycol and Oleic Acid as Novel Additives on the Properties of Boric Acid Crystals. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 59 (19): 19198-9206.
- [4] Schmitt L.C. 1963. Production of a Non-Caking Borax. U.S.A patent No. 3, 109, 705.
- [5] Fitzpatrick J.J., Hodnett M, Twomey M, Cerqueira P.S.M., O'Flynn J, Roos Y.H. 2007. Glass Transition and the Flowability and Caking of Powders Containing Amorphous Lactose. *Powder Technology*, 178 (2): 119-128.
- [6] Mullin J.W. 2001. Crystallization. Butterworth-Heinemann, London.
- [7] Subaşı N. 2014. Boraks Dekahidratın Kekleşmesinin Önlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Göcen Ü. 2010. Boraks Dekahidratın Kristalizasyon Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [9] Cleaver J.A.S., Karatzas G, Louis S, Hayati I. 2004. Moisture-Induced Caking of Boric Acid Powder. *Powder Technology*, 146 (1): 93-101.
- [10] GEA. 2016. Analytical Methods Dry Milk Products. GEA Niro Analytical Methods, Method A 14a-Hygroscopicity Soeborg: GEA Niro Research Laborator, [Available from: [http://www.gea.com/en/binaries/A%2014%20a%20-%20Hygroscopicity\\_tcm11-30922.pdf](http://www.gea.com/en/binaries/A%2014%20a%20-%20Hygroscopicity_tcm11-30922.pdf) (Erişim tarihi: 15.03.2017).
- [11] GEA. 2016. Analytical Methods Dry Milk Products. GEA Niro Analytical Methods, Method A 15a-Degree of Caking Soeborg: GEA Niro Research Laborator, [Available from: [http://www.gea.com/en/binaries/A%2015%20a%20-%20Degree%20of%20Caking\\_tcm11-30923.pdf](http://www.gea.com/en/binaries/A%2015%20a%20-%20Degree%20of%20Caking_tcm11-30923.pdf) (Erişim tarihi: 20.02.2017).
- [12] GEA. 2016. Analytical Methods Dry Milk Products. GEA Niro Analytical Methods, Method A 1c-Free Moisture Soeborg: GEA Niro Research Laborator, [Available from: [http://www.gea.com/en/binaries/A%201%20c%20-%20Free%20Moisture\\_tcm11-30902.pdf](http://www.gea.com/en/binaries/A%201%20c%20-%20Free%20Moisture_tcm11-30902.pdf) (Erişim tarihi: 28.02.2017).
- [13] Myerson A.S. 1981. Determination of Degree of Attrition of Sodium Perborates. *Handbook of Industrial Crystallization*, British Standards Institution, 1-5688.
- [14] Schulze D. 2001. Flow Properties of Powders and Bulk Solids and Silo Design for Flow. *Produktbroschüre*, Internationaler Kongress für Partikeltechnologie Powtech, 27-29 March, Partec Nürnberg.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Değişken gecikmeli kısıtlı stokastik kontrol geçiş sistemleri için regülatör problemi

Çerkez AĞAYEVA<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Muş Alparslan Üniversitesi, İktisat Bölümü, 49250, Muş

<sup>2</sup>Institute of Control, Azerbaijan National Academy of Science, Baku  
(ORCID: 0000-0003-0507-9785)

---

### Öz

Bu makalede, doğrusal stokastik denklemler sınıfıyla ifade olunan geçiş sistemleri ele alınmıştır. Gecikmeli faz ve kontrol parametreleri içeren diferansiyel denklemler için karesel amaç fonksiyonu olan optimal kontrol problemi oluşturulmuş ve sağ uç noktasında kısıta sahip olan durum için optimizasyon problemi incelenmiştir. Literatürde Doğrusal Karesel Regülatör olarak bilinen ve sabit katsayılı stokastik diferansiyel denklemlerle ifade olunan bu problemin optimallığı için yeter ve gerek koşul, maksimum prensibi şeklinde ispatlanmıştır. Bunun yanı sıra geçiş sistemleri için önemli olan geçiş noktalarının bulunması için karşılıklı koşulları bulunmuştur. Sonuçta ise Doğrusal Karesel Regülatör problemleri için önem taşıyan optimal kontrolün geri dönüşüm şekli bulunmuştur. Çözümü, Riccati denklemleriyle ifade olunan geri dönüşüm problemi, bu çalışmada değişken gecikmeli stokastik sistemler için uygulanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Optimal kontrol problemi, gecikmeli stokastik diferansiyel denklemler, geçiş sistemleri, Riccati denklemleri.

---

## Regulator problem of restricted stochastic switching systems with variable delay

---

### Abstract

In this paper, the switching systems expressed by the class of linear stochastic differential equations are discussed. For the differential equations containing the delayed phase and delayed control parameters, the optimal control problem with the quadratic cost function is constructed. Stochastic optimization problem is examined for the systems with the the right end point restriction. Linear Quadrature Regulator problem expressed by the stochastic differential equations is investigated. Necessary and sufficient condition in terms of maximum principle has been proven. In addition, transversation conditions have been found to establish the transition points that are important for the switching systems. It is well known that, the feedback form of optimal control important for the Linear Quadrature Regulator problems. The solution of feedback problem directly relate with Riccati equations. Mentioned problem is solved for the stochastic differential equation with variable delay.

**Keywords:** Optimal control problem, stochastic differential equation with delay, switching systems, Riccati equations.

---

### 1. Giriş

Gerçek problemlerde karşılaştığımız sistemlerin dinamiğinin belirlenmesinde geçmiş bilgilerin önemi bir çok çalışmada öne sürülmektedir [1]. Bu sistemlerin ifade olunması için kullanılan matematiksel modeller içerisinde gecikmeli diferansiyel denklemler öne çıkmaktadır. Aynı zamanda bir çok biyoloji, tıp, ekonomi, mekanik vb. alanlarda karşılaştığımız bir sıra sistemlerin tanımlanmasında belirsizlikleri göz önünde bulundurulmak zarureti duyulmaktadır [2-6]. Son zamanlarda yukarıda belirtilen iki önemli

---

\*Sorumlu yazar: [c.agayeva@alparslan.edu.tr](mailto:c.agayeva@alparslan.edu.tr)

Geliş Tarihi: 15.10.2019, Kabul Tarihi: 16.06.2020



özelliği içeren sistemlerin incelenmesi için yapılan araştırmalara sık sık rastlanmaktadır [7-9]. Son birkaç yıl içinde, özellikle hayat ve hayat dışı sigortalardan, matematiksel finanstan, sağlık, ekonomi ve teknik sistemlerden kaynaklanan stokastik optimizasyon problemleri önemli ölçüde gelişmiştir.

Rastgele etkilere ve zaman gecikmesine maruz kalan dinamik sistemlerin kontrol teorisi üzerine yapılan araştırmalara örnek olarak, Ağayeva ve Allahverdiyeva [10], Balakrishnan [11], Chernousko ve Ananievski [12], Federico ve ark. [13], Larssen [14] çalışmaları gösterilebilir.

Doğrusal kontrol problemi, doğrusal stokastik diferansiyel denklemlerle ifade olunan ve belirli amaç fonksiyonunun en iyi değerinin bulunmasına dayanan ilk optimal kontrol problemi olarak bilinmektedir [15-18].

Bu problemlerin özel hali olan doğrusal karesel regülatör problemi, literatürdeki en çok çalışılan kontrol problemlerinden biri olmasına rağmen, düzgün ve düzgün olmayan doğrusal sistemler için hala açık kalan çeşitli optimal kontrol problemleri mevcuttur [19-21].

Düzgen olmayan hibrit sistemlerinin özel sınıfı olarak tanımlanan geçiş sistemleri, sürekli değişime sahip dinamiklerin modellenmesinde geniş şekilde kullanılmaktadır. Boukas [22], Kharatashvili ve Tadumadze [23], Tadumadze ve Arsenashvili [24], Aghayeva [25], Abushov ve Aghayeva [26], Ağayeva [27] ve benzer çalışmalarda bu sistemlerle bağlı çeşitli problemler ele alınmıştır.

Bu makalede değişken gecikmeli doğrusal stokastik diferansiyel denklemlerle ifade olunan sistemler için optimal kontrol problem ele alınmıştır. Sistemin sağ uç noktalarındaki kısıtlar da dikkate alınarak, optimal çözüm için gerek ve yeter koşul bulunmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Problemin tanımlanması ve ön bilgiler

Bu bölümde, çalışmada kullanılan notasyon ve tanımları belirledik.  $N$  pozitif bir sabit olsun;  $R^n$  ile  $n$  boyutlu gerçek vektör uzayını,  $|\cdot|$  ile Öklid normunu ve  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  ile skaler çarpımı işaretlenmiştir. Beklenen değer  $E$  olarak,  $\{1, \dots, s\}$  tam sayılarının kümesi ise  $\overline{1, s}$  olarak gösterilmiştir; ' simgesi türevi, \* - matrisler için transpose işlemini ifade etmektedir.

Varsayalım ki,  $F_t^l = \bar{\sigma}(w_q^l, t_{l-1} \leq t \leq t_l)$ ,  $l = \overline{1, s}$ , bağımsız  $w^1(t), w^2(t), \dots, w^s(t)$  Wiener süreçlerinin ürettiği akımlar;  $(\Omega, F^l, P)$ ,  $l = \overline{1, s}$  ise  $\{F_t^l, t \in [t_{l-1}, t_l]\}$  akımlarının oluşturduğu olasılık uzayı olsun.  $E \int_a^b |x(t, \omega)|^2 dt < +\infty$  koşulunu sağlayan tüm öngörülebilir stokastik süreçler uzayını  $L_{F^l}^2(a, b; R^n)$  olarak gösterilmiştir.  $R^m$ 'den  $R^n$ 'e yansıyan tüm lineer dönüşümler ise  $R^{m \times n}$  gibi gösterilmiştir.

$U = U^1 \times U^2 \times \dots \times U^s$  ve  $\pi^i = (t_0, \dots, t_i, x_{t_1}^1, \dots, x_{t_i}^1, u^1, \dots, u^i)$  elemanlarından oluşan kümeler  $A_i = T^{i+1} \times \prod_{j=1}^i O_j \times \prod_{j=1}^i U^j$  olarak gösterilmiştir.

$O_l \subset R^{n_l}, Q_l \subset R^{m_l}$  açık kümeler;  $T = [0, T]$  sonlu aralık ve  $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_s = T$  olsun.

Varsayalım ki,  $A^l, B^l, L^l, Q^l \in R^{n_l \times n_l}, C^l, D^l \in R^{n_l \times m_l}, \Phi^l, K^l \in R^{n_l}$  sonlu deterministik matrisler,  $G^l, M^l \in R^{n_l \times n_l}$  yarı-kesin positif,  $N^l \in R^{m_l \times m_l}$  kesin positif deterministik matrislerdir. Aksi belirtilmediği sürece makalede  $t = (t_0, t_1, \dots, t_s)$ ,  $u = (u^1, u^2, \dots, u^s)$ ,  $x = (x^1, x^2, \dots, x^s)$  gösterimleri kullanılacaktır.

Aşağıdaki şekilde tanımlanan doğrusal geçiş sistemini ele alalım:

$$dx^l(t) = [A^l x^l(t) + B^l x^l(t - h(t)) + C^l u^l(t) + D^l u^l(t - h(t))]dt + [L^l x^l(t) + Q^l x^l(t - h(t))]dw^l(t), \quad (1)$$

$$x^{l+1}(t) = \Phi^l x^l(t) + K^l, t \in [t_l - h(t_l), t_l], l = \overline{1, s-1}, \quad (2)$$

$$x^1(t) = K^0, t \in [t_0 - h(t_0), t_0], \quad (3)$$

$$u^l(t) \equiv u^l(t, \omega) \in U^l_0 \equiv \{u^l(\cdot, \cdot) \in L^2_{F^l}(t_{l-1}, t_l; R^{m_l}) | u^l(t, \cdot) \in U^l \subset R^{m_l}\} . \quad (4)$$

Burada  $U^l, l = \overline{1, s}$  boş olmayan sonlu kümelerdir.  $U^l_0$  kümelerinin elemanlarını mümkün kontroller olarak tanımlayalım. Problem, (1)-(3) sisteminin (4) mümkün kontroller kümesinde tanımlanan çözümleri için,

$$J(u) = E \sum_{l=1}^s \{ \langle G^l x^l(t_l), x^l(t_l) \rangle + \int_{t_{l-1}}^{t_l} (\langle M^l x^l(t), x^l(t) \rangle + \langle N^l u^l(t), u^l(t) \rangle) dt \} \quad (5)$$

amaç fonksiyonunu

$$E \langle q^s(t_s), x^s(t_s) \rangle \in G \quad (6)$$

koşulu altında minimize eden,  $(x^1, x^2, \dots, x^s, u^1, u^2, \dots, u^s)$  optimal çözümün ve  $t_1, t_2, \dots, t_s$  geçiş dizisinin bulunmasından oluşmaktadır.

Burada  $h(t) > 0, t \in [t_0, t_s]$  sürekli diferansiyellenen deterministik fonksiyon olup,  $\frac{dh(t)}{dt} < 1$  koşulunu sağlamaktadır,  $G$  ise boş olmayan kapalı konveks kümedir.

**Tanım 1.** Eğer  $x^l(t) \in O_l$  fonksiyonu  $t \in [t_l - h(t_l), t_l]$  aralığında (2), (3) koşullarını tatmin ediyorsa ve nerdeyse tüm  $[t_{l-1}, t_l]$  aralığında 1 olasılığıyla mutlak süreklilyse, o zaman  $\{x^l(t) = x^l(t, \pi^l), t \in [t_l - h(t_l), t_l], l = \overline{1, s}\}$  fonksiyoneller kümesi (1) doğrusal stokastik diferansiyel denkleminin  $\pi^s \in A_s$  elemanına uygun gelen çözümdür denir.

**Tanım 2.**  $(x^l(t), u^l(t)), t \in [t_{l-1} - h(t_{l-1}), t_l], l = \overline{1, s}$  çiftleri (1)-(4) geçiş sisteminin çözümüyse ve (6) koşulunu sağlıyorsa,  $\pi^s \in A_s$ 'ye mümkün eleman denir.

Tüm mümkün elemanlar kümesi  $A_s^0$  olarak tanımlayalım.

**Tanım 3.** Eğer  $\tilde{u}^l, l = \overline{1, s}$  mümkün kontrolleri ve (1)-(4), (6) sisteminin ona uygun gelen  $\tilde{x}^l, l = \overline{1, s}$  çözümleri varsa ki,  $(\tilde{x}^l, \tilde{u}^l)$  çiftleri (5) fonksiyonunu minimize ediyor,  $\tilde{\pi}^s \in A_s^0$  elemanına (1)-(6) probleminin optimal çözümü denir.

## 2.2. Doğrusal geçiş sistemleri için optimallik koşulu

Ele alınan (1)-(6) kısıtlı stokastik optimal kontrol probleminin çözümü için önce (1)-(5) kısıtsız optimizasyon probleminin incelenmesi gerekiyor. Aşağıdaki teorem stokastik geçiş sistemleri için ele alınan (1)-(5) doğrusal regülatör problemi için gerek ve yeter koşulu ifade ediyor. Teoremin ispatı, Ağayeva [27] çalışmasındaki yaklaşımlara benzer yöntemler izlenmekle, Ağayeva ve Takan [28] makalesinde verilmiştir.

**Teorem 1 ([28]).** Varsayalım ki,  $(\psi^l(t), \beta^l(t)) \in L^2_{F^l}(t_{l-1}, t_l; R^{n_l}) \times L^2_{F^l}(t_{l-1}, t_l; R^{n_l \times n_l})$  rassal süreçleri

$$\left\{ \begin{array}{l} d\psi^l(t) = -[A^{l*}\psi^l(t) + B^{l*}\psi^l(r(t))r'(t) + L^{l*}\beta^l(t) + Q^{l*}\beta^l(r(t))r'(t) - M^lx^l(t)]dt \\ \quad + \beta^l(t)dw^l(t), \quad t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)], \quad l = \overline{1, s} \\ d\psi^l(t) = -[A_t^{l*}\psi^l(t) + B^{l+1*}\psi^{l+1}(t)\Phi^l + L_t^{l*}\beta^l(t) + Q^{l+1*}\beta^{l+1}(t)\Phi^l - M^lx^l(t)]dt \\ \quad + \beta^l(t)dw^l(t), \quad t \in [t_l - h(t_l), t_l], \quad l = \overline{1, s} \\ \psi^l(t_l) = -G^lx^l(t_l) + \Phi^{l*}\psi^{l+1}(t_l), \quad l = \overline{1, s-1} \\ \psi^s(t_s) = -G^sx^s(t_s); \end{array} \right. \quad (7)$$

stokastik denklemler sisteminin çözümleridir ve burada  $\tau = r(\tau)$  fonksiyonu  $\tau = t - h(t)$  denkleminin çözümüdür. Bu zaman  $\pi^s = (t_0, \dots, t_s, x_t^1, \dots, x_t^s, u^1, \dots, u^s)$  elemanının (1)-(5) probleminin optimal çözümü olması için gerek ve yeter koşul aşağıdakilerdir:

a)  $u^l(t)$ ,  $l = \overline{1, s}$  optimal kontrol adayları aşağıdaki gösterimle belirleniyor:

$$\left\{ \begin{array}{l} N^{l*}u^l(t) = C^{l*}\psi^l(t) + D^{l*}\psi^l(r(t))r'(t), \quad t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)] \\ N^{l*}u^l(t) = C^{l*}\psi^l(t), \quad t \in [t_l - h(t_l), t_l] \end{array} \right. \quad (8)$$

b) Tüm  $t_1, t_2, \dots, t_{s-1}$  noktaları için:

$$\begin{aligned} \psi^l(t_l)[A^lx^l(t_l) + B^lx^l(t_l - h(t_l)) + C^lu^l(t_l) + D^lu^l(t_l - h(t_l))] + \beta^l(t_l)[L^lx^l(t_l) + \\ Q^lx^l(t_l - h(t_l))] = \psi^{l+1}(t_l)[A^{l+1}x^{l+1}(t_l) + B^{l+1}x^{l+1}(r(t_l))r'(t_l) + \\ C^{l+1}u^{l+1}(t_l) + D^{l+1}u^{l+1}(r(t_l))r'(t_l)] + \beta^{l+1}(t_l)[L^{l+1}x^{l+1}(t_l) + Q^{l+1}x^{l+1}(r(t_l))r'(t_l)] \end{aligned} \quad (9)$$

geçiş kuralları sağlanmaktadır.

Şimdi Teorem 1'e dayanarak (1)-(6) eşitlikleriyle tanımlanan kısıtlı stokastik regülatör problemini inceleyelim. Kullanacağımız yaklaşımda ihtiyacımız olacak Ekeland Varyasyon Prensibini tanımlayalım.

**Ekeland varyasyon prensibi** (Ekeland, [29]).  $K$  tam metrik uzay,  $f: K \rightarrow R \cup \{+\infty\}$  ise alttan sınırlı ve yarısürekli fonksiyon olsun.  $f(x)$  fonksiyonu  $x_0$  noktasında positif  $\varepsilon$  değeri için

$$f(x_0) \leq \inf f(x) + \varepsilon$$

koşulunu sağlasın. Bu zaman keyfi  $\lambda > 0$  için  $\exists \bar{x} \in K$  noktası var ki,

- 1)  $f(\bar{x}) \leq f(x_0)$ ,
- 2)  $d(x_0, \bar{x}) \leq \lambda$ ,
- 3)  $\forall x \neq \bar{x}$  için

doğru oluyor.

**Teorem 2.** Varsayalım ki,  $(\psi^l(t), \beta^l(t)) \in L_{F^l}^2(t_{l-1}, t_l; R^{n_l}) \times L_{F^l}^2(t_{l-1}, t_l; R^{n_l \times n_l})$  rassal süreçleri ve  $\lambda = (\lambda_0^s, \lambda_1^1, \dots, \lambda_1^s)$ ,  $\lambda_0^s \leq 0$  vektörü:

$$\left\{ \begin{array}{l} d\psi^l(t) = -[A^{l*}\psi^l(t) + B^{l*}\psi^l(r(t))r'(t) + L^{l*}\beta^l(t) + Q^{l*}\beta^l(r(t))r'(t) - M^lx^l(t)]dt \\ \quad + \beta^l(t)dw^l(t), \quad t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)], \quad l = \overline{1, s} \\ d\psi^l(t) = -[A_t^{l*}\psi^l(t) + B^{l+1*}\psi^{l+1}(t)\Phi^l + L_t^{l*}\beta^l(t) + Q^{l+1*}\beta^{l+1}(t)\Phi^l - M^lx^l(t)]dt \\ \quad + \beta^l(t)dw^l(t), \quad t \in [t_l - h(t_l), t_l], \quad l = \overline{1, s} \\ \psi^l(t_l) = -\lambda_1^l G^lx^l(t_l) + \Phi^{l*}\psi^{l+1}(t_l), \quad l = \overline{1, s-1} \\ \psi^s(t_s) = -\lambda_1^s G^sx^s(t_s) - \lambda_0^s q^s(t_s); \end{array} \right. \quad (10)$$

eşlenik stokastik denklemler sisteminin çözümü olsun. Bu durumda;

$\pi^s = (t_0, \dots, t_s, x_t^1, \dots, x_t^s, u^1, \dots, u^s)$  elemanın (1)-(6) probleminin optimal çözümü olması için gerek ve yeter koşul, (8),  $t_1, \dots, t_{s-1}$  noktalarında (9) ve  $t_s$  noktasında ise:

$$\begin{aligned} \psi^s(t_s) [A^s x^s(t_s) + B^s x^s(t_s - h(t_s)) + C^s u^s(t_s) + D^s u^s(t_s - h(t_s))] \\ + \beta^s(t_s) [L^s x^s(t_s) + Q^s x^s(t_s - h(t_s))] + q_t^s(t_s) = 0; \end{aligned} \quad (11)$$

eşitliklerinin doğru olmasıdır. Burada  $q_t^s(t_s)$  ile  $q^s(t)$  fonksiyonunun  $t_s$  noktasındaki türevi gösterilmektedir.

**İspat.** Her bir pozitif  $j$  tam sayısı için,

$$I_j(u) = \min_{(c,y) \in \varepsilon} \sqrt{\sum_{l=1}^s |c^l - 1/j - ES^l(x, u, t)|^2 + |y - E(q^s(t_s), x^s(t_s))|^2}$$

şeklinde yaklaşık fonksiyonu tanımlayalım. Burada  $\varepsilon = \{c: c \leq J^0, y \in G\}$ ,  $c = c^1 + \dots + c^s$ ,  $S^l(x, u, t) = \langle G^l x^l(t_l), x^l(t_l) \rangle + \int_{t_{l-1}}^{t_l} (\langle M^l x^l(t), x^l(t) \rangle + \langle N^l u^l(t), u^l(t) \rangle) dt$  ve  $J^0$  ise (1)-(5) probleminde fonksiyonelin minimal değerini ifade ediyor. Varsayalım ki,  $V \equiv (V^1, \dots, V^r)$ , nerede ki,  $V^k \equiv (U^k, d)$ ,  $d(u^k, v^k) = (l \otimes P)\{(t, \omega) \in [t_{k-1}, t_k] \times \Omega: v_t^k \neq u_t^k\}$  metriğine göre tanımlanan kontroller uzayıdır. Ekeland Varyasyon Prensibine göre,  $\exists u_t^{l,j}: d(u_t^{l,j}, u_t^l) \leq \sqrt{\varepsilon_j^l}$  kontrolü var ki,  $\forall u_t^l \in V^l$  için aşağıdaki eşitsizlik sağlanmaktadır:

$$I_j(u^j) \leq I_j(u) + \frac{1}{j} d(u^j, u), \quad d(u^j, u) = \sum_{l=1}^s d(u^{l,j}, u^l).$$

Böylece, kısıtsız

$$\left\{ \begin{aligned} & J_j(u) = I_j(u^j) + E \sum_{l=1}^s \sqrt{\varepsilon_j^l} \int_{t_{l-1}}^{t_l} \delta^l(u_t^l, u_t^{l,j}) dt \rightarrow \min \\ & dx_t^{l,j} = [A^l x^{l,j}(t) + B^l x^{l,j}(t - h(t)) + C^l u^{l,j}(t) + D^l u^{l,j}(t - h(t))] dt + \\ & \quad [L^l x^{l,j}(t) + Q^l x^{l,j}(t - h(t))] dw^l(t), \quad t \in (t_{l-1}, t_l] \\ & x_t^{1+1,j} = \Phi^l x^{l,j}(t) + K^l, \quad t \in [t_l - h(t_l), t_l], \quad l = 1, \dots, s-1, \\ & x_t^{1,j} = K^0, \quad t \in [t_0 - h(t_0), t_0], \quad u_t^l \in U_\partial^l \end{aligned} \right. \quad (12)$$

doğrusal stokastik kontrol probleminin çözümünü  $(t_0, t_1, \dots, t_r, x_t^{1,j}, \dots, x_t^{r,j}, u_t^{1,j}, \dots, u_t^{r,j})$  olarak gösterebiliriz.

Varsayalım ki,  $\psi_t^{l,j} \in L_{F^l}^2(t_{l-1}, t_l; R^{n_l})$ ,  $\beta_t^{l,j} \in L_{F^l}^2(t_{l-1}, t_l; R^{n_l \times n_l})$  rassal süreçleri ve sıfır olmayan  $(\lambda_0^{s,j}, \lambda_1^{1,j}, \dots, \lambda_1^{s,j})$  vektörleri var ki,

$$\left\{ \begin{aligned} d\psi^{l,j}(t) &= -[A^{l*}\psi^{l,j}(t) + B^{l*}\psi^{l,j}(r(t))r'(t) + L^{l*}\beta^{l,j}(t) + Q^{l*}\beta^{l,j}(r(t))r'(t) - \\ &\quad - M^l x^{l,j}(t)] dt dx_t^{l,j} = +\beta^{l,j}(t)dw^l(t), \quad t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)], \quad l = \overline{1, s} \\ d\psi^{l,j}(t) &= -[A^{l*}\psi^{l,j}(t) + B^{l+1*}\psi^{l+1,j}(t)\Phi^l + L_t^{l*}\beta^{l,j}(t) + Q^{l+1*}\beta^{l+1,j}(t)\Phi^l \\ &\quad - M^l x^{l,j}(t)] dt + \beta^{l,j}(t)dw^l(t), \quad t \in [t_l - h(t_l), t_l], \quad l = \overline{1, s} \\ \psi^{l,j}(t_l) &= -\lambda_1^{l,j} G^l x^{l,j}(t_l) + \Phi^{l*}\psi^{l+1,j}(t_l), \quad l = \overline{1, s-1} \\ \psi^{s,j}(t_s) &= -\lambda_1^{s,j} G^s x^{s,j}(t_s) - \lambda_0^{s,j} q^s(t_s); \end{aligned} \right. \quad (13)$$

sisteminin çözümüdürler.  $(\lambda_0^{s,j}, \lambda_1^{1,j}, \dots, \lambda_1^{s,j})$  vektörü

$$(-y + E q^s x^{s,j}(t_s), -c^1 + \varepsilon_j^1 + ES^1(x^1, u^1, t), \dots, -c^s + \varepsilon_j^s + ES^s(x^s, u^s, t))/J_j^0 \quad (14)$$

ifadesiyle ve

$$J_j^0 = (\sum_{l=1}^s |c^l - 1/j - ES^l(x^l, u^l, t)|^2 + |y - E(q^s(t_s), x^{s,j}(t_s))|^2)^{\frac{1}{2}}$$

olarak tanımlanmışlar.

Bu durumda Teorem 1'e dayanarak, aşağıdaki sonuca varmış oluyoruz:

$u^{l,j}(t), l = \overline{1, s}$  elemanları (12) kontrol probleminin optimal çözümü olması için gerek ve yeter koşul,

$$\begin{cases} N^{l*}u^{l,j}(t) = C^{l*}\psi^{l,j}(t) + D^{l*}\psi^{l,j}(r(t))r'(t), \quad t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)] \\ N^{l*}u^{l,j}(t) = C^{l*}\psi^{l,j}(t), \quad t \in [t_l - h(t_l), t_l] \end{cases} \quad (15)$$

sağlanmasıdır. Bunun yanı sıra , tüm  $t_1, t_2, \dots, t_{s-1}$  noktaları için:

$$\begin{aligned} &\psi^{l,j}(t_l)[A^l x^{l,j}(t_l) + B^l x^{l,j}(t_l - h(t_l)) + C^l u^{l,j}(t_l) + D^l u^{l,j}(t_l - h(t_l))] \\ &\quad + \beta^{l,j}(t_l)[L^l x^{l,j}(t_l) + Q^l x^{l,j}(t_l - h(t_l))] = \\ \psi^{l+1,j}(t_l)[A^{l+1} x^{l+1,j}(t_l) + B^{l+1} x^{l+1,j}(r(t_l))r'(t_l) + C^{l+1} u^{l+1,j}(t_l)u^{l+1,j}(r(t_l))r'(t_l)] \\ &\quad + \beta^{l+1,j}(t_l)[L^{l+1} x^{l+1,j}(t_l) + Q^{l+1} x^{l+1,j}(r(t_l))r'(t_l)]; \end{aligned} \quad (16)$$

ve  $t_s$  noktasında ise:

$$\begin{aligned} &\psi^{s,j}(t_s)[A^s x^{s,j}(t_s) + B^s x^{s,j}(t_s - h(t_s)) + C^s u^{s,j}(t_s) + D^s u^{s,j}(t_s - h(t_s)) \\ &\quad + \beta^{s,j}(t_s)[L^s x^{s,j}(t_s) + Q^s x^{s,j}(t_s - h(t_s))] + q_t^s(t_s) = 0 \end{aligned} \quad (17)$$

geçiş koşullarını sağlanmış oluyor.

Eşitlik (14)'den  $|\lambda_0^{s,j}|^2 + \sum_{l=1}^s \langle \lambda_1^{l,j}, \lambda_1^{l,j} \rangle = 1$  olduğunu ve  $(\lambda_0^{s,j}, \lambda_1^{1,j}, \dots, \lambda_1^{s,j}) \rightarrow (\lambda_0^s, \lambda_1^1, \dots, \lambda_1^s)$  eğer  $j \rightarrow \infty$  yakınsaklığını elde etmiş oluruz.

Aynı zamanda  $I_j(u)$  konveks fonksiyonunun  $(ES^{1,j}(x, u, t), \dots, ES^{s,j}(x, u, t), E(q^s(t_s), x^{s,j}(t_s)))$  noktasında sonlu diferansiyelinin varlığından  $\lambda_1^l \leq 0, l = 1, \dots, s$  olduğunu ve  $E(q^s(t_s), x^s(t_s))$  noktasında  $\lambda_0^s$ 'ın  $\mathbf{G}$  kümesi için normal oluşturduğunu kanıtlamış oluyoruz. Böylece,

$\psi^{l,j}(t_l) = -\lambda_1^{l,j} G^l x^{l,j}(t_l) + \Phi^{l*}\psi^{l+1,j}(t_l)$  ve  $\psi^{s,j}(t_s) = -\lambda_0^{s,j} q^s(t_s) - \lambda_1^{s,j} G^s x^{s,j}(t_s)$  ifadelerinden  $\psi^l(t_l) = -\lambda_1^l G^l x^l(t_l) + \Phi^{l*}\psi^{l+1}(t_l)$  ve  $\psi^s(t_s) = -\lambda_0^s q^s(t_s) - \lambda_1^s G^s x^s(t_s)$  eşitlikleri elde ediliyor. Bununla da,  $\psi_t^{l,j}, \beta_t^{l,j}$  dizisinin zayıf limitininin  $\psi_t^l, \beta_t^l$  olduğu sağlanmış oluyor. Nihayet, (15)-(17) ifadelerinde limit alınarak, (8),(9),(11) eşitliklerini doğrulamış oluyoruz.

## 2.2. Gecikmeli stokastik sistemler için Riccati denklemi

Doğrusal Karesel Regülatör problemlerinin önemli yönü optimal kontrolün geri dönüşüm şeklinde ifadesinin oluna bilinmesidir. Bir başa Riccati denklemleriyle ilişkili olan problem, bu çalışmada değişken gecikmeli stokastik sistemler için Teorem 2’de eşitlik (8) ile ifade olunan optimal kontrolü ileri diferansiyel denklemlerle formüle etmekten ibarettir. Ele alınan regülatör probleminde geri dönüşüm förmülü için, (10) stokastik eklenik denkleminin çözümü faz değişkenlerinin doğrusal fonksiyonu olarak 1 olasılıkla aşağıdaki gibi aranacaktır:

$$\psi^l(t) = -p^l(t)x^l(t) \quad , \quad l = \overline{1, s} \tag{18}$$

Amacımız, bilinmeyen  $p^l(t)$  ,  $l = 1, \dots, s$  rassal süreçlerinin şeklini  $dp^l(t) = \alpha^l(t)dt + \gamma^l(t)dw^l(t)$  ,  $l = 1, \dots, s$

şeklinde tanımlayıp, uygun Riccati denklemlerini bulmaktadır. tokastik süreçlerin zamana göre diferansiyelinin bulunması için bilinen İto formülüne [3], dayanarak (18) eşitliğinden ve (1) denklemden:

$$\begin{aligned} -d\psi^l(t) &= dp^l(t)x^l(t) + p^l(t)dx^l(t) + \gamma^l(t)L^lx^l(t) + \gamma^l(t)Q^lx^l(t-h(t))dt = \\ &dp^l(t)x^l(t) + p_t^l[A^lx^l(t) + B^lx^l(t-h(t)) + C^l(t)u^l(t) + D^l(t)u^l(t-h(t))]dt + \\ &\gamma^l(t)[L^lx^l(t) + Q^lx^l(t-h(t))]dt + p^l(t)[L^lx^l(t) + Q^lx^l(t-h(t))]dw^l(t). \end{aligned} \tag{19}$$

Her bir  $l = \overline{1, s}$  için (10) denklemine göre:

$$\begin{aligned} &\int_{t_{l-1}}^{t_l-h} [A^{l*} \psi^l(t) + D^{l*} \beta^l(t) + B^{l*} \psi^l(r(t))r'(t) - M^lx^l(t)]\chi_l dt + \int_{t_l}^{t_l-h} [A^{l*} \psi^l(t) + D^{l*} \beta^l(t) \\ &+ B^{l+1*} \psi^{l+1}(r(t))r'(t)\Phi^l - M^lx^l(t)](1 - \chi_l)dt - \int_{t_{l-1}}^{t_l} \beta^l(t)dw^l(t) = \\ &\int_{t_{l-1}}^{t_l} [\alpha^l(t)x^l(t) + p^l(t)A^lx^l(t) + p^l(t)B^lx^l(t-h(t)) + p^l(t)C^lu^l(t) + p^l(t)D^lu^l(t-h(t)) \\ &+ \gamma^l(t)L^lx^l(t) + \gamma^l(t)Q^lx^l(t)h(t)]dt \\ &+ \int_{t_{l-1}}^{t_l} [\gamma^l(t)x^l(t) + p^l(t)L^lx^l(t) + p^l(t)Q^lx^l(t-h(t))] dw^l(t) \end{aligned}$$

elde etmiş oluruz. Burada  $\chi_l$  ise  $[t_{l-1}, t_l - h(t_l)]$  aralığının gösterge fonksiyonudur.

Son işlemleri dikkate alarak, optimal kontrol için

$$\begin{cases} N^{l*}u^{l,j}(t) = C^{l*}p^l(t) + D^{l*}p^l(t-h(t)), x^l(t-h(t)), \quad t \in [t_{l-1}, t_l - h(t_l)] \\ N^{l*}u^l(t) = C^{l*}p^l(t), x^l(t) \quad t \in [t_l - h(t_l), t_l] \end{cases}$$

şeklinde geri dönüşüm ifadesini elde etmiş oluruz ki, buradaki  $(p_t^l, \gamma_t^l)$  rassal süreçleri aşağıdaki Riccati denkleminin çözümüdür:

$$\begin{aligned} dp^l(t) &= -[p^l(t)A^l + A^{l*}p^l(t) + \gamma^l(t)L^l + L^{l*}\gamma^l(t) + L_t^{l*}p^l(t)L^l + p^l(r(t))r'(t)B^l + \\ &B^{l*}p^l(r(t))r'(t) + \gamma^l(r(t))r'(t)Q^l + Q^{l*}\gamma^l(r(t))r'(t) + M^l - p^l(t)C^l(N^{l*})^{-1}C^{l*}p^l(t)]dt \\ &+ \gamma^l(t)dw^l(t), \quad [t_{l-1}, t_l - h] . \end{aligned}$$

$$dp^l(t) = -[p^l(t)A^l + A^{l*} p^l(t) + \gamma^l(t)L^l + L^{l*} \gamma^l(t) + L_t^{l*} p^l(t)L^l + M^l - p^l(t)C^l(N^{l*})^{-1}C^{l*} p^l(t)]dt + \gamma^l(t)dw^l(t), (t_l - h(t_l), t_l].$$

### 3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, düzgen olmayan rassal sistemler için değişken gecikmeli optimal kontrol problemleri ele alınmıştır. Optimal çözüm için gerek ve yeter koşulu ifade eden Teorem 2, incelenen regülatör probleminde durum ve kontrol değişkenleri arasında olan geri dönüşümü göstermektedir. Bu bilgiye dayanarak çalışmada optimal kontrol için açık analitik ifade alınmıştır. Makalede ele alınan problem Ağayeva ve Abushov [30] çalışmasının düzgen olmayan sistemler, Ağayeva ve Takan [28] makalesindeki modelin gecikmeli kontrol içeren durum için geliştirilmiş hali olarak kabul oluna bilir. Belirtilen çalışmalardaki sonuçlar ise, bu makaledeki (6), (9), (10) ve (11) eşitlikleriyle tanımlanan optimallik koşullarının özel durumu olarak yorumlana bilir.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmada 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] Kolmanovsky V., Myshkis A. 1992. Applied Theory of Functional Differential Equations. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1-234.
- [2] Anderson B., Ilchmann A., Wirth F. 2013. Stabilizability of time-varying linear systems. Systems and Control Letters, 62: 747-755.
- [3] Gikhman I., Skorokhod A. 1972. Stochastic Differential Equations. Springer, Berlin, 1-356.
- [4] Hoek J., Elliott R. 2012. American option prices in a Markov chain model. Applied Stochastic Models in Business and Industry, 28: 35-39.
- [5] Mao X. 2007. Stochastic Differential Equations and Their Applications. Horwood Publication House, Chichester, 440.
- [6] Shen H., Xu Sh., Song X., Luo J. 2009. Delay-dependent robust stabilization for uncertain stochastic switching system with distributed delays. Asian Journal of Control, 5: 527-535.
- [7] Chojnowska-Michalik A. 1978. Representation theorem for general stochastic delay equations. Bull. Acad. Polon. Sci. Ser. Sci. Math. Astronom. Phys., 7: 635-642 .
- [8] Elsanosi I., Øksendal B., Sulem A. 2000. Some solvable stochastic control problems with delay. Stochastics and Stochastics Reports, 1-2: 69-89 .
- [9] Kohlmann M., Zhou X. 2000. Relationship between backward stochastic differential equations and stochastic controls: A linear-quadratic approach. SIAM, Journal on Control and Optimization, 38: 1392-1407.
- [10] Ağayeva C., Allahverdiyeva J. 2007. On one stochastic optimal control problem with variable delays. Theory of stochastic processes, 13: 3-11.
- [11] Balakrishnan A. 1975. A note on the structure of optimal stochastic control. Applied Mathematics and Optimization, 1: 87-94.
- [12] Chernousko F., Ananievski I., Reshmin S. 2008. Control of Nonlinear Dynamical Systems: Methods and Applications (Communication and Control Engineering). Springer, Berlin, 1-396.

- [13] Federico S., Golds B., Gozzi F. 2011. HJB equations for the optimal control of differential with delays and state constraints, II: optimal feedbacks and approximations. *SIAM, Journal on Control and Optimization*, 49: 2378-2414.
- [14] Larssen B. 2002. Dynamic programming in stochastic control of systems with delay. *Stochastics and Stochastics Reports*, 3-4: 651-673 .
- [15] Kalman R. 1960. Contributions to the theory of optimal control. *Boletin De La Sociedad Matematica Mexicana*, 5: 102-119.
- [16] Bellman R. 1955. Functional equations in the theory of dynamic programming, positivity and quasilinearity. *Proceeding of National Academy of Science, USA*, 41: 743-746.
- [17] Bensoussan A., Delfour M., Mitter S. 1976. The linear quadratic optimal control problem for infinite dimensional systems over an infinite horizon; survey and examples. In: *IEEE Conference on Decision and Control*, December 1-3, Clearwater, USA, 746-751.
- [18] Delfour M.C. 1986. The linear quadratic optimal control problem with delays in state and control variables: a state space approach. *SIAM Journal on Control and Optimization*, 24: 835-883.
- [19] Ichikawa A. 1982. Quadratic control of evolution equations with delays in control. *SIAM, Journal on Control and Optimization*, 20: 645-668.
- [20] Bismut J.M. 1976. Linear quadratic optimal stochastic control with random coefficients. *SIAM, Journal on Control and Optimization*, 14: 419-444.
- [21] Wonham W. 1968. On a matrix Riccati equation of stochastic control. *SIAM, Journal on Control and Optimization*; 6: 312-326.
- [22] Boukas E.-K. 2006. *Stochastic Switching Systems: Analysis and Design*. Birkhauer, Boston, 1-376.
- [23] Kharatishvili G., Tadumadze T. 1997. The problem of optimal control for nonlinear systems with variable structure, delays and piecewise continuous prehistory. *Memoirs on Differential Equations and Mathematical Physics*, 11: 67-88.
- [24] Tadumadze T., Arsenashvili A. 2008. Optimization of a delay variable structure system with mixed intermediate condition. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 2 (3): 22-26.
- [25] Aghayeva Ch. 2014. Necessary condition of optimality for stochastic switching systems with delay. In: *International Conference on Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 23-25 September, Saint Petersburg, Russia, 54-58.
- [26] Abushov Q., Aghayeva Ch. 2014. Stochastic maximum principle for the nonlinear optimal control problem of switching systems. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 259: 371-376.
- [27] Ağayeva Ch. 2016. Linear Quadratic Control Problem of Stochastic Switching Systems with Delay. *Anadolu University Journal of Science and Technology-B, Theoretical Sciences*, 4 (2): 52-58.
- [28] Ağayeva Ç., Takan A.M. 2018. Restricted Optimal Control Problem for Stochastic Switching Systems with Variable Delay. *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6 (2): 565-569.
- [29] Ekeland I. 1974. On the variational principle. *Journal Mathematical Analysis and Applications*, 47: 324-353.
- [30] Ağayeva Ch., Abushov Q. 2005. Linear-square stochastic optimal control problem with variable delay on control and state. *Transactions ANAS, math.- ph. series, informatics and control problems*, 3: 204-208.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Investigation of Anatomical, Ecological and Trichome Morphological Features of Two Endemic *Symphytum* Species

Hatice YAKUPOĞLU<sup>1</sup>, Nezahat KANDEMİR<sup>2\*</sup>, Arzu CANSARAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Amasya University, Institute of Science and Technology, Department of Biology, Amasya

<sup>2</sup>Amasya University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Amasya  
(ORCID:0000-0002-1596-3040) (ORCID:0000-0002-5428-4139) (ORCID:0000-0002-0912-147X)

---

### Abstract

In this study, anatomical, ecological and trichome morphology features of *Symphytum bornmuelleri* and *Symphytum aintabicum* were compared and identified their valuable features taxonomically. *S. bornmuelleri* and *S. aintabicum* are endemic Euxine and East Mediterranean element of Turkey respectively, and have limited distribution. Anatomical investigations of species were made using light and stereo-microscopes. In anatomical investigations, the cross-sections were taken from root, stem and leaves of species, and the surface-sections were taken from upper and lower surfaces of leaves. *S. bornmuelleri* and *S. aintabicum* have bifacial leaves in terms of mesophyll structure. Stomata were observed on both upper and lower surfaces of the leaves. Stomata are anomocytic type in *S. bornmuelleri*, while stomata were anomocytic and anisocytic types in *S. aintabicum*. Straight and hooked glandular trichomes in different sizes and capitate glandular trichomes with different number of stalk cells and head part were seen on vegetative and generative organs. The number of layers of collenchyma and parenchyma in the stem cortex, the number of layer of sclerenchyma between the vascular bundles, the status of the vascular bundles, the arrangement of collenchyma and paranchyma layers in stem cortex, the density of micropapilla in the cuticle, the density of papillae in the epiderma, stoma index, stoma types, the margin structure of epiderma cells and number of stalk cell and head structure of capitate trichomes were detected very valuable as distinguishing anatomical characters. Soil samples were taken during flowering periods of these species and the physical and chemical properties of soil samples were determined. The species depict a distribution on the soil containing clayey-loamy, loamy, saltless, slightly alkaline, medium degree calcareous, rich in organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium.

**Keywords:** *Symphytum* species, endemic, anatomy, ecology, trichome morphology.

---

## İki Endemik *Symphytum* Türünün Anatomik, Ekolojik ve Tüy Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi

### Öz

Bu çalışmada, *Symphytum bornmuelleri* ve *Symphytum aintabicum*'un anatomik, ekolojik ve tüy morfolojik özellikleri karşılaştırıldı ve onların taksonomik olarak değerli olan özellikleri tespit edildi. *S. bornmuelleri* and *S. aintabicum* sırasıyla Türkiye'nin endemik Öksin ve Doğu Akdeniz elementidir ve limitli yayılışa sahiptirler. Türlerin anatomik incelemeleri ışık ve stero mikroskoplar kullanılarak yapıldı. Anatomik incelemelerde, türlerin kök, gövde ve yaprağından enine kesitler alındı ve yaprakların alt ve üst yüzeylerinden yüzelsel kesitler alındı. *S. bornmuelleri* ve *S. aintabicum* mezofil yapı bakımından bifasiyel yapraklara sahiptir. Stomalar yaprakların hem alt hemde üst yüzeylerinde gözlemlendi. *S. aintabicum* da stomalar anomositik ve anisositik tipte iken, *S. bornmuelleri* de stomalar anomositik tiptedir. Vejetatif ve generatif organlar üzerinde farklı büyüklükte düz ve çengelli örtü tüyleri ve sap hücre sayıları ve baş kısımları farklı kapitat salgı tüyleri görüldü. Gövde korteksindeki kollenkima ve parankimanın tabaka sayısı, iletim demetleri arasındaki sklerenkimanın tabaka sayısı, iletim demetlerinin durumu, gövde korteksindeki kollenkima ve parankima tabakalarının düzeni, kutikuladaki mikropapilla yoğunluğu, epidermadaki papillaların yoğunluğu, stoma indeksi, stoma tipleri, epiderma hücrelerinin kenar yapısı ve kapitat salgı tüylerinin sap hücre sayısı ve baş yapısı çok değerli ayırtecdici anatomik karakterler olarak

---

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

Geliş Tarihi: 16.10.2019, Kabul Tarihi: 08.05.2020

belirlendi. Toprak örnekleri bu türlerin çiçeklenme peryotlarında alındı ve toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri tespit edildi. Türler killi-tınlı ve tınlı, tuzsuz, hafif alkali, orta derecede kireçli, zengin organik madde, azot, fosfor ve potasyum içeren topraklarda yayılış göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** *Symphytum* türleri, endemik, anatomi, ekoloji, tüy morfolojisi.

## 1. Introduction

*Symphytum* L. genus is in the Boragineae Bencht & J. Presl (= Anchusae DC.) tribe of the Boraginaceae Juss. family [1]. Boraginaceae family consists of single, biennial and perennial herbaceous, shrubs and trees. There are 135 genera and 2600 species in the world [2, 3]. Boraginaceae family is of great importance in terms of ornamental and medicinal plants. In molecular systematic studies, Boragineae tribe and *Symphytum* genus were found to be monophyletic [2, 4]. *Symphytum* genus is represented by 40 species in the world and 18 species in the Turkey Flora [5, 6]. This genus is a mesophytic genus. Most of the species in Turkey have limited distribution and endemism ratio of the species is 39 %. In Turkey, *Symphytum* genus is mostly distributed in the Euro-Siberian phytogeographic region. Moreover, *Symphytum* species are distributed in forest and shady areas in Marmara Region, in the mountainous areas of the Mediterranean Region and in the mountainous areas and coasts of the Black Sea Region [6].

Some species with large stems and showy flowers of the genus are grown as ornamental plants in parks and gardens [7, 8]. Proteins, gum, phenolic acids, saponins, tannins, pyrrolizidine alkaloids, vitamins, especially vitamin B12, carotene, starch and high amounts of mineral substances were detected in different organs of some species [9-13]. Also, pyrrolizidine alkaloid (Echimidine) was determined in roots of *S. aintabicum* Hub.-Mor. & Wickens by Kurucu et al. [10]. Therefore, roots and leaves of *Symphytum* species are used by the public, herbalists, and physicians to treat bone fractures, tendon damage, gastrointestinal ulcers, rheumatism, lung obstruction [11, 14]. *Symphytum* taxa are also used as mush for the treatment of burns, eczema and wounds [8, 15-18]. Different *Symphytum* extracts were reported to have antifungal, antioxidant and inflammatory effects [18-22].

According to the morphological and molecular data, Hacıoğlu and Erik [4] were revised the sections of *Symphytum* species in Turkey and were indicated the necessity to take place in *Suborientalia* Buckn. section studied species (*S. aintabicum* and *S. bornmuelleri* Bucknall). Previously, *S. bornmuelleri* and *S. aintabicum* were placed to same section (*Suborientalia*) by Bucnall [23] and Sandrink et al. [24], respectively. Branched roots and thin stems are important characteristic features of this section. Also, species of this section are generally distributed in the Mediterranean and Mediterranean-like habitats. *S. bornmuelleri* is an endemic species, distributed in the north of Central Anatolia and morphologically related to *S. aintabicum*. *S. aintabicum* is an endemic species and has a small distribution area only to the east of the Mediterranean Region.

So far there are not sufficient data concerning anatomical and ecological features of *Symphytum* taxa in Turkey. Hence, the aim of this study was to focus on the anatomical and ecological features of endemic *S. bornmuelleri* and *S. aintabicum* in detail and to reveal the taxonomic characters that can be used to distinguishing species.

## 2. Material and Method

Plant and soil samples were taken from the areas where the species naturally spread during flowering periods. The taxonomic descriptions of these species were made according to Wickens [25]. Some of the plant specimens were made into herbarium specimens and some of them were fixed in 70% alcohol for anatomical investigations. In anatomical examination, the cross-sections of root, stem and leaf and surface-sections of leaves were taken by hand and sarture reagent was applied to cross and surface sections [26]. Photographs were taken on 10 and 40X lenses of the Leica ICC50 HD microscope. Anatomical measurements were made with millimeter ocular of light microscope and measurement results are shown in table 1. The width and length measurements of the stomata on the upper and lower surfaces of the leaves are given in Table 2. Stoma index was calculated according to Meidner and Mansfield [27]. Determining the morphology of trichomes, trichomes on the vegetative and generative organs of studied species were examined using 40X magnification of the Leica ICC50 HD microscope. Trichomes were classified according to Weker et al. [28], Tarikahya [29] and given in Table 3. Soil

samples were taken 1-2 kg from 0-20 cm depth and brought to the laboratory in polyethylene bags. These samples were dried in the laboratory and passed through a 2 mm sieve and made ready for physical and chemical analysis. Physical and chemical analyzes of soil samples were performed in Amasya University Central Research and Application Laboratory Application and Research Center. Soil texture, total salinity, calcium carbonate, pH, nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter contents of the soil samples were determined according to standard methods [30]. Mean and standard deviation values of soil analysis results are shown in Table 4. The localities where the species was collected are listed below;

***Symphytum bornmuelleri***

A5 Amasya: Merzifon-Derealan Village, roadside and over water canal, near *Fagus* forests, open areas, 1585 m., 05.06.2018. H. Yakupoğlu (A1 locality).

A6 Amasya: Taşova-Borabay Lake around, 1000 m., 29.04.2018, A. Cansaran (A2 locality).

A6 Tokat: Erbaa-Boğalı Village, *Fagus* forests 950 m., 05.06.2018, H. Yakupoğlu (A3 locality).

B6 Sivas: Şarkışla-Gülören Village, *Pinus sylvestris* forests, shady areas, 1560 m., 10.06.2018, H. Yakupoğlu (A4 locality).

***Symphytum aintabicum***

C6 Gaziantep: Acaroba Village, damaged scrub and stony areas, 1070 m., 7.05.2007, B.T. Hacıoğlu (B1 locality).

C6 Gaziantep: Kabasakız Village, open stony areas, 850 m., 10.05.2018, H. Yakupoğlu (B2 locality).

C6 Gaziantep: Sof Mountain, TV transmitter surroundings, open steppe areas, 1200 m., 11.05.2018, H. Yakupoğlu (B3 locality).

**Table 1.** Comparison of anatomical characteristics between studied *Symphytum* species

Anatomical characters		<i>S. bornmuelleri</i>		<i>S. aintabicum</i>	
		Length (µm)	Width (µm)	Length (µm)	Width (µm)
<b>R</b> <b>O</b> <b>O</b> <b>T</b>	Peridermis cell	22-30	10-14	20-28	10-16
	Cortex cell	30-70	20-30	30-75	22-32
	Phloem	16-18	14-18	14-18	12-16
	Trachea diameter	-	30-40	-	30-35
	Primary xylem diameter	-	20-25	-	18-24
<b>S</b> <b>T</b> <b>E</b> <b>M</b>	Cuticle	3-5	-	4-6	-
	Epidermis cell	16-22	10-14	14-22	12-16
	Parenchyma cell	20-28	18-24	20-30	16-24
	Collenchyma cell	25-30	24-28	24-32	20-26
	Parenchyma cell	50-70	50-65	-	-
	Sclerenchyma cell	12-18	12-16	10-16	10-16
	Phloem	12-20	10-14	10-16	8-16
	Trachea diameter	-	18-30	-	20-30
	Endodermis cell	20-22	18-22	20-22	16-18
<b>L</b> <b>E</b> <b>A</b> <b>F</b>	Cuticle	5-7	-	6-8	
	Upper epidermis cell	28-40	20-25	26-38	18-25
	Palisade parenchyma	45-60	20-30	42-58	20-35
	Spongy parenchyma	30-45	20-30	28-40	20-28
	Collenchyma cell	20-25	22-28	20-24	20-28
	Lower epidermis cell	22-26	18-24	20-28	20-24

**Table 2.** Stomata measurements and stomata index for *Symphytum* species (upper and lower surfaces of leaf)

Species Name	Leaf surface	Number of epidermis cells	Number of stomata cells	Stomata index (%)	Stomata length (µm)	Stomata width (µm)	Stomata type
<i>S. bornmuelleri</i>	Upper surface	173	55	23.9 %	20-28	18-24	Anomocytic
<i>S. aintabicum</i>	Upper surface	178	49	21.58 %	22-28	20-26	Anomocytic and rarely anisocytic
<i>S. bornmuelleri</i>	Lower surface	147	70	32.26 %	26-36	20-24	Anomocytic
<i>S. aintabicum</i>	Lower surface	150	74	33 %	24-34	20-24	Anomocytic and rarely anisocytic

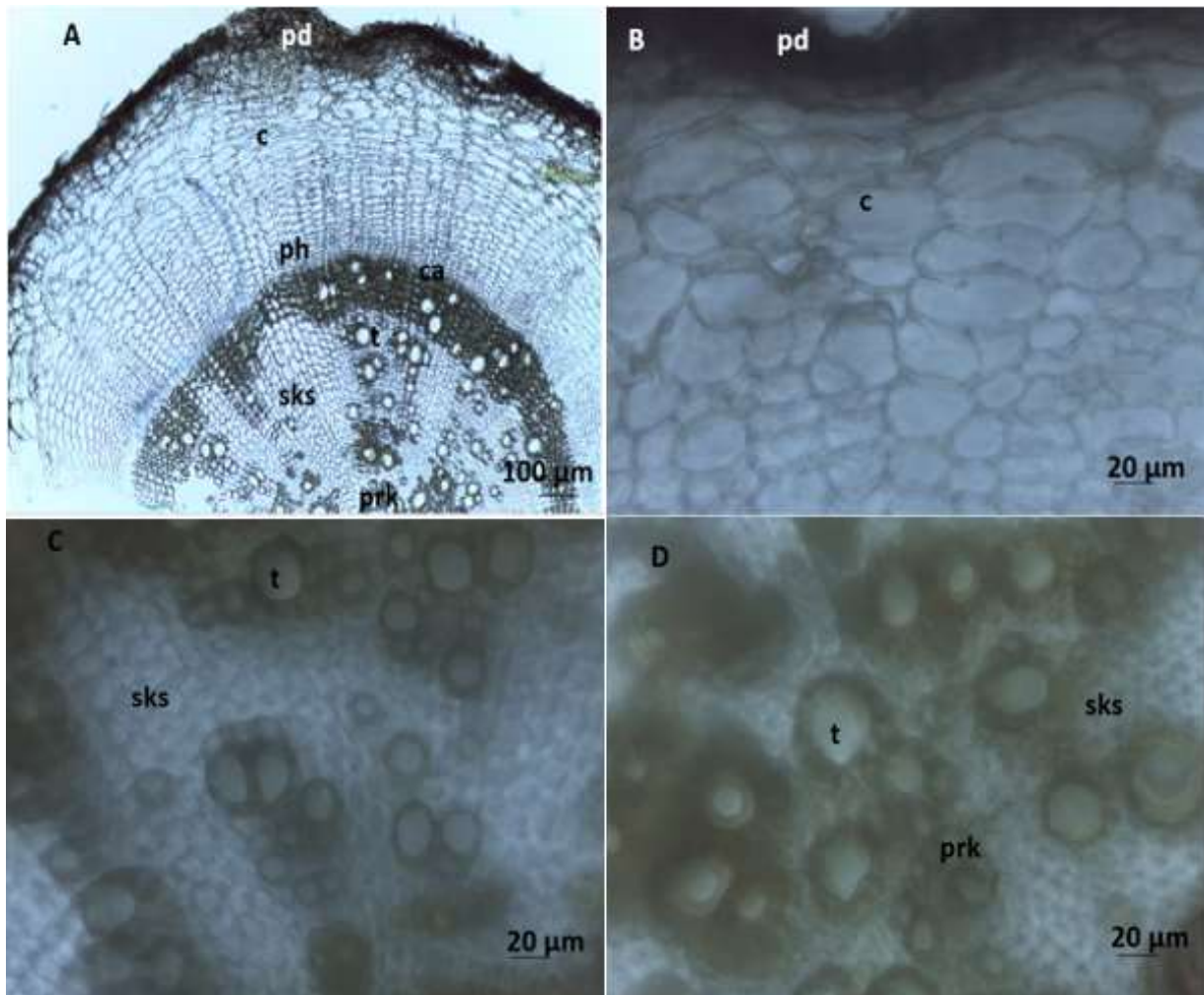
### 3. Results

#### 3.1. The Anatomical Features of *Symphytum bornmuelleri*

**Root:** In root cross sections, periderma is 5-6 layered, cortex is multilayered and parenchymatic (Figures 1 A and B). Phloem elements are obvious. Cambium is 1-3 layered, flat celled and distinguishable. Secondary xylem is composed of dense trachea and sclerenchyma cells (Figure 1 C). Trachea cells are quite large. In the pith region, there are primary xylem elements (Figure 1 D).

**Stem:** Epiderma consists of single layered, small and square shaped cells. Cuticle is medium thickness and with micropapillae (Figures 1 E and F). Cortex is composed of parenchyma, collenchyma and parenchyma layers. Parenchyma cells located under the epiderma are single layered, dense with chloroplast and oval shaped. Collenchyma is 2-3 layered, oval or hexagonal shaped (Figure 1 F). Parenchyma under the collenchyma is 2 layered, sometimes 3 layered, large, oval or hexagonal shaped and without chloroplast. Endoderma is between cortex and vascular bundles and single layered (Figure 1 G). Vascular bundles are collateral type and have same sizes. Phloem and xylem elements are clear. Cambium is 2-3 layered and parenchymatic. In the xylem, there are dense sclerenchyma cells. Sclerenchyma layer between vascular bundles is 3-4 layered. In the pith region, there are large, oval or hexagonal shaped parenchyma cells (Figure 1 H). Sand crystals are observed rare in these parenchyma cells. Strigose, long or short unicellular, thick walled, straight or hooked eglandular and capitate glandular trichomes are seen on the epiderma of stem (Figure 1 T, Table 3). On the stem and petiole, hooked and strigose trichomes are dense seen. The stalk part of capitate glandular trichomes are uni or multicellular, the head part is large and unicellular.

**Leaf:** Cuticle is medium thickness and with micropapillae. Upper and lower epidermis cells are rectangular shaped. The upper epiderma cells are larger than the lower epiderma cells. Both epiderma are with dense papillae. Mesophyll is bifacial type (Figure 1 K). Palisade parenchyma cells are 1 layered, long and cylindrical shaped, spongy palisade cells are 2-3 layered and oval shaped. Stomata are anomocytic type and observed in both epiderma (Figures 1 M and N). Stomata are large and have same level with epidermis cells. In the surface-sections, margins of both epidermis cells are dense undulated. In the cross-section of main vein, 1-2 layered of collenchyma and 4-7 layered of large, oval or hexagonal parenchyma cells were found in the lower epiderma part. In the median region of the leaf, there is a large and collateral vascular bundle (Figure L). Phloem and xylem elements are apparent. On the upper and lower epiderma present eglandular and capitate glandular trichomes (Table 3). Capitate glandular trichomes have uni-multicellular stalk part and unicellular, large head part (Figures 1 P, R and S). Eglandular trichomes are swollen based, thin or thick walled, hooked or straight, long or short. On the veins and margins, there are dense long, hooked or straight eglandular trichomes (Figures 1 S and V). But, on the lamina, there are rare short, hooked eglandular trichomes. Especially, capitate glandular trichomes with unicellular stalk and head part were observed on the middle veins and margins (Figure 1 V). Peltate glandular trichomes were not seen on the vegetative and generative organs of *S. bornmuelleri*. On the calyx, strigose trichomes were obtained (Figure 1 Y). There are prominent papillae in the corolla (Figure 1 Z).



**Figure 1.** Root, stem and leaf anatomical structures and trichome types of *S. bornmuelleri*. (A) Cross section of root, (B) Cortex region of root, (C) Secondary xylem region of root, (D) Secondary and primary xylem regions of root, (E) Cross section of stem, (F) Cortex region of stem, (G) Vascular bundles of stem, (H) Pith region of stem, (K) Cross section of leaf, (L) Cross section of the main vein of the leaf, (M) Surface section of leaf (lower surface), (N) Surface section of leaf (upper surface), (P) Type II capitate glandular trichome in the leaf, (R) Type I capitate glandular trichome in the leaf, (S) Types II, III hooked eglandular and type I capitate glandular trichomes, (T) Type I hooked eglandular trichome in the stem, (V) Type II hooked eglandular trichome in the leaf, (Y) Strigose trichomes in the calyx, (Z) Papillae in the corolla, (pd) Periderma, (c) Cortex, (ph) Phloem, (ca) Cambium, (sks) Secondary xylem, (t) Trachea, (prk) Primary xylem, (e) Epidermis cell, (cu) Cuticle, (cl) Collenchyma, (p) Parenchyma, (en) Endoderma, (ks) Xylem, (sk) Sclerenchyma, (pr) Pith region, (ue) Upper epiderma, (pp) Palisade parenchyma, (sp) Spongy parenchyma, (le) Lower epiderma, (mp) Micropapillae, (pa) Papillae, (s) Stoma cell, (sg) Capitate glandular trichome, (st) Hooked trichome, (ut) Strigose trichome

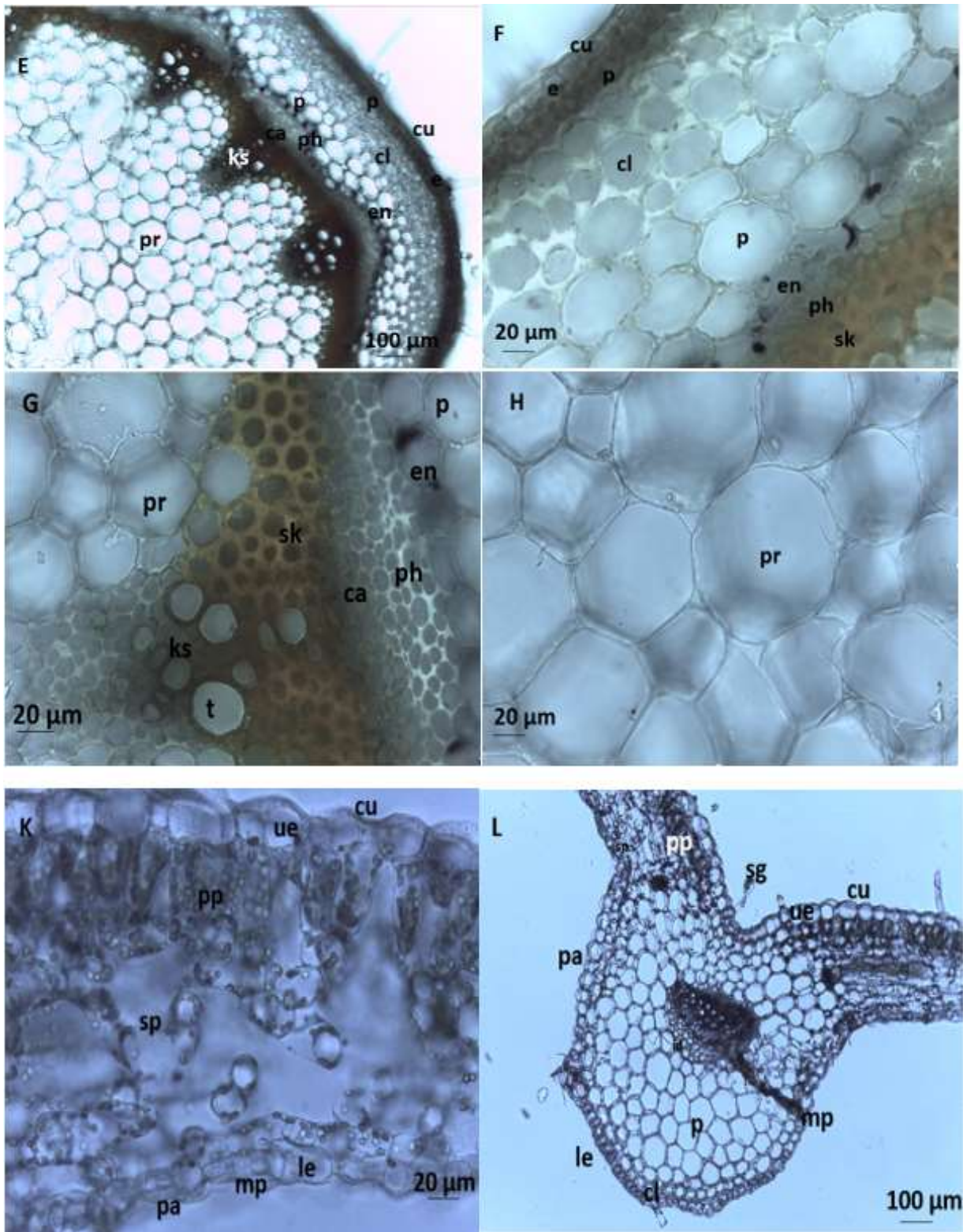


Figure 1. (Continue)

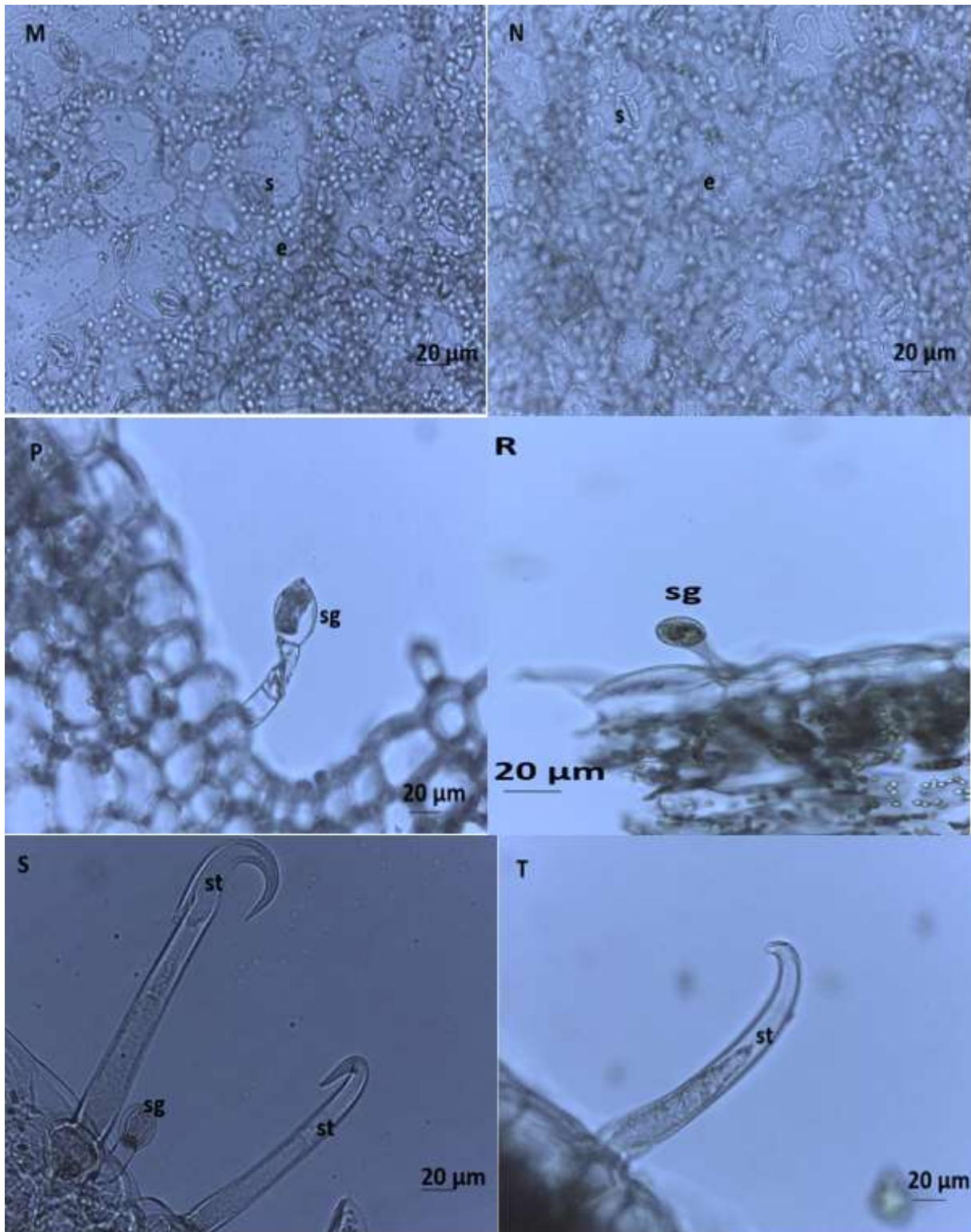


Figure 1. (Continue)

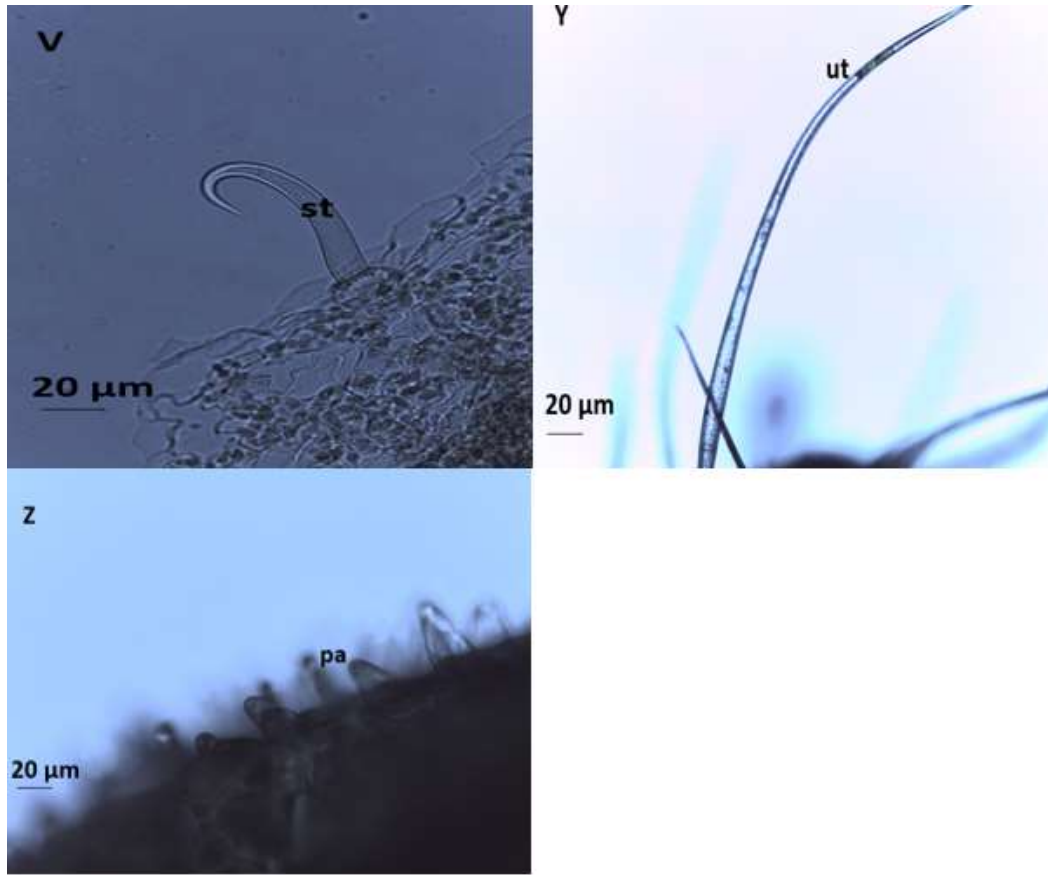


Figure 1. (Continue)

Table 3. Trichome types and distribution on organs of studied *Symphytum* species

Organs of <i>S. bornmuelleri</i>	Type I capitate	Type II capitate	Type III capitate	Strigose	Type I eglandular	Type II eglandular	Type III eglandular	Papillae
Stem	+	+	+	+++	+++	+++	++	-
Petiole	+	+	+	+++	+++	+++	++	-
Margin and veins of leaf	+++	++	+	+++	++	++	+++	-
Lamina of leaf	+	++	++	+	+	+	+	-
Calyx teeth	-	-	-	+++	+	+	+	-
Outer surface of calyx	+	+	-	+	++	++	++	+
Corolla	-	-	-	-	-	-	-	+++
Organs of <i>S. aintabicum</i>	Type I capitate	Type II capitate	Type III capitate	Strigose	Type I eglandular	Type II eglandular	Type III eglandular	Prominent papillae
Stem	+	+	-	++	++	++	++	-
Petiole	+	+	-	++	+	+	+	-
Margin and veins of leaf	+	+	-	++	+	++	++	-
Lamina of leaf	++	+++	-	+	+	+	+	-
Calyx teeth	-	+	-	++	++	++	+	-
Outer surface of calyx			-	+	+	+	-	+
Corolla	-	-	-	+	-	-	-	+++

-: absent, +: scarce, ++: dense, +++: abundant

type I capitate: stalk and head parts unicellular, type II capitate: stalk part bicellular, head parts unicellular, type III capitate: stalk part tri-multicellular, head part unicellular, type I eglandular: stalk part long, less hooked, type II eglandular: stalk part long, medium hooked, type III eglandular: stalk part long, very hooked.

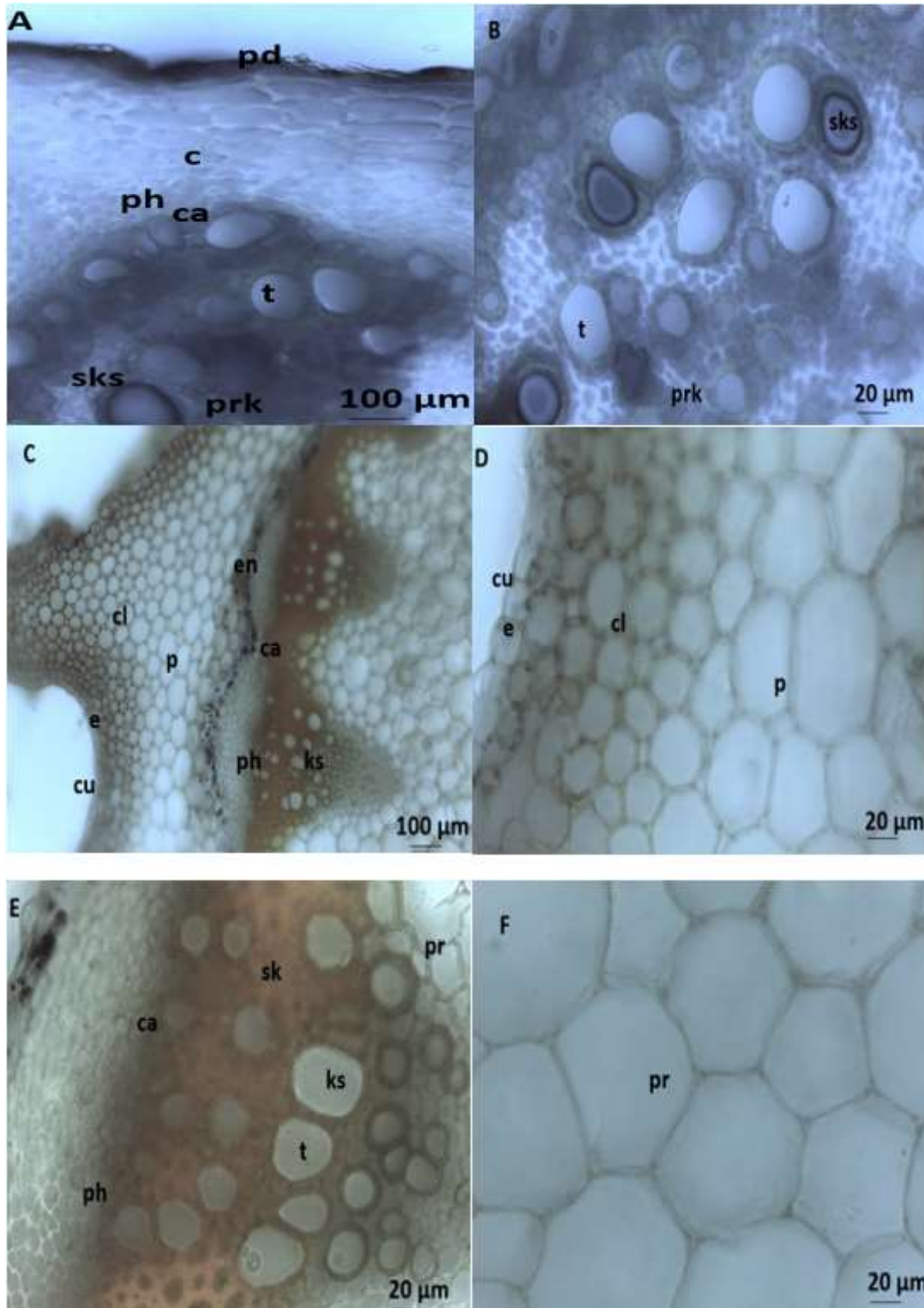


### 3.2. The Anatomical Features of *Symphytum aintabicum*

**Root:** Root shows secondary growth. Periderma is 3-4 layered on the outer root surface. Cortex is composed of multilayered, large and longish parenchyma cells (Figure 2 A). Cambium is undistinguishable. Phloem is clearly seen. In the secondary xylem, there are sclerenchyma and trachea cells (Figure 2 B). Secondary xylem is in a wide region. The pith region consists of primary xylem elements.

**Stem:** Outside of the stem, there is an epiderma layer consisting of single layered, small and rectangular cells. The cuticle on the epiderma layer is of medium thickness. Rare micropapillae and papillae present in the cuticle and epiderma, respectively. Cortex is multilayered and consists of collenchyma and parenchyma cells. The collenchyma is located under the epiderma and is usually 3, sometimes 4 layered, large ovoid celled. Parenchyma is 4-5 layered, very large, hexagonal or oval shaped (Figures 2 C and D). Endoderma is between cortex and vascular bundles, single layered, large celled and with starch grains. Vascular bundles are collateral type and of different sizes. Cambium is 1-2 layered. Sclerenchyma between vascular bundles is 2-3 layered. Xylem consists of large trachea and sclerenchyma cells (Figure 2 E). Phloem elements are apparent. The pith region has large and hexagonal shaped parenchyma cells (Figure 2 F). On the epiderma, there are strigose, unicellular, thick walled, straight or hooked eglandular and capitate glandular trichomes (Figures 2 K and L, Table 3). Stalk part of capitate glandular trichomes is 1-2 celled, head part is one celled, large and cylindrical.

**Leaf:** Upper and lower epidermis cells are rectangular shaped and rare papillae. Cuticle is medium thickness and with rare micropapillae. The lower epidermis cells are smaller than the upper epidermis cells. Mesophyll is bifacial type, 1-2 layered palisade parenchyma located under upper epiderma (Figure 2 H). Spongy parenchyma is 3-4 layered. Anomocytic and anisocytic type stomata were observed in both upper and lower epiderma (Figure 2 I and J). Stomata are at same level with epidermis cells. Margins of lower and upper epidermis cells are undulated. In the cross-section of main vein, collenchyma is 1-2 layered, parenchyma is 4-5 layered, large, oval or hexagonal shaped. Vascular bundle in the median region is one, large and collateral type. Xylem and phloem elements were clearly seen. On the both epiderma, there are eglandular and capitate glandular trichomes (Figures 2 M, N, P and R, Table 3). The head part of capitate glandular trichomes are unicellular, large ve cylindrical shaped. The stalk part of these trichomes are uni-bicellular. Eglandular trichomes have swollen base, hooked or straight, thin wall, long or short. Long hooked of eglandular trichomes are dense on the margin, lamina and veins, whereas long and straight eglandular trichomes are rare on the margin, lamina and veins. Also, capitate glandular trichomes have a long neck part (Figure M). In the corolla, there are prominent papillae (Figure 2 O). Although capitate glandular trichomes were observed on the vegetative and generative organs of *S. aintabicum*, peltate glandular trichomes were not observed on the vegetative and generative organs of *S. aintabicum*.



**Figure 2.** Root, stem and leaf anatomical structures and trichome types of *S. aintabicum*. (A) Cross section of root, (B) Secondary and primary xylem regions of root, (C) Cross section of stem, (D) Cortex region of stem, (E) Vascular bundles of stem, (F) Pith region of stem, (H) Cross section of leaf, (I) Surface section of leaf (upper surface), (J) Surface section of leaf (lower surface), (K) Type I capitate glandular trichome in stem, (L) Type II capitate glandular trichome in the petiole, (M) Type I capitate glandular trichome in the leaf, (N) Strigose trichome in the leaf, (O) Papillae in the corolla, (P) Straight eglandular trichome in the leaf, (R) Type III hooked eglandular trichome in the leaf, (pd) Periderma, (c) Cortex, (ph) Phloem, (ca) Cambium, (sks) Secondary xylem, (t) Trachea, (prk) Primary xylem, (e) Epidermis cell, (cu) Cuticle, (cl) Collenchyma, (p) Parenchyma, (en) Endoderma, (ks) Xylem, (sk) Sclerenchyma, (pr) Pith region, (ue) Upper epiderma, (pp) Palisade parenchyma, (sp) Spongy parenchyma, (le) Lower epiderma, (mp) Micropapillae, (pa) Papillae, (s) Stoma cell, (sg) Capitate glandular trichome, (st) Hooked trichome, (ut) Strigose trichome, (se) Straight eglandular trichome

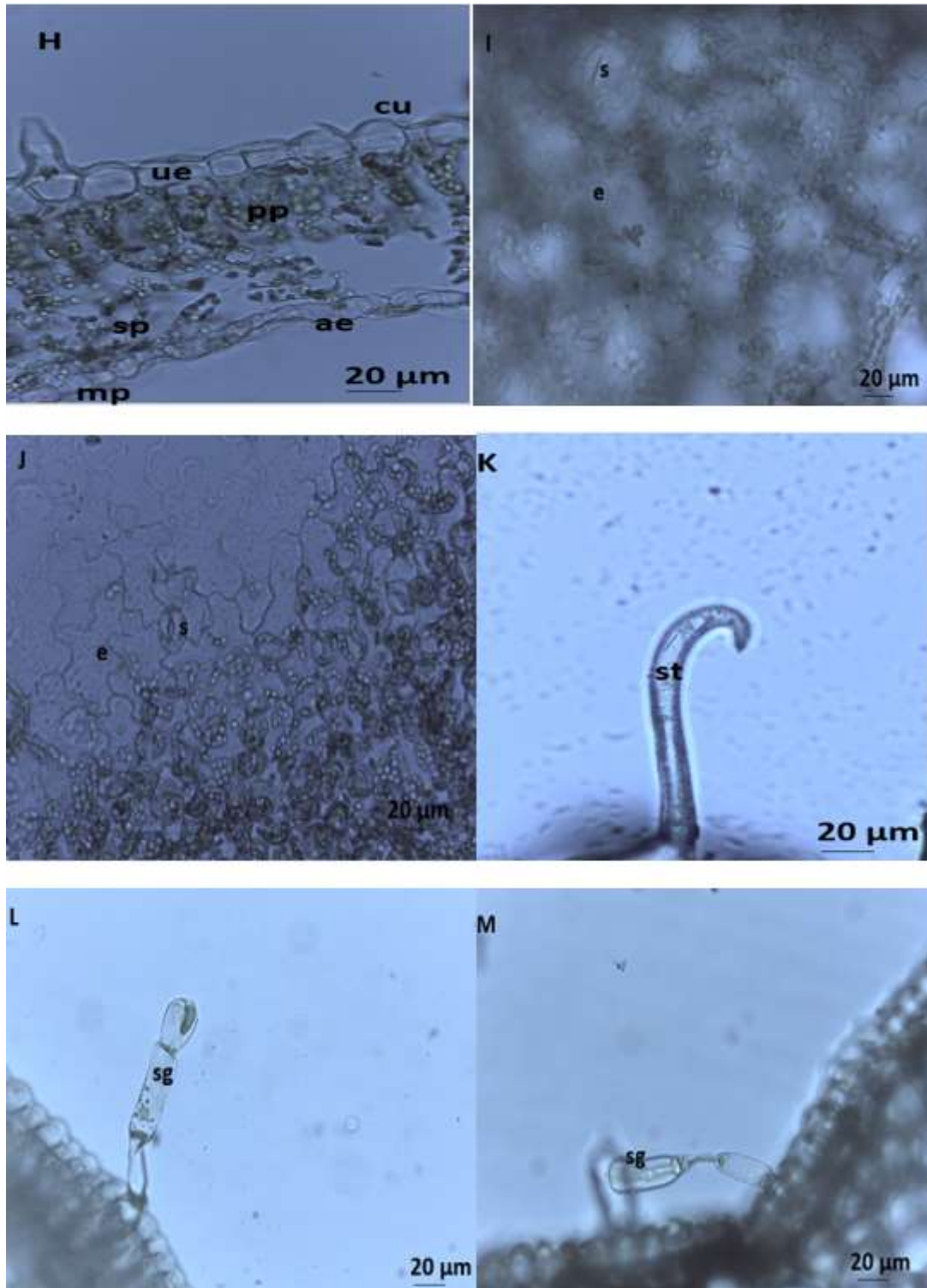


Figure 2. (Continue)

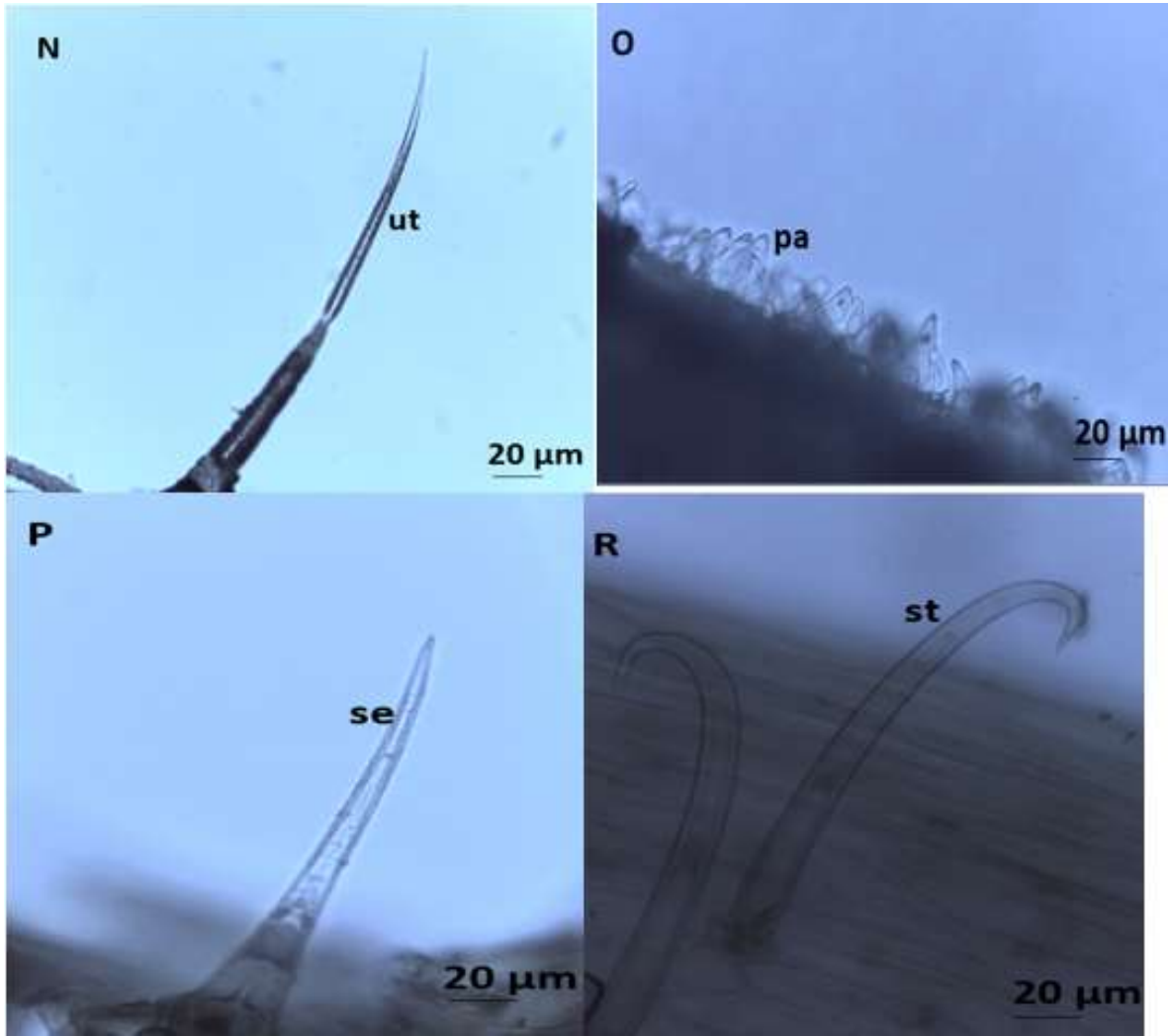


Figure 2. (Continue)

### 3.3. Physical and Chemical Features of Soil Samples

**Soil Characteristics of *S. bornmuelleri*:** Soil characteristics of the species were based on samples taken from four different locations (Amasya, Tokat ve Sivas). The pH, salinity, CaCO<sub>3</sub> values varied from 7.08-7.90, 0.03-0.07% and 2.25-5.75%, respectively. The soil samples had a clayey-loamy texture structure. The organic matter, N, P and K values varied between 3.80-4.75%, 1.98-2.97%, 9.12-14.50 and 183-365 mg/kg, respectively (Table 4).

**Soil Characteristics of *S. aintabicum*:** Soil samples of the *S. aintabicum* were taken from three different localities of Gaziantep. The pH values varied from 7.49-7.98 and the CaCO<sub>3</sub> values were between 2.20-5.65 %. The soil samples had a clayey-loamy and loamy texture structure. The salinity values were low (0.14-0.33 %). The organic matter values were found to be 1.95-3.84 %. The N, P and K values of the soil samples were between 2.16-2.57%, 5.32-8.30 and 134.77-192.9 mg/kg, respectively (Table 4).

**Table 4.** Soil characteristics of studied *Symphytum* species (sd: standard deviation)

Localities	Texture	Salinity (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	pH	Organic matter (%)	N (%)	K (mg/kg)	P (mg/kg)
A1	clayey-loamy	0.03 saltless	2.5 moderately	7.08 slightly alkaline	4.20 high	2.76 high	120.7 high	9.12 high
A2	clayey-loamy	0.07 saltless	5.7 moderately	7.82 slightly alkaline	3.80 high	2.32 high	230.2 high	10.12 high
A3	clayey-loamy	0.05 saltless	4.2 moderately	7.41 slightly alkaline	4.75 high	2.97 high	365.1 high	14.20 high
A4	clayey-loamy	0.06 saltless	2.2 moderately	7.90 slightly alkaline	4.01 high	1.98 high	182.5 high	12.80 high
Mean±Sd	-	0.05±0.02	3.75±1.58	7.55± 0.38	4.19±0.407	2.50±0.44	251.3±78.81	11.63±2.46
B1	clayey-loamy	0.14 saltless	2.55 moderately	7.68 slightly alkaline	2.52 high	2.57 high	134.77 high	8.30 high
B2	loamy	0.33 light salty	5.56 moderately	7.98 moderate alkaline	3.84 high	2.21 high	157.8 high	6.70 high
B3	clayey-loamy	0.25 light salty	2.20 moderately	7.49 slightly alkaline	1.95 high	2.16 high	192.9 high	5.32 high
Mean±Sd	-	0.24±0.09	3.46±1.89	7.71±0.24	2.77±0.96	2.31±0.22	160.8±30.6	6.77±1.49

#### 4. Discussion and Conclusion

In this study, anatomical, ecological characteristics and trichome morphology of two endemic *Symphytum* species were compared and valuable characters that may be useful in distinguishing of species were found. Although there are many similar morphological characters between these two species, some different morphological characters have been observed. Morphological characters such as the depth of the calyx teeth, ratio of limb length to the tube length in the corolla, corolla scales being long or short from stamens at the top, corolla colours, the number of flowers in chymos, the edge structures of calyx sections, the length of style were determined as important taxonomic characters between these species. In Flora of Turkey, the depth of the calyx teeth was recognized as an important taxonomic character and used in species identification key [25]. Also, Tarıkahya [29], Hacıoğlu and Erik [6] reported that morphological characters such as the depth of the calyx teeth, ratio the length of the tube to the length of the limb and scales are longer or shorter than stamens on the tip were taxonomically valuable.

When the anatomical characters of the species were compared, in the root cross-sections of *S. bornmuelleri*, the periderma is 5-6 layered, the cortex is multilayered, cambium is 1-3 layered, the secondary xylem is in the broad region and the primary xylem is in the narrow region. In the root cross-sections of *S. aintabicum*, the periderma is 3-4 layered, the cortex is multilayered, the cambium is undistinguishable and the secondary xylem are in a large region. When the root anatomical features of species are examined, it is seen that there is a difference only in the number of periderma layers. The studied species have secondary root structure. The secondary structure was identified in the perennial species of the Boraginaceae family [31-34].

In the stem of *S. bornmuelleri*, the epiderma is square shaped when the *S. aintabicum* is rectangular. The cuticle of both species are of medium thickness as they are distributed in damp areas. Cortex of *S. bornmuelleri* consists of parenchyma, collenchyma and parenchyma layers. However, cortex of *S. aintabicum* is composed of collenchyma and parenchyma layers. In *S. bornmuelleri*, the parenchyma under epiderma is 1 layered and with chloroplast, collenchyma is 2-3 layered and other parenchyma is 2-3 layered. In *S. aintabicum*, collenchyma is 3, sometimes 4 layered, parenchyma is 4-5 layered. Endoderma layer is found in both species. However, dense starch grains are seen in the endoderma of *S. aintabicum*. Vascular bundles of *S. bornmuelleri* have same sizes, while vascular bundles of *S. aintabicum* are of different sizes. The sclerenchyma layer between the vascular bundles is

3-4 layered in *S. bornmuelleri*. But, the sclerenchyma layer between the vascular bundles is 2-3 layered in *S. aintabicum*. In *S. bornmuelleri*, the stalk part of capitate glandular trichomes are 1 or multicellular, head part is one celled, large and without neck. In *S. aintabicum*, the stalk part of capitate glandular trichomes are 1 and 2 celled and the head part is very large, cylindrical shaped and has a long neck. Eglanular trichomes are short or long and hooked type in the stem of both species. When the stem anatomical findings of the species are considered, the anatomical characteristics such as the number of collenchyma and parenchyma layers, the status of the vascular bundles, the number of stalk cells of capitate glandular trichomes and the arrangement of the collenchyma and parenchyma layers in the cortex, the number of sclerenchyma layer between the vascular bundles can be used to distinguish of these endemic species. In particular, the number of stalk cells of capitate glandular trichomes and the arrangement of the parenchyma and collenchyma layers in the cortex are proposed as important taxonomic characters in distinguishing of these species.

Kandemir et al. [35] made comparative anatomical studies on seven *Heliotropium* L. species (Boraginaceae). In stem anatomical examinations, collenchyma is 2 layered in *H. bovei* Boiss. and *H. haussknechtii* Bunge, 3 layered in *H. dolosum* De Not., 3-4 layered in *H. suaveolens* Bieb., 2-3 layered in *H. samoliflorum* Bunge subsp. *erzurumicum* Dönmez and *H. myosotoides* Banks & Sol. and 4-5 layered in *H. thermophilum* Kit Tan, A. Çelik & Y. Gemici. These researchers reported that the number of collenchyma and hypoderma layers in the cortex can be used as a taxonomic character to distinguish of *Heliotropium* species. Similar cases were observed in *Heliotropium* species distributed in Sudan and Southwestern Saudi Arabia [36, 37]. In addition, Joubert et al. [38] suggested that the presence or absence and distribution of collenchyma is a very important taxonomic character in species identification. According to the above results, this feature can be used as a valuable anatomical character in the differentiation of the studied species because of the different number of collenchyma layers (2-3 layered in *S. bornmuelleri* and 3-4 layered in *S. aintabicum*).

Güven et al. [39] investigated the anatomical characteristics of the six *Onosma* L. taxa in Turkey (Boraginaceae). They reported the phloem / xylem ratio in the stem, the area covered of the cortex, the number of layers of collenchyma, the number of palisade and spongy parenchyma layers in the leaves and stoma index as useful characters in the separation of *Onosma* taxa.

In the leaf surface sections, stomata of *S. bornmuelleri* are anomocytic type and margin of epidermis cells are dense undulate. However, stomata of *S. aintabicum* are anomocytic and rarely anisocytic type and margin of epidermis cells are undulate. Also, stoma in the upper epidermis of *S. aintabicum* is less. In the studied species, stomata are same level with stomata epiderma cells. Micropapillae on the cuticle and papillae in the upper, lower epiderma are dense in *S. bornmuelleri*, while micropapillae on the cuticle and papillae in the upper, lower epiderma are rare in *S. aintabicum*. Eglanular and capitate glandular trichomes on the leaves of both species are similar to trichomes on the stem. The number of stoma, type of stoma, stoma index and marginal structures of epidermis cells can be used as important anatomical characters. Metcalfe and Chalk [40], Özörücü [41] reported that both anomocytic and anisocytic stomata present in Boraginaceae family. However, it has been reported that anomocytic stoma are dominant in this family. Similar results were determined in 31 species belonging to different genus and tribes of Boraginaceae family by Dasti et al. [42].

Mesophyll structure of the leaf is bifacial type in studied species. Palisade and spongy parenchyma are 1 and 2-3 layered in *S. bornmuelleri*, respectively. In *S. aintabicum*, palisade and spongy parenchyma are 1-2 and 3-4 layered, respectively. The intensity of the palisade parenchyma in the mesophyll directly depends on the high intensity of light [40]. Moreover, the number of layers of the palisade parenchyma is in agreement with the ecological factors in the areas where the studied species are distributed. Because *S. bornmuelleri* is spread under forests and in shady areas, and *S. aintabicum* in distorted maquis and open areas. In addition, Selvi and Bigazzi [43] stated that the layer number and arrangement of the palisade parenchyma changed between the species of the family.

Similar characteristics mentioned above were seen in the stem and leaf anatomic structures of other species of Boraginaceae family. Namely, Selvi and Bigazzi [43] were made studies on the leaf surface and leaf anatomical characters of some species belonging to the Boragineae tribe. They reported that the members of this tribe had similar anatomical characters and the hooked trichomes were found only in the species of the genus *Symphytum* of Boraginaceae family. The same researchers examined the pollen morphology of Boragineae tribe and according to the findings of pollen morphology collected *Symphytum* species in a single cluster and reported that the nearest genus *Trachystemon* (L) Don [44].

Yousefi [33] done morphological and anatomical studies on endemic *Heliocarya monandra* Bge (Boraginaceae). In anatomical studies, it was stated that there were 2-3 layered of collenchyma, 3-5 layered of parenchyma, and the one layered of endoderma layer in the stem. The leaves have isobilateral and anomocytic stomata type. Yousefi [33] reported that the anatomical results of *H. monandra* were in agreement with the anatomical results of the species of the Boraginaceae family. Yeşil [34] reported similar anatomical characters in the root, stem and leaf of *Nonea dumanii* Bilgili & Selvi (Boraginaceae). In the stem of this species, collenchyma is 4-5 layered, parenchyma is multilayered, endoderma is one layered, pith region is wide and xylem consists of dense sclerenchyma. On both surfaces of the leaves, there are anomocytic stomata. The mesophyll is isobilateral type. On the other hand, similar anatomical characters in the root, stem and leaf were identified in anatomical studies of species belonging to the genus *Anchusa* L. (Boraginaceae) [31, 32].

In anatomical studies, the mesophyll structure of different species of Boraginaceae family is generally determined as isobilateral [31-35, 43]. Mesophyll type is bifacial type in *S. bornmuelleri* and *S. aintabicum*. A similar mesophyll structure was also observed in *Trachystemon orientalis* [45]. Thus, the mesophyll structure shows variation between the genera of the Boraginaceae family and *Symphytum* genus is closer to *Trachystemon* genus in terms of mesophyll structure.

The hooked trichomes were seen only in taxa of *Symphytum* genus (excluding *S. savvalense* Kurtto and *S. ibericum* Steven), from taxa of Boraginaceae family. That's why Selvi and Bigazzi [43] noted systematically useful of hooked trichomes distinguishing *Symphytum* genus in Boraginaceae family. But, it has been reported that the distribution and shapes of these trichomes cannot be used as taxonomic characters in the identification of species of *Symphytum* genus [29]. On both the vegetative and generative organs of studied species are identified mentioned above trichome types and it has been concluded that these trichomes cannot be used as taxonomic characters to distinguish these species. However, it has been concluded that capitate glandular trichomes can be used as important taxonomic character in species separation, since capitate glandular trichomes of *S. bornmuelleri* and *S. aintabicum* have different head structure and stalk cell numbers. Kandemir et al. [35] noted capitate glandular trichomes only in *H. thermophilum* and *H. suaveolens* species from the 7 *Heliotropium* species. In *H. suaveolens*, stalk part of the capitate trichomes are multicellular (4-6 celled), while the stalk part of capitate trichomes in *H. thermophilum* is tricellular and rarely multicellular (4 celled). In addition, these trichomes were found in the stem, leaf, calyx and corolla in *H. thermophilum*. But, these trichomes were observed only on the lower and upper surfaces of the leaves in *H. suaveolens*. According to these results, Kandemir et al. [35] suggested that these two *Heliotropium* species could be separated according to their capitate trichomes characters. It is reported that the morphological structure and distribution of glandular trichomes are important characters in the separation of species and genera by many researchers [46-51].

The root, stem and leaf anatomical characteristics of *S. bornmuelleri* and *S. aintabicum* are in accordance with the anatomical characteristics observed in members of the Boraginaceae family. Also, our anatomical data may be useful for future studies about this genus.

*S. bornmuelleri* is distributed in soils with clayey-loam, saltless, slightly alkaline, moderately calcareous, sufficient organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium-containing soils are distributed. *S. aintabicum* spreads in containing soils clayey-loam and loamy salty and slightly saline, moderately and slightly alkaline, moderately calcareous, rich organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium. There is no lack of physical and chemical characters of the soil samples of these species. This situation is in arrangement with the ecological conditions in the distribution area of studied species. In the field observations, it was determined that studied *Symphytum* species generally prefer shaded forest bottoms and areas close to water. Moreover, it is reported that *Symphytum* taxa can only live in areas where there are special habitat types they can grow [29].

### Authors' Contributions

Three authors contributed to the study.

### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

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

## References

- [1] Langsrom E., Chase M.W. 2002. Tribes of Boraginoideae (Boraginaceae) and placement of *Antiphytum*, *Echiochilon*, *Orgastemma* and *Sericostoma*: a phylogenetic analysis based on atpB plastid DNA sequence data. *Plant Systematics and Evolution*, 234: 137-153.
- [2] Hilger H.H., Selvi F., Papini A., Bigazzi M. 2004. Molecular systematics of Boraginaceae tribe Boragineae based on ITS1 and trnL sequences, with special reference to *Anchusa* s.l. *Annales of Botany*, 94: 201-212.
- [3] Retief E., Van Wyk A. 2008. The genus *Wellstedia* (Boraginaceae: Wellstedioideae) in Southern Africa. *Bothalia*, 38: 57-63.
- [4] Hacıoğlu T. B., Erik S. 2011. Phylogeny of *Symphytum* L. (Boraginaceae) with special emphasis on Turkish species. *African Journal of Biotechnology*, 10 (69): 15483-15493.
- [5] Tarıkahya B., Erik S. 2010. Taxonomy of *Symphytum asperum* Lepechin and *S. sylvaticum* Boiss. (Boraginaceae) based on Macro-and Micro-morphology. *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 38 (1): 47-61.
- [6] Hacıoğlu B.T., Erik S. 2013. Revision of *Symphytum* (Boraginaceae) species growing in Turkey. *The Herb Journal of Systematic Botany*, 20 (1): 23-74.
- [7] Gürbüz A. 1980. *The Medicinal Plants*. Istanbul, 1-98.
- [8] Baytop T. 1984. *Treatments with plants in Turkey*. Istanbul University Publication, Istanbul, 1-321.
- [9] Hiermann A., Writzel M. 1998. Antiphlogistic glycopeptide from the roots of *Symphytum officinale*. *Pharmaceutical and Pharmacological Letters*, 8: 154-157.
- [10] Kurucu S., Kartal M., Choudary I.M., Topçu G. 2002. Pyrrolizidine alkaloids from *Symphytum sylvaticum* Boiss. subsp. *sepulcrale* (Boiss.& Bal.) Greuter & Burdet var. *sepulcrale* and *Symphytum aintabicum* Hub.-Mor. & Wickens. *Turk Journal of Chemistry*, 26: 195-199.
- [11] Rode D. 2002. Comfrey toxicity revisited. *Trends in Pharmacological Sciences*, 23 (11): 497-499.
- [12] Roman G.P., Neagu E., Moroceanu V., Radu G.L. 2008. Concentration of *Symphytum officinale* extracts with cytostatic activity by tangential flow ultrafiltration. *Roumanian Biotechnological Letters*, 13: 4008-4013.
- [13] Vogl S., Picker P., Mihaly-Bison J., Fakhrudin N., Atanasov A.G., Heiss E.H., Wawrosch C., Reznicek G., Dirsch V.M., Saukel J., Kopp B. 2013. Ethnopharmacological *in vitro* studies on Austria's folk medicine-An unexplored lore *in vitro* anti-inflammatory activities of 71 Austrian traditional herbal drugs. *Journal of Ethnopharmacology*, 149 (3): 750-771
- [14] Gomes M.F., Massoco O.C., Xavier J.G., Bonamin V.L. 2010. Comfrey (*Symphytum officinale* L.) and experimental hepatic carcinogenesis: A short carcinogenesis mosel study. *Evidence Based Complementary and Alternative Medicine*, 72 (2): 197-202.
- [15] Weiss R.F. 1991. *Herbal Medicine*. Beacons field Publishers Ltd., Beacons field-England, 334-335.
- [16] Betz C.L., Hunsberger M., Wright S. 1994. *Family Centered Nursing Care of Children*. Second edition, WB Saunders Company, Philadelphia, 703-724.
- [17] Frost R., Macpherson H., O'meara S. 2013. A critical scoping review of external uses of comfrey (*Symphytum* spp.). *Complementary Therapies in Medicine*, 21 (6): 724-745.
- [18] Alkan F.U., Anlas C., Üstüner O., Bakirel T., Sarı A.B. 2014. Antioxidant and proliferative effects of aqueous and ethanolic extracts of *Symphytum officinale* on 3T3 Swiss albino Mouse fibroblast cell line. *Asian Journal of Plant Science and Research*, 4 (4):62-68.
- [19] Kartal M., Kurucu S., Choudary I.M. 2001. Antifungal activities of different extracts and Echimidine-N-oxide from *Symphytum sylvaticum* Boiss. subsp. *sepulcrale* (Boiss.& Bal.) Greuter & Burdet var. *sepulcrale*. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 31: 487-492.
- [20] Talhouk R.S., Karam C., Fostok S., El-Jouni W., Barbour E.K. 2007. Antiinflammatory Bioactivities in Plant Extracts. *Journal of Medicinal Food*, 10: 1-10.



- [21] Neagu E., Paun G., Radu L.G. 2011. Phytochemical study of some *Symphytum officinalis* extracts concentrated by membranous procedures. UPB Scientific Bulletin, Series B, 73 (3): 65-74.
- [22] Vostinaru O., Conea S., Mogosani C., Toma C.C., Borza C.C., Vlase L. 2018. Anti-inflammatory and antinociceptive effect of *Symphytum officinale* root. Romanian Biotechnological Letters, 23 (6): 14160-14167.
- [23] Bucknall C. 1913. A revision of the genus *Symphytum*. Journal of the Linnean Society of Botany, 41: 491-556.
- [24] Sandbrink J.M., Van Brederode J., Gadella T.W.J. 1990. Phylogenetic relationships in the genus *Symphytum* L. (Boraginaceae). Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen, 93 (3): 295-334.
- [25] Wickens G. 1978. *Symphytum* L. in Flora of Turkey and the East Aegean Islands. Edited by Davis PH, Vol. 6, Edinburgh: Edinburgh Univ Press, 378-386.
- [26] Çelebioğlu S., Baytop T. 1949. A new reagent for microscopical investigation of plant. Publication of the Institute of Pharmacognosy, İstanbul, 1-301.
- [27] Meidner H., Mansfield T.A. 1968. Physiology of Stomata. McGraw-Hill, London, 1-179.
- [28] Werker E., Putievsky E., Ravid U. 1985. The essential oils and glandular hairs in different chemotypes of *Origanum vulgare* L. Annals of Botany, 55: 793-801.
- [29] Tarıkahya B. 2010. The Revision of Turkish *Symphytum* L. (Boraginaceae) Genus. PhD thesis, Hacettepe University, Institute for the Graduate Studies in Science and Engineering, Ankara.
- [30] Kaçar B. 1996. Chemical analysis of plant and soil. Foundation of Education Research and Development Publication, 96-170.
- [31] Akçin A.T., Ulu Ş. 2007. A Morphological and Anatomical Study on *Anchusa leptophylla* Roemer & Schultes (Boraginaceae) Distributed in the Black Sea Region of Turkey. Turkish Journal of Botany, 31: 317-325.
- [32] Akçin A.T., Ulu Ş., Akçin A. 2010. Morphological, anatomical and numerical studies on some *Anchusa* L. (Boraginaceae) taxa from Turkey. Pakistan Journal of Botany, 42 (4): 2231-2247.
- [33] Yousefi M. 2010. Morphological and Anatomical study of threatened endemic *Heliocarya monandra* Bge. (Boraginaceae) in Iran. Iranian Journal of Botany, 16 (2): 273-281.
- [34] Yeşil Y. 2017. Anatomical investigations of *Nonea dumanii* (Boraginaceae). Marmara Pharmaceutical Journal, 21 (4): 804-809.
- [35] Kandemir N., Çelik A., Shah N.S., Razzaq A. 2020. Comparative micro-anatomical and morphometric investigation of genus *Heliotropium* L. (Boraginaceae) found in Turkey. Flora, 262: 151495.
- [36] Hoyam O.A., Maha A.K. 2012. Leaf and stem anatomy of five species from the genus *Heliotropium* L. (Boraginaceae) in Sudan. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 4 (10): 4575-4581.
- [37] Kasem W.T. 2015. Anatomical and micromorphological studies on seven species of *Heliotropium* L. (Boraginaceae Juss.) in South West of Saudi Arabia. American Journal of Plant Sciences, 6: 1370-137.
- [38] Joubert A.M., Verhoeven R.L., Venter H.J.T. 1984. An anatomical investigation of the stem and leaf of the South African species of *Lycium* (Solanaceae). South African Journal of Botany, 3: 219-230.
- [39] Güven S., Beyazoğlu O., Makbul S., Türkmen Z., Kandemir A. 2013. Anatomical features of six *Onosma* L. (Boraginaceae) species from Turkey. Iranian Journal of Botany, 19 (1): 94-103.
- [40] Metcalfe C.R., Chalk L. 1979. Anatomy of Dicotyledones I. Oxford Sciences Publications, London, 1-288.
- [41] Özürgücü B., Gemici Y., Türkan I. 1991. Comparative Plant Anatomy. Ege University Faculty of Science publication, İzmir, 1-127.
- [42] Dasti A.A., Bokhari T.Z., Malik S.A., Robina A. 2003. Epidermal morphology in some members of family Boraginaceae in Baluchistan. Asian Journal of Plant Sciences, 2 (1): 42-47.
- [43] Selvi F., Bigazzi M. 2001. Leaf surface and anatomy in Boraginaceae tribe Boragineae with respect to ecology and taxonomy. Flora, 196: 269-285.
- [44] Bigazzi M., Selvi F. 1998. Pollen morphology in the Boragineae Bercht. & J. Presl (Boraginaceae) in relation to the taxonomy of tribe. Plant Systematics and Evolution, 213: 121-151.

- [45] Akçin Ö.E., Kandemir N., Akçin Y. 2004. A morphological and anatomical study on a medicinal and edible Plant *Trachystemon orientalis* (L.) G. Don (Boraginaceae) in the Black Sea Region. Turkish Journal of Botany, 28: 435-442.
- [46] Metcalfe C.R., Chalk L. 1950. Anatomy of the Dicotyledons II, Oxford Clarendon Press, 806 pp. Oxford.
- [47] Navarro T., El Qualidi J. 2000. Trichome morphology in *Teucrium* L. (Labiatae), a taxonomic review, Anales del Jardin Botanica de Madrid, 57: 277-297.
- [48] Diane N., Jacob C., Hilger H.H. 2003. Leaf anatomy and foliar trichomes in Heliotropiaceae and their systematic relevance, Flora, 198: 468-485.
- [49] Xiang C-Lei., Dong Z-Hui., Peng H., Liu Z-Wen. 2010. Trichome micromorphology of the East Asiatic genus *Chelonopsis* (Lamiaceae) and its systematic implications, Flora, 205: 434-441.
- [50] Kandemir N., 2011. Trichomes on *Salvia pomifera* (Lamiaceae) in Turkey, Botanica Lithuanica 17 (1): 3-11.
- [51] Alwahibi M., Bukhary N. 2013. Anatomical study of four species of *Heliotropium* L. (Boraginaceae) from Saudi Arabia, African Journal of Plant Sciences, 7 (1): 35-42.

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## Doğal Oksit Arayüzey Tabakalı Zr/p-Si Schottky Diyotlarının Yüksek Frekanslarda Kapasite-Gerilim ve İletkenlik-Gerilim Karakteristiklerinin Analizi

Durmuş Ali ALDEMİR<sup>1</sup>, Havva Elif LAPA<sup>2\*</sup>, Ahmet Faruk ÖZDEMİR<sup>1</sup>, Nazım UÇAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fizik Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta, Türkiye

(ORCID: 0000-0003-4819-840X)(ORCID:0000-0002-5706-4641)

(ORCID:0000-0001-9879-9209)(ORCID:0000-0002-0936-0382)

### Öz

Manyetik saçırma yöntemiyle imal edilen Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotların kapasite-gerilim-frekans (*C-V-f*) ve iletkenlik-gerilim-frekans (*G-V-f*) ölçümleri 500 kHz- 3 MHz aralığında 5 farklı frekansta ve oda sıcaklığında alınmıştır. 1 MHz frekans için *C-V* karakteristiği yardımıyla arayüzey oksit tabakasının kalınlığı 2.33 nm olarak hesaplanmıştır. Güçlü birikim bölgesindeki *C* ve *G* değerleri kullanılarak seri direncin ortalama değeri 70.5 Ω olarak elde edilmiştir. Bu diyotlar için, Hill-Coleman metodu ile hesaplanan arayüzey durum yoğunluğunun (*D<sub>it</sub>*) artan frekansla azaldığı görülmüştür. Elde edilen bulgulara göre, Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotları hızlı anahtarlama için umut vaat edicidir.

**Anahtar kelimeler:** Schottky diyot, silisyum, kapasite-iletkenlik.

## The Analysis of Capacitance-Voltage and Conductance-Voltage Characteristics of Zr/p-Si Schottky Diodes with a Native Oxide Interfacial Layer at High Frequencies

### Abstract

Capacitance-voltage-frequency (*C-V-f*) and conductance-voltage-frequency (*G-V-f*) measurements of Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diodes produced by magnetic sputtering technique were taken for five different frequencies (500 kHz-3 MHz frequencies range) at room temperature. The thickness of the interfacial oxide layer was calculated as 2.33 nm by means of *C-V* characteristic for 1 MHz frequency. The average value of series resistance was obtained as 70.5 Ω by using *C* and *G* values in the strong accumulation region. For these diodes, it was observed that the interfacial state density (*D<sub>it</sub>*) calculated by the Hill-Coleman method decreased with increasing frequency. According to the findings, the Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diodes are promising for fast switching.

**Keywords:** Schottky diode, silicon, capacitance-conductance.

### 1. Giriş

1874'te Braun'un bakır, demir ve kurşun sülfür kristal üzerine metalik nokta kontağın doğrultucu doğasını rapor etmesinden bu yana metal yarıiletken kontaklar/Schottky diyotlar halen bilim insanları için araştırma konusudur. Schottky diyotlar, hızlı anahtarlama yetenekleri ve düşük doğru beslemlerde çalışabilmelerinden dolayı elektronik sanayinde güç algılama, karıştırma ve mikrodalga ağ devreleri gibi birçok uygulamada tercih sebebidir [1-3].

Yüksek performansa sahip kaliteli bir Schottky diyot yüksek engel yüksekliğine ve düşük sızıntı akımına sahip olmalıdır. Bu amaçla, *p* tipi bir yarıiletken ile düşük iş fonksiyonuna sahip nadir toprak

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

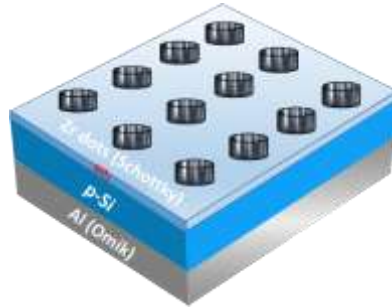
Geliş Tarihi: 04.12.2019, Kabul Tarihi: 11.05.2020

metalleri olarak adlandırılan Yb (2.60 eV), Gd (3.10 eV) ve Er (3.12 eV) gibi bir metal kontak haline getirilebilir [4-6]. Geçiş metalleri ya da valf metalleri olarak adlandırılan ve yüzeyinde doğal pasif oksit tabakası bulunduran Al, Ti ve Zr gibi bazı metaller de kullanılarak üretilen metal yarıiletken kontaktların elektriksel karakteristikleri dikkat çekicidir [7-11]. Ti (4.33 eV) ve Al (4.28 eV) metallerine göre kısmen düşük iş fonksiyonuna sahip olan Zr (4.05 eV) metali aynı zamanda yüksek erime noktasına da sahiptir. Böylece, hem geniş engel yüksekliği ve düşük sızıntı akımı elde edebilmek hem de yarıiletkenler üzerinde kararlı elektrot sağlayabilmek amacıyla kullanılmaktadır [5,11]. Metal ve yarıiletken arasında yalıtkan/oksit bir tabakanın doğal olarak oluşturulması veya biriktirilmesi sızıntı akımı sorununu çözmek için bir alternatiftir. Ayrıca, arayüzeyde böyle bir tabaka kullanmanın metal ve yarıiletken arasındaki difüzyon reaksiyonunu önlediği, yarıiletken yüzeyinde aktif sarkan bağları pasifleştirdiği ve engel yüksekliğinde artışa sebep olduğu bilinmektedir [12-14].

Bu çalışmada, görece düşük iş fonksiyonuna sahip olmasından dolayı Zr metali Schottky kontak elde etmek için kullanılmıştır. *p*-Si yarıiletken üzerinde oksit tabakanın doğal oluşumu sağlanarak yukarıda bahsedilen özelliklere sahip bir diyot üretmek amaçlanmıştır. İmal edilen Zr/SiO<sub>2</sub>/*p*-Si Schottky diyotların kapasite-gerilim-frekans (*C-V-f*) ve iletkenlik-gerilim-frekans (*G-V-f*) ölçümleri karanlıkta ve oda sıcaklığında alınmıştır. Nicollian-Brews yöntemi ile seri direnç (*R<sub>s</sub>*) değerleri elde edilirken Hill-Coleman metodu ile arayüzey durum yoğunlukları (*D<sub>it</sub>*) hesaplanarak diyotların elektriksel karakteristikleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada kullanılan *p*-tipi Si yarıiletken alttaş [100] yönelimine ve 1 Ω-cm öz dirence sahiptir. *p*-tipi Si yarıiletken alttaş organik ve inorganik kirlerden ıslak kimyasal temizleme işlemi ile arındırılmıştır. Bu amaçla alttaş; asetonunda 70 °C'de 10 dk kaynatıldı ve metanolde 5 dk bekletildi. NH<sub>4</sub>OH+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+5H<sub>2</sub>O (1:1:5) içerisinde 70 °C'de 5 dk ve HCl+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+5H<sub>2</sub>O (1:1:5) içerisinde 70 °C'de 10 dk kaynatıldı. %2'lik sulu HF çözeltisi içerisinde 2 dk bekletildi. Ardından, arka yüzeyine 200 nm kalınlıkta Al buharlaştırılarak N<sub>2</sub> ortamında 575 °C'de 3 dk tavlandı ve böylece omik kontak yapıldı. Omik kısmı tamamlanan diyot, Si alttaşın ön yüzeyinde oksit tabakası oluşturmak amacıyla yaklaşık 6 ay boyunca hava ortamına maruz bırakıldı. Bu yapının ön yüzeyine 1 mm çaplarda dairesel deliklere sahip bir maske yerleştirildi ve manyetik saçtırma sisteminde 60 nm kalınlığında Zr buharlaştırılarak Zr/SiO<sub>2</sub>/*p*-Si/Al Schottky diyotlarının üretimi tamamlandı. Şekil 1'de Zr/SiO<sub>2</sub>/*p*-Si Schottky diyotlarının yapısı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Zr/SiO<sub>2</sub>/*p*-Si Schottky diyotlarının şematik gösterimi

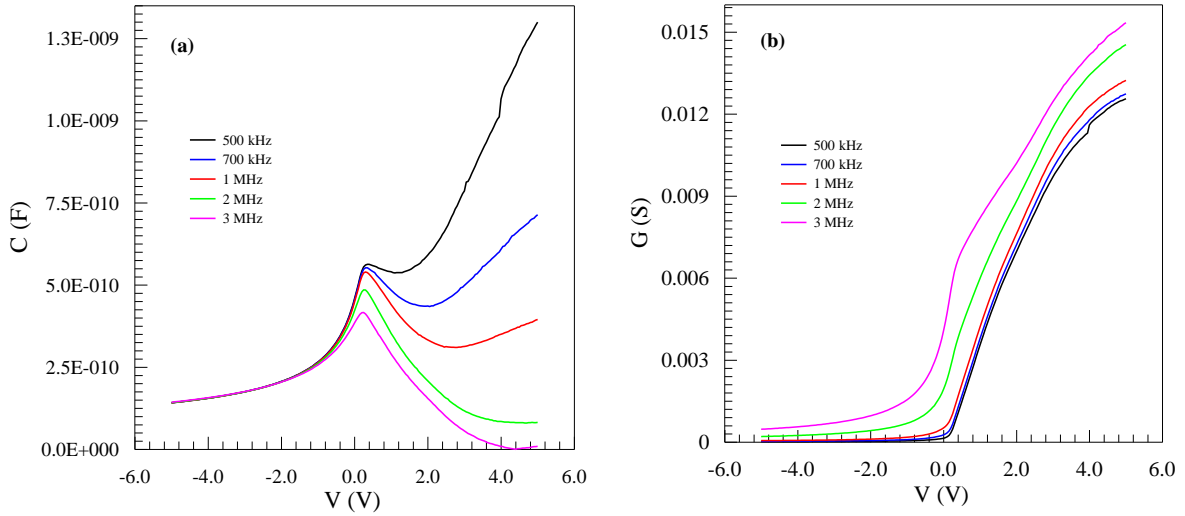
İmal edilen diyotun *C-V-f* ve *G-V-f* verileri ±5 V gerilim ve 500 kHz- 3 MHz frekans aralığında 4192A LF empedans analizörü kullanılarak ölçülmüştür. Tüm ölçümler karanlık ortamda ve oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Schottky diyotlarda kapasite-gerilim tekniği, diyota uygulanan voltaja bağlı olarak ölçülen kapasite değerlerine dayanmaktadır. İdeal durumda, bu aygıtlara yeterince yüksek frekans ( $f \geq 500$  kHz) uygulanırsa kapasite değerinin uygulanan frekandan etkilenmediği bilinmektedir. Ancak, metal ve yarıiletken arasında doğal olarak oluşan ya da depolanarak meydana getirilen bir oksit/yalıtkan tabakanın varlığı ve oksit/yalıtkan tabaka-yarıiletken arayüzeyinde yerleşik yüklerin (arayüzey

durumları/tuzakları) yer alması aygıtın ideal durumdan sapmasına yol açar. Aygıtta alternatif sinyal (AC) uygulandığında bu yükler tuzaklanabilir ya da salınabilir. Bu durum, uygulanan frekansla aygıtın kapasite ve iletkenlik değerlerinin değişmesine neden olur [12,15].

Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotlarının *C* ve *G* değerlerinin frekansa ve uygulanan beslem gerilimine bağlı olarak değiştiği görülmüştür (Şekil 2a-b). Kapasite değerleri azalan frekansla artarken iletkenlik değerleri artan frekans ile artmaktadır. Bu eğrilerin konumlarının değişmesi, yukarıda da belirtildiği gibi arayüzey durumları ile açıklanabilir. Yüksek frekanslar için arayüzey durumlarındaki yüklerin gevşeme zamanı periyottan ( $T=1/f$ ) daha büyüktür. Bu sebeple, tuzaklardaki yükler AC sinyalini kolayca takip edemez ve ölçülen *C* ve *G* değerlerine katkı sağlayamaz. Bununla birlikte, düşük frekanslarda arayüzey durumlarının gevşeme zamanı periyottan daha kısadır. Bundan dolayı, arayüzey durumlarındaki birçok yük AC sinyalini kolayca izleyebilir. Yani düşük frekanslarda arayüzey durumları ek bir kapasite ve iletkenlik değeri verir [12,14].



Şekil 2. Zr/p-Si Schottky diyotlarında oda sıcaklığı ve farklı frekanslar için a) C-V karakteristikleri b) G-V karakteristikleri

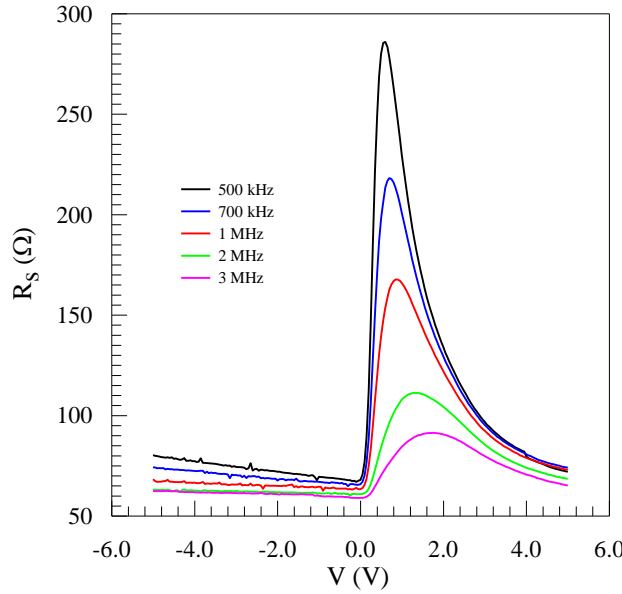
*C-V* eğrilerinin, MOS yapılara benzer olarak birikim, tüketim ve terslenim bölgelerine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 2a). Böylece, hava ortamına maruz bıraktığımız p-Si alttaş üzerine imal ettiğimiz diyotumuzda Zr ve p-Si kontak arayüzeyinde bir oksit tabakanın (SiO<sub>2</sub>) oluştuğundan söz edebiliriz. Bu oksit tabakanın kalınlığı Schottky diyotlarda *C-V* karakteristiklerinin güçlü birikim bölgesindeki kapasite ölçümleri yardımı ile  $C_{ox} = \epsilon_i \epsilon_o A / \delta_{ox}$  denklemi kullanılarak hesaplanabilir [12]. Burada,  $C_{ox}$ ,  $\epsilon_i$ ,  $\epsilon_o$ ,  $A$  ve  $\delta_{ox}$ , sırasıyla, uygulanan frekans için kapasitenin pik değeri, arayüzeyin dielektrik sabiti (SiO<sub>2</sub> için =  $3.9 \epsilon_o$  [2]), boşluğun dielektrik sabiti ( $= 8.85 \times 10^{-14} \text{ Fcm}^{-1}$ ), diyot alanı (bizim diyotumuz için  $A = 7.85 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ ) ve arayüzey oksit tabakasının kalınlığıdır. Literatürde hava ortamına maruz bırakılan Si yüzey üzerinde doğal oksit tabaka kalınlığının 1.4-1.5 nm olduğu rapor edilmiştir [16-19]. Bizim çalışmamızda SiO<sub>2</sub> tabakasının kalınlığı 1 MHz frekans için bahsi geçen denklem yardımıyla 2.33 nm olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer literatürdeki değere yakın olduğu görülmektedir. Metal/yarıiletken arayüzeyinde oksit ya da yüksek dielektrikli yalıtkan tabaka varlığında diyot kapasitesinin arttığı bilinmektedir [4]. *C-V* eğrileri artan gerilimle yaklaşık 0.4 V'a kadar artmış ve bir maksimum değerden geçtikten sonra azalışa geçmiştir. Bu pikten sonra, kapasite 2 ve 3 MHz için uygulanan gerilimin artması ile azalmaya devam ederken 500, 700 ve 1000 kHz'ler için bir minimumdan geçtikten sonra tekrar yükselişe geçmiştir (Şekil 2a). Düşük frekanslarda uygulanan sinyalden etkilenen arayüzey durumları sinyale cevabı reddedebilir ya da kabul edebilir. Bu sebeple, *C-V* eğrileri tüketim bölgesinde pik(maksimum) sergileyebilir. Pik pozisyonu ve değeri yarıiletkenin yasak band aralığında SiO<sub>2</sub>/p-Si arayüzeyinde arayüzey durumlarının özel dağılımından, yavaş ve hızlı durumların varlığından etkilenmektedir [12, 14]. Şekil 2a-b'de görüldüğü gibi, *C* ve *G* değerlerinin tüketim bölgesindeki değişimi, dış elektrik alan altında SiO<sub>2</sub>/p-Si arayüzeyindeki arayüzey durumlarının yeniden yapılanmasından ve yeniden düzenlenmesinden kaynaklanabilir. Tersinim bölgesinde *C* ve *G*'de ki

değişime ise  $R_s$ 'nin etkisi sebep olabilir. Görüleceği üzere  $R_s$ ;  $C$  ve  $G$  ölçümleri üzerinde arayüzey tuzakları kadar etkili bir parametredir.

Yarıiletkenin arkasına ideal bir omik kontağın yapılamaması, yarıiletkendeki yapısal kusurlar, kirlilikler ya da diyottan ölçüm alabilmek için prob telinin diyota temasının kaliteli olmaması  $R_s$ 'ye sebep olan faktörlerdir [12,20]. Güvenilir ve iyi performans sergileyen bir diyot elde edebilmek için bu faktörlerin etkisi diyot üretiminde ve ölçüm esnasında alınacak önlemlerle en aza indirilebilir.  $R_s$ 'nin değerleri Nicollian-Brews yönteminden aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir [12]:

$$R_s = \frac{G}{G^2 + (\omega C)^2} \quad (1)$$

Bu denklemde,  $\omega(=2\pi f)$  açısal frekans,  $C$  ölçülen kapasite ve  $G$  ölçülen iletkenlik değerleridir. Şekil 3'te, Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotlarının farklı frekanslar için  $R_s$ - $V$  eğrileri gösterilmiştir. Buradan  $R_s$  değerlerinin uygulanan frekansa ve beslem gerilimine bağlılığı açıkça görülmektedir.  $R_s$  eğrileri düşük frekanslarda yaklaşık olarak +1 V'da bir pik davranışı sergilerken, artan frekansla bu pik değeri hem azalan hem de voltaj ekseninde sağa doğru kayan bir davranış sergilemektedir. Piklerin büyüklükleri artan frekansla azalmıştır. Bu durum, arayüzey tuzaklarının SiO<sub>2</sub>/p-Si arayüzeyinde özel dağılımına ve arayüzey tuzaklarının uygulanan frekansla yeniden yapılanıp yeniden düzenlenmesine atfedilebilir. Bu pikler, arayüzey yüklerinin gevşeme zamanları nedeniyle düşük frekanslarda aktif yüzey ve dipol polarizasyonundan kaynaklanabilir ve ayrıca yük taşıyıcılarının ve yönlendirilebilir dipollerin, kafes kusurlarının veya safsızlıkların varlığından da oluşabilir [12].



Şekil 3. Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotlarında oda sıcaklığı ve farklı frekanslar için  $R_s$ - $V$  karakteristikleri

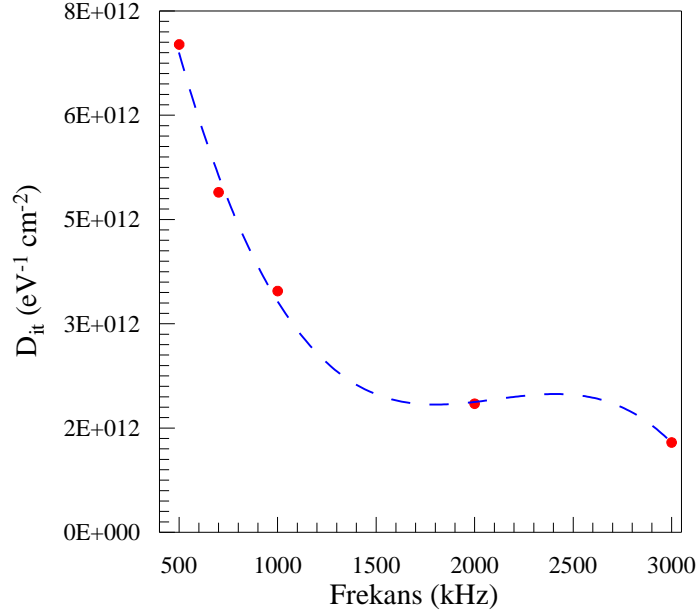
Schottky diyotlar, yüksek frekanslarda bile hızlı çalışabilen diyotlardır. Schottky diyotların yüksek kesim (cutoff) frekansına ( $f_c$ ) sahip olması bu açıdan önemlidir [ $f_c=(2\pi R_s C_F)^{-1}$ ] [21]. Bu nedenle, yüksek frekanslar için toplam seri direncin ( $R_s$ ) ve doğru beslem kapasitesinin ( $C_F$ ) düşük olması bir avantajdır. Şekil 2a ve Şekil 3'ten görüleceği gibi, Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotlarının yüksek frekanslarda düşük kapasite ve seri direnç değerlerine sahiptir. Bu durum, Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotlarının hızlı anahtarlama için umut vaat edici bir özelliktir. Ortalama seri direnç değeri ve sıfır beslemdeki kapasite değerinin kullanılmasıyla, kesim frekansı 5 MHz olarak hesaplanmıştır.

Metal yarıiletken kontaklarda ideal olmayan davranışların sebebi genellikle metal ve yarıiletken arasında arayüzey tabakasının bulunmasına ve arayüzey hallerinin varlığına atfedilmektedir [22]. Bu nedenle, arayüzey hallerinin incelenmesi Schottky diyotların karakteristiğinin belirlenmesinde önem arz eder.  $C$ - $V$  ve  $G$ - $V$  verileri yardımıyla arayüzey durumlarının yoğunluğu ( $D_{it}$ ) Hill-Coleman metodu kullanarak elde edilebilir. Bu metot  $D_{it}$ 'yi belirlemede hızlı ve güvenilir bir yöntemdir. Aynı zamanda bu yöntem arayüzeyin elektriksel performansının anlaşılmasına ve frekansın fonksiyonu olarak

arayüzey durumlarının elde edilmesine imkân sağlar. Aşağıdaki eşitlik yardımıyla  $D_{it}$  değerleri hesaplanabilir [23]:

$$D_{it} = \frac{2}{qA} \frac{G_{max}/\omega}{[(G_{max}/\omega C_{ox})^2 + (1 - C/C_{ox})^2]} \quad (2)$$

Bu denklemde,  $A$ ,  $\omega$ ,  $q$ ,  $C_{ox}$ ,  $G_{max}$ ,  $C$ , sırasıyla, diyot alanı, açısal frekans, elektrik yükü,  $C$ - $V$  eğrisinin tersinim bölgesinde oksit tabakanın kapasitesi,  $G$ - $V$  eğrisinin maksimum değerine karşılık gelen iletkenlik değeri,  $G_{max}$ 'a karşılık gelen kapasite değeridir. Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotları için 500 kHz-3 MHz frekans aralığında elde edilen arayüzey durumları için yoğunluğun dağılımı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotlarında oda sıcaklığında frekansa bağlı arayüzey durum yoğunluğu

Şekil 4'ten görüleceği gibi, arayüzey durumlarının yoğunluk değeri artan frekanslarla azalmaktadır. Arayüzey durumlarının yoğunluk değerinin bu davranışı, tuzaklardaki yüklerin AC sinyalini daha düşük frekanslarda takip edebilme kabiliyetinin bir sonucudur [14,23].

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Hava ortamına maruz bırakılan p-Si yarıiletkeni üzerine görece düşük iş fonksiyonuna sahip Zr metali fiziksel olarak buharlaştırılıp Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotları imal edilmiştir. Doğal olarak elde edilen arayüzey SiO<sub>2</sub> tabakasının kalınlığı 1 MHz frekans için  $C$ - $V$  karakteristiği yardımı ile 2.33 nm olarak hesaplanmıştır. Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotlarının ortalama  $R_s$  değeri Nicollian-Brews yöntemi ile 70.5  $\Omega$  olarak hesaplanırken Hill-Coleman yöntemi ile elde edilen  $D_{it}$  değerlerinin 10<sup>12</sup> mertebesinde olduğu ve frekansla değiştiği görülmüştür. Yüksek frekanslarda düşük kapasite ve seri direnç değerlerine sahip olan Zr/SiO<sub>2</sub>/p-Si Schottky diyotları hızlı anahtarlama için umut vaat etmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Uluslararası Doğa Bilimleri Mühendisliği ve Malzeme Teknolojileri Konferansı-NEM 2019'da sözlü olarak sunulmuştur.

#### Yazarların Katkısı

D.A. Aldemir araştırma, doğrulama, inceleme ve düzenleme, kavramsallaştırma, metodolojiye katkı sunmuştur. H.E. Lapa araştırma, orijinal taslak yazımı, kavramsallaştırma, metodolojiye katkı

sunmuştur. A.F. Özdemir ve N. Uçar kaynak, materyal, malzeme temini, denetim, gözlem ve tavsiye konusunda 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] Rhoderick E.H. 1982. Metal-Semiconductor Contacts. IEE Proceedings I Solid State and Electron Devices, 129 (1): 1-14.
- [2] Neamen D.A. 2003. Semiconductor Physics and Devices: Basic Principles. McGraw-Hill, New York, 1-729.
- [3] Su G., Yang S., Li S., Butch C.J., Filimonov S.N., Ren J.C., Liu W. 2019. Switchable Schottky Contacts: Simultaneously Enhanced Output Current and Reduced Leakage Current. Journal of the American Chemical Society, 141 (4): 1628-1635.
- [4] Sze S.M., Kwok K.N. 2007. Physics of Semiconductor Devices. John Wiley and Sons, Canada, 1-815.
- [5] Michaelson H.B. 1978. Relation between an Atomic Electronegativity Scale and the Work Function. IBM Journal of Research and Development, 22 (1): 72-80.
- [6] Zhang Y.-Y., Jung S.-Y., Oh J., Shin H.-S., Oh S.-K., Wang J.-S., Majhi P., Jammy R., Lee H.-D. 2010. Influence of Incorporating Rare Earth Metals on the Schottky Barrier Height of Ni Silicide. Japanese Journal of Applied Physics, 49 (5): 055701.
- [7] Romanov R.I., Zuev V.V., Fominskii V.Y., Demin M.V., Grigoriev V.V. 2010. Electrical Properties of Thin-Film Structures Formed by Pulsed Laser Deposition of Au, Ag, Cu, Pd, Pt, W, Zr Metals on n-6H-SiC Crystal. Semiconductors, 44 (9): 1192-1198.
- [8] Tan C.K., Abdul Aziz A., Hassan Z., Yam F.K., Lim, C.W., Hudeish A.Y. 2006. Pinning Fermi Level of p-GaN due to Three Different (Zr, Ti and Cr) Metal Contact. Materials Science Forum, 517: 262-266.
- [9] Tan C.K., Abdul Aziz A., Yam F.K. 2006. Schottky Barrier Properties of Various Metal (Zr, Ti, Cr, Pt) Contact on p-GaN Revealed from I-V-T Measurement. Applied Surface Science, 252 (16): 5930-5935.
- [10] Yamauchi T., Zaima S., Mizuno K., Kitamura H., Koide Y., Yasuda Y. 1990. Solid Phase Reaction and Electrical Properties in Zr/Si System. Applied Physics Letters, 57 (11): 1105-1107.
- [11] Rajagopal Reddy V., Asha B., Choi C.-J. 2017. Schottky Barrier Parameters and Structural Properties of Rapidly Annealed Zr Schottky Electrode on p-Type GaN. Journal of Semiconductors, 38 (6): 064001.
- [12] Nicollian E.H., Brews J.R. 1982. MOS (Metal Oxide Semiconductor) Physics and Technology, John Wiley and Sons, New York, 1-906.
- [13] Lapa H.E., Kökce A., Al-Dharob M., Orak İ., Özdemir A.F., Altındal Ş. 2017. Interfacial Layer Thickness Dependent Electrical Characteristics of Au/(Zn-Doped PVA)/n-4H-SiC (MPS) Structures at Room Temperature. The European Physical Journal Applied Physics, 80 (1): 10101.
- [14] Altındal Ş., Kanbur H., Yücedağ İ., Tataroğlu A. 2008. On the Energy Distribution of Interface States and Their Relaxation Time and Capture Cross Section Profiles in Al/SiO<sub>2</sub>/p-Si (MIS) Schottky Diodes. Microelectronic Engineering, 85 (7): 1495-1501.
- [15] Rhoderick E.H., Williams R.H. 1988. Metal-Semiconductor Contacts. Clarendon Press, Oxford, 1-252.
- [16] Morita M., Ohmi T., Hasegawa E., Kawakami M., Ohwada M. 1990. Growth of Native Oxide on a Silicon Surface. Journal of Applied Physics, 68 (3): 1272-1281.
- [17] Gräf D., Grundner M., Schulz R., Mühlhoff L. 1990. Oxidation of HF-Treated Si Wafer Surfaces in Air. Journal of Applied Physics, 68 (10): 5155-5161.



- [18] Graf D., Bauer Mayer S., Schnegg A. 1993. Influence of HF-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Treatment on Si(100) and Si(111). *Journal of Alloys and Compounds*, 74 (3): 1679-1683.
- [19] Çetinkara H.A., Güder H.S. 2010. On the Effects of Air-Exposure-Time and Time-Dependency of Pb/p-Si Schottky Diodes. *Physica B*, 405: 4480-4487.
- [20] Tecimer H., Uslu H., Alahmed Z.A., Yakuphanoglu F., Altındal Ş. 2014. On the Frequency and Voltage Dependence of Admittance Characteristics of Al/PTCDA/p-Si (MPS) Type Schottky Barrier Diodes (SBDs). *Composites Part B*, 57: 25-30.
- [21] Sharma B.L. 1984. *Metal-Semiconductor Schottky Barrier Junctions and Their Applications*. Plenum Press, New York and Londra, 1-370.
- [22] Türüt A., Sağlam M. 1992. Determination of the Density of Si-Metal Interface States and Excess Capacitance Caused by Them. *Physica B: Condensed Matter*, 179 (4): 285-294.
- [23] Hill W.A., Coleman C.C. 1980. A Single-Frequency Approximation for Interface-State Density Determination. *Solid-State Electronics*, 23 (9): 987-993.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **The Electrical Properties of Fabricated Pentacene Based Phototransistor with Polystyrene Gate Insulator**

Serif RUZGAR<sup>1\*</sup>, Mujdat CAGLAR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Batman University, Vocational School of Health Service, Department of Opticianry Program, Batman, Turkey

<sup>2</sup>Eskisehir Technical University, Faculty of Science, Department of Physics, Eskisehir, Turkey

(ORCID: 0000-0002-4964-2202) (ORCID: 0000-0001-9724-7664)

---

### **Abstract**

In this study, the fabrication of top contact pentacene based phototransistor having polystyrene gate dielectric has been carried out. To analyze the surface morphology of polystyrene insulator and pentacene active layer, scanning electron microscopy (SEM) has been used. The electrical characterization of pentacene based phototransistor and also the effect of illumination on the output characteristics have been investigated. The obtained mobility value and on/off ratio of the transistor are  $5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  and  $\sim 10^2$ , respectively. The increase of the drain current with increasing illumination intensity indicates that the light acts as an additional terminal. Also, this fabricated device behaves as a phototransistor because of its reaction to the illumination.

**Keywords:** Pentacene, polystyrene, phototransistor.

---

## **Polistren Kapı Yalıtkanı ile Pentasen Fototransistör İmalatı**

---

### **Öz**

Bu çalışmada, polistren kapı dielektrikli üst kontak pentasen tabanlı fototransistör imalatı yapılmıştır. Polistren yalıtkanının ve pentasen aktif tabakanın yüzey morfolojisini analiz etmek için, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Pentasen bazlı fototransistörlerin elektriksel karakterizasyonu ve aydınlatmanın çıkış karakteristikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Transistörden elde edilen mobilite değeri ve on/off oranı sırasıyla  $5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{V}$  ve  $\sim 10^2$ 'dir. Akaç akımının artan aydınlatma yoğunluğuyla birlikte artması, ışığın ek bir terminal olarak görev yaptığını gösterir. Ayrıca, imal edilmiş bu transistör, aydınlatmaya tepki vermesi nedeniyle bir fototransistör olarak görev görür.

**Anahtar kelimeler:** Pentasen, polistren, fototransistör.

---

### **1. Introduction**

The using of small molecules or conjugated polymers organic semiconductors in organic field transistors (OFETs) is comprehensively investigated due to their excellent features such as lightweight, low cost and commercial availability. So far, there have been a number of reports on organic semiconductors using various devices such as electronic paper, radio frequency identification tag, image sensor, flexible display [1-3]. The small-molecule polycyclic aromatic pentacene organic semiconductor material has indicated a great mobility of over  $1.0 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ . Pentacene may be an alternative active layer for substitution of amorphous silicon for thin-film transistors applications owing to its unique properties [4-6]. Pentacene active layer can be deposited by thermal evaporation or vapor deposition methods because of its small-molecule structure. The mobility of OFETs has been constantly improved. However, the performance of OFETs is still lower than that of conventional inorganic based transistors. Each component of the transistor should be optimized to enhance the performance of the OFETs. Therefore, numerous studies have been necessitated to overcome some problems such as charge-injection problems, the interaction between inorganic insulator-organic semiconductors, leakage current and

---

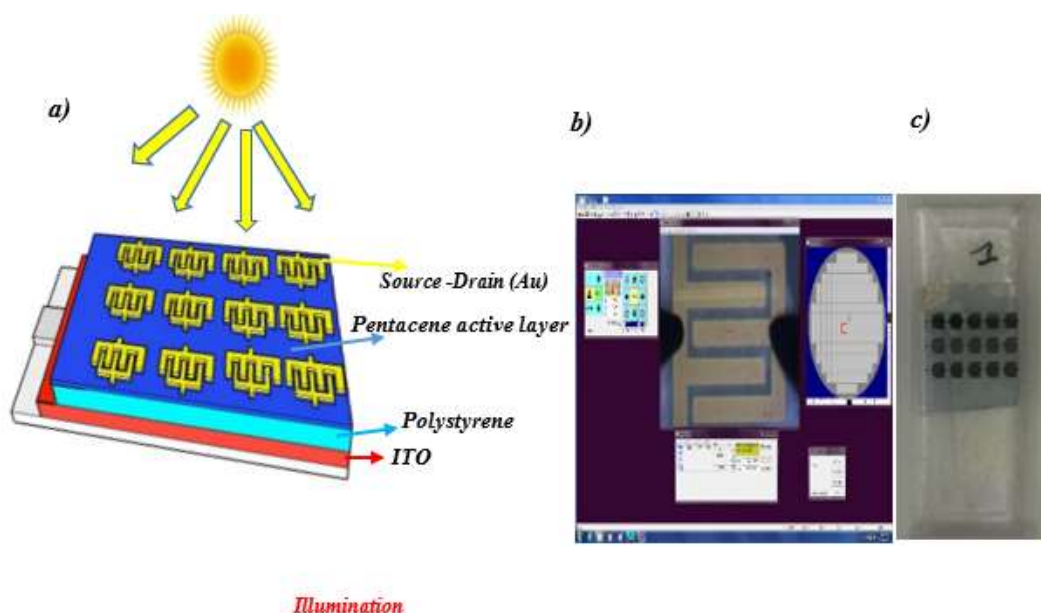
\*Sorumlu yazar: [serif.ruzgar@batman.edu.tr](mailto:serif.ruzgar@batman.edu.tr)

Geliş Tarihi: 08.12.2019, Kabul Tarihi: 15.06.2020

contact resistance to fabricate transistors with superior performance [7-9]. In order to obtain high efficiency from the OFETs, the choice of the insulating layer is as important as the selection of the active layer. Many dielectrics with various deposition techniques have been operated to prepare gate insulators for OFETs such as magnetron reactive sputtered tantalum pentoxide [10], plasma-enhanced chemical vapor deposition silicon nitride [11], thermal atomic layer deposited silicon dioxide [12]. OFETs are desired to be cheap because they are used in many different fields of the technology market. Therefore, the fabrication of gate insulators with cheap methods is important for electronic market. The solution-based processable polymer dielectrics can be grown by printing, spin coating, and spray pyrolysis instead of vacuum deposition [13]. Organic gate dielectric layers, which are other parts of OFETs, have been intensively utilized. One of these organic insulators, transparent thermoplastic polystyrene polymer is performed as an attractive alternative for gate insulators because of its numerous features such as flexibility, nontoxicity, inexpensive and low-temperature processability [14, 15]. The high-quality interface can be achieved in OFETs using polymer dielectrics [16]. There are not many studies in the literature about pentacene OFET with polystyrene polymer gate [17-19]. One of those researches is studied by Sung-woo lee et al. [15]. They investigated the effect of the molecular weight of polystyrene on electrical properties of pentacene-based transistors. Their study exhibits that a polymeric dielectric with higher molecular weight is a promising insulator for achieving superior performance OFETs because of low leakage currents between the gate contact and active layer. Also, they obtained high drain current during device operation because of bigger pentacene grains. Jae Hoon Park et al. [20] fabricated pentacene based OFET with polystyrene gate dielectric. They investigated the effect of the deposition rate of the pentacene on electrical performance of OFETs. They obtained  $2 \times 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/Vs,  $4.1 \times 10^{-3}$  cm<sup>2</sup>/Vs and 0.16 cm<sup>2</sup>/Vs mobility values for 0.5 Å/s, 1.0 Å/s, 2.5 Å/s deposition rate of pentacene, respectively. But the interaction of polystyrene-based pentacene OFET with light has been rarely studied. In this work, we fabricated the pentacene based phototransistor having a polystyrene gate dielectric. The electrical and photosensitive properties of this OFET were investigated at room temperature. Also, scanning electron microscopy (SEM) was used to characterize the morphology of polystyrene and pentacene active layers.

## 2. Materials and Methods

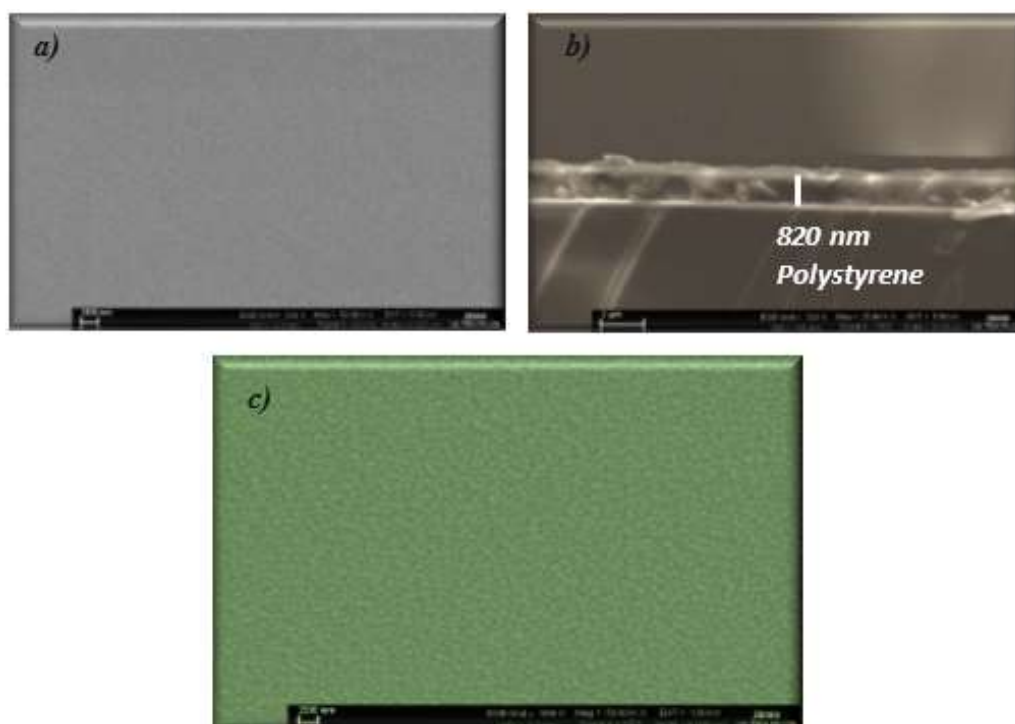
In this study, we fabricated pentacene based field-effect transistor with top contact bottom gate architecture. Firstly, Indium tin oxide (ITO) was cleaned with deionized water, ethanol, and acetone, respectively. Polystyrene polymer was dissolved in toluene (10 wt. %) to fabricate gate insulator layer. Then, the prepared polystyrene solution was grown on ITO by spin coating method. The spin speed and time of spin coater was fixed at 1000 rpm and 60 s, respectively. The polystyrene coated ITO was baked at 100 °C under vacuum. The thicknesses of the polystyrene films were obtained as 820 nm from a cross-section of SEM image. Then, 50 nm thick pentacene semiconductor layer was evaporated on the polystyrene insulator by thermal evaporation method under high vacuum ( $\sim 10^{-6}$  Torr). Finally, 100 nm gold was evaporated on pentacene active layer with using shadow mask to achieve source-drain electrodes (channel length 50 μm, channel width 1000 μm). Keithley 4200-SCS semiconductor characterization system was performed to characterize electrical performance of OFET under dark and illumination. Figure 1(a), 1(b) and 1(c) show the schematic structure of OFET, the image of OFET contact which taken from the electrical probe station and the real image of fabricated OFET, respectively.



**Figure 1.** (a) The schematic structure of OFET (b) The image of OFET contact which taken from the electrical probe station (c) The real image of fabricated OFET

### 3. Results and Discussion

The surface morphology of the dielectric and active layer was examined by SEM. Figure 2 indicates (a) the surface image of polystyrene, (b) the cross-section of polystyrene and (c) the surface image of pentacene active layer taken at  $5 \times 10^4$  magnifications, respectively. From these figures, it can be seen that the surface of the polystyrene film is very smooth and homogenous. It is thought that the roughness of the insulator layers decreases the charge transport mobilities in the organic semiconductors as it causes disorderliness in the accumulation layer [21]. Therefore, bottom-gate OFETs need to have a smooth insulator layer to improve their electrical performance. The SEM micrograph of the pentacene film indicates that the grains of pentacene are approximately 80 nm and are randomly distributed with clear grain boundaries.

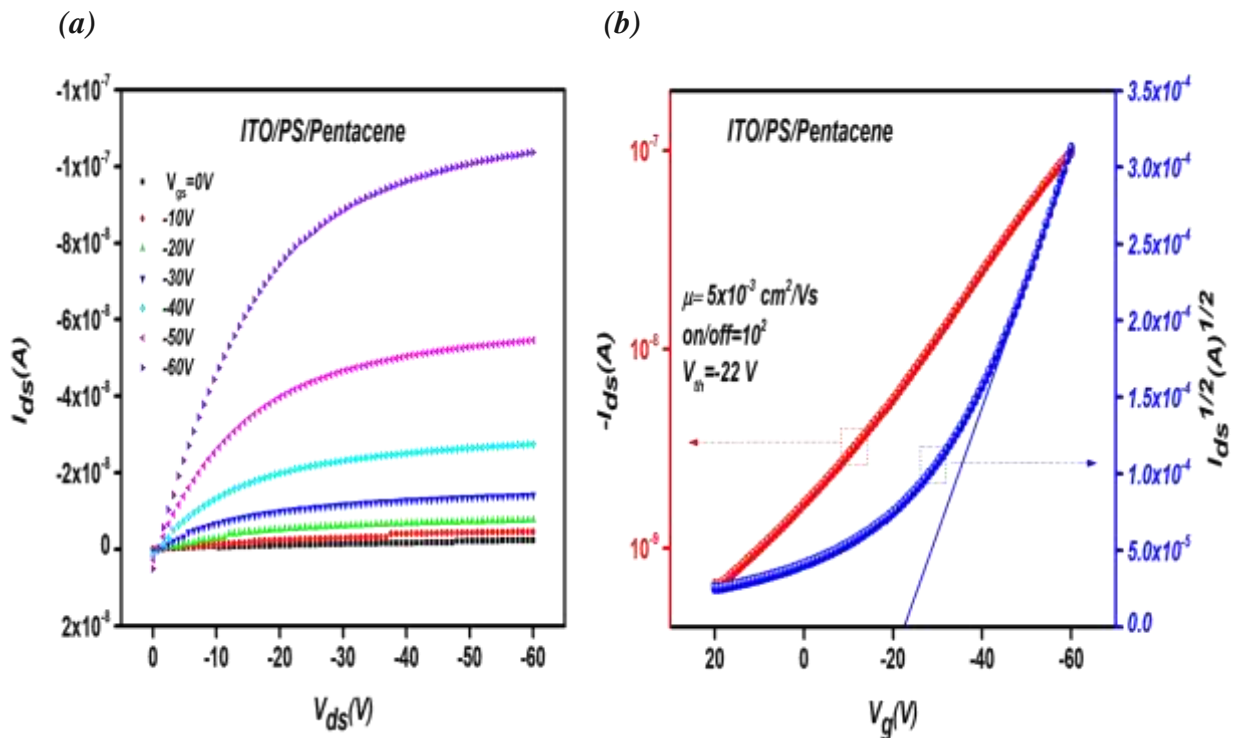


**Figure 2.** SEM image of (a) polystyrene (b) cross-section of polystyrene (c) pentacene active layer

The output characteristic of OFET for different gate voltage is illustrated in Figure 3(a). As expected, the output characteristic of OFET consists of linear and saturation current region. The drain current firstly increases linearly, then reaches saturation due to pinch-off. The response of the OFET to the negative  $V_{gs}$  indicates that the pentacene has a p-type nature. In this paper, we extracted the saturation field-effect mobility ( $\mu_{sat}$ ) and other key electrical parameters, which allow us to evaluate the performance of the device, from the typical transfer characteristics of OFET under a dark condition at room temperature. The transfer characteristic of OFET ( $V_{ds} = -30V$ ) was plotted to calculate some electrical parameters of OFET such as on/off ratio,  $V_{th}$  and  $\mu_{sat}$  and shown in Figure 3(b). The drain-source current ( $I_{ds}$ ) of OFET can be expressed by the following equation (1) [8];

$$I_{ds} = \frac{\mu_{sat} C_i W}{2L} (V_{gs} - V_{th})^2 \quad (1)$$

Where  $C_i$ ,  $L$ ,  $W$ ,  $V_{th}$ , and  $V_{gs}$  are referring to the capacitance of the insulating layer, channel length, channel width, threshold voltage, and gate voltage, respectively. The on/off ratio,  $V_{th}$  and  $\mu_{sat}$  of OFET were found to be  $\sim 10^2$ ,  $-22V$  and  $5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/Vs$ , respectively. The threshold voltage, on/off ratio, and mobility respectively are parameters that define the voltage required for the creation of the conductive channel, the difference between the current of on state and the current of off state and how fast an electron can move. It is desirable for high performance OFETs that the mobility and on/off ratio are high, and threshold voltage is close to zero. The negative  $V_{th}$  value shows that OFET works in an enhancement mode. The negative  $V_{gs}$  is required to form the conductive channel between source and drain in an enhancement mode.



**Figure 3.** a) The output characteristic of OFET for different gate voltage b) The transfer characteristics of OFET for a certain drain voltage

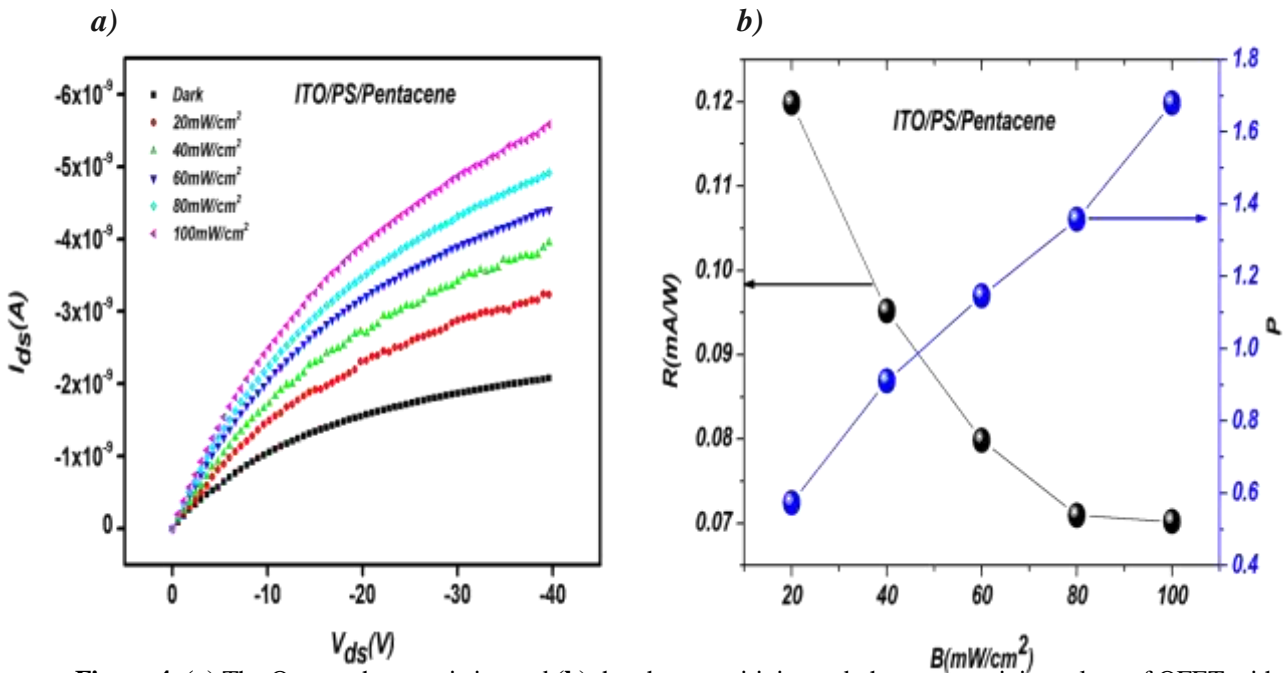
In addition, polystyrene organic insulators have been greatly used for bilayer insulators in pentacene based transistors [14, 22, 23]. When the literature is examined, it shows that OFETs with the same active layer may have different mobility values. Different mobility values of OFETs with the same active layer can be explained that the mobility of OFETs is not only related to the semiconductor layers

but also on the interface properties and insulators layers [24]. Figure 4(a) indicates the drain current of the OFET (at  $V_{gs} = 0$  V) under various illumination intensities. When the photons, whose energies are higher than pentacene optical band gap energy, are absorbed by active layer, charge pairs (exciton) occur. These charges contribute drain-source current under illumination with external electric field, so drain current increases with illumination. The systematic increase of drain current with light intensity indicates that the light can serve as an additional new terminal to control current for OFET [25]. The OFET clearly shows photoresponsive behavior. The photoresponsivity ( $R$ ) and photosensitivity ( $P$ ) are two main optoelectrical parameters to detect light for phototransistors, which are defined by the following relations [26];

$$P = \frac{I_{ph}}{I_{dark}} = \frac{I_{ill} - I_{dark}}{I_{dark}} \quad (2)$$

$$R_{phr} = \frac{I_{ph}}{P_{opt}} = \frac{I_{ill} - I_{dark}}{B \cdot A} \quad (3)$$

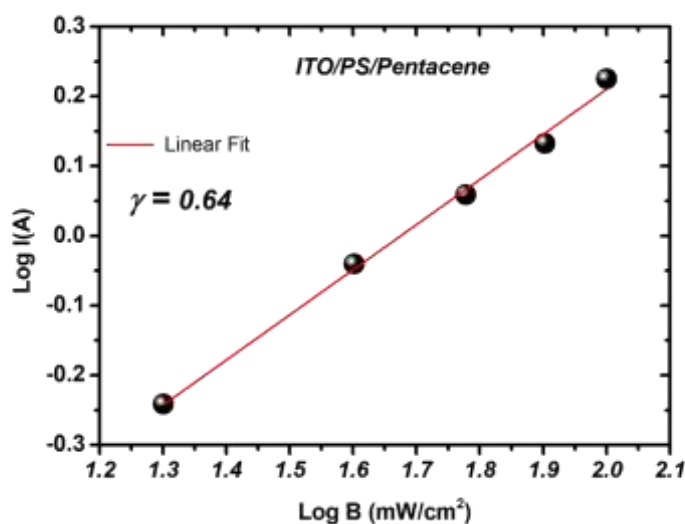
Where  $I_{ph}$  is photocurrent,  $P_{opt}$  is the power of incident illumination,  $B$  is illumination intensity,  $A$  is the area of the channel,  $I_{ill}$  and  $I_{dark}$  are referring to the drain current under the light and the dark. The photosensitivity and photoresponsivity of OFET with various illumination intensities are shown in Figure 4(b).



**Figure 4.** (a) The Output characteristics and (b) the photosensitivity and photoresponsivity values of OFET with various illumination intensities

It is observed that the  $P$  value of OFET increases with the light intensity from 0.5 to 1.6 under  $V_{gs} = 0$  V. When the photoresponsivity characteristic of OFET is examined, it is seen that the values of photoresponsivity of OFET decrease with increasing light intensity. The decreasing of photoresponsivity with increasing illumination intensity is often observed in detectors where nanostructured materials such as colloidal quantum dots and MoS<sub>2</sub> are used as active layers [27]. This effect may be related to the changing of photogenerated carriers' numbers under high photon flow. This high photon flow is based on the saturation of recombination/trap states or the Auger process. Also, these processes affect the lifetime of the carriers created under lighting [28]. These results show that the pentacene-based transistor with polystyrene gate insulator can be used as a photosensor because of its light sensitivity. When the literature is examined, it is seen that pentacene based photo transistors display different behaviors under illumination. For example, Yao et al. [29] fabricated two traditional single

layer pentacene based phototransistors. In the first phototransistor, only the gold was used as ohmic contact on pentacene active layer. In the other phototransistor, C60 buffer layer was inserted between gold and pentacene active layer. The photoresponsivity values for pentacene based transistors under  $0.2 \text{ mWcm}^{-2}$  light intensity were obtained  $4.27 \text{ A/W}$  and  $0.7 \text{ A/W}$ , with and without C60 buffer layer electrode, respectively. The photoresponsivity value for Pentacene OFET with  $300 \text{ nm SiO}_2$  dielectric layer was obtained  $\sim 1 \text{ A/W}$  under  $650 \text{ nm}$  light with  $9.5 \text{ mWcm}^{-2}$  light intensity by Noh et al. [30]. In another study by Kim et al. [31], They found that the drain current of OFET measured under  $13 \text{ mWcm}^{-2}$  light intensity was lower than the current measured in the dark. This decreasing drain current of OFET under visible irradiation was ascribed to the degradation of the crystal structure of the pentacene active layer [32]. The examination of the photocurrent provides a further understanding of the processes of recombination. This type of process can be analyzed by plotting the graph of the photocurrent versus light intensity  $B$  with the exponential  $\gamma$  power factor ( $I_{\text{ph}} \propto B^\gamma$ ) [33]. Where the value of power factor  $\gamma$  is a term that corresponds the recombination mechanism in active layers of OFETs. The  $\gamma$  can be extracted from the slopes of the  $\log(I_{\text{ph}})$  vs.  $\log(B)$  plots. When the  $\gamma=0.5$  and  $\gamma=1$ , the recombination processes of OFET can be explained with bimolecular recombination process and monomolecular recombination process, respectively [33, 34]. When the value of  $\gamma$  is between 0.5 and 1, it indicates the presence of a steady distribution of trapping centers in the mobility gap of the materials [35]. The bimolecular recombination is the process of direct recombination of photo-generated holes and electrons in the valence band (tail) and conduction band (tail). The monomolecular recombination process occurs when the recombination centers provide control over the lifetime of photogenerated carriers [36].



**Figure 5.** The  $\log(I_{\text{ph}})$  vs.  $\log(B)$  for ITO/PS/Pentacene OFET

Therefore, the  $\log(I_{\text{ph}})$  vs.  $\log(B)$  was plotted and shown in Figure 5 to calculate the  $\gamma$ . The  $\gamma$  value for pentacene based OFET was calculated as 0.64. This value indicates the presence of a continuous distribution of trapping centers in the mobility gap of the active layer.

#### 4. Conclusions

We have examined the electrical performance of pentacene-based transistor with polystyrene organic insulator. The mobility value and on/off ratio of the transistor were found  $5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$  and  $\sim 10^2$ , respectively. In addition, photo-sensing characteristics of OFET were investigated in the visible-light region. Also, the photosensitivity and photoresponsivity of OFET were investigated under various visible illumination intensities. The photosensitivity value of OFET increases with the light intensity from 0.5 to 1.6 under  $V_{\text{gs}} = 0\text{V}$ . The photoresponsivity values of transistor decreased with increasing illumination intensity due to the saturation of recombination/trap states or the Auger process. Also, the fabricated OFET is sensitive to light and can be used as a photosensor.

## Authors' Contributions

Serif RUZGAR conceptualization, data curation, formal analysis, writing - original draft, writing-review & editing. Mujdat CAGLAR conceptualization, data curation, formal analysis, writing-original draft, writing-review & editing.

## Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

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

## References

- [1] Drury C.J., Mutsaers C.M.J., Hart C.M., Matters M., De Leeuw D.M. 1998. Low-cost all-polymer integrated circuits. *Applied Physics Letters*, 73 (1): 108-110.
- [2] Huitema H.E.A., Gelinck G.H., van der Putten J.B.P., Kuijk K.E., Hart C.M., Cantatore E., de Leeuw D.M. 2002. Active-Matrix Displays Driven by Solution-Processed Polymeric Transistors. *Advanced Materials*, 14 (17): 1201-1204.
- [3] Tsumura A., Koezuka H., Ando T.J.A.P.L. 1986. Macromolecular electronic device: Field-effect transistor with a polythiophene thin film. *Applied Physics Letters*, 49 (18): 1210-1212.
- [4] Lin Y.Y., Gundlach D.J., Nelson S.F., Jackson T.N. 1997. Stacked pentacene layer organic thin-film transistors with improved characteristics. *IEEE Electron Device Letters*, 18 (12): 606-608.
- [5] Ren Q., Xu Q., Xia H., Luo X., Zhao F., Sun L., Zhao Z. 2017. High performance photoresponsive field-effect transistors based on MoS<sub>2</sub>/pentacene heterojunction. *Organic Electronics*, 51: 142-148.
- [6] Virkar A.A., Mannsfeld S., Bao Z., Stingelin N. 2010. Organic semiconductor growth and morphology considerations for organic thin-film transistors. *Advanced Materials*, 22 (34): 3857-3875.
- [7] Lee S., Jo G., Kang S. J., Wang G., Choe M., Park W., Lee T. 2011. Enhanced Charge Injection in Pentacene Field-Effect Transistors with Graphene Electrodes. *Advanced Materials*, 23 (1): 100-105.
- [8] Ruzgar S., Caglar M. 2017. Use of bilayer gate insulator to increase the electrical performance of pentacene based transistor. *Synthetic Metals*, 232: 46-51.
- [9] Klauk H., Schmid G., Radlik W., Weber W., Zhou L., Sheraw C.D., Jackson T. N. 2003. Contact resistance in organic thin film transistors. *Solid-State Electronics*, 47 (2): 297-301.
- [10] Liang Y., Dong G., Hu Y., Wang L., Qiu Y. 2005. Low-voltage pentacene thin-film transistors with Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> gate insulators and their reversible light-induced threshold voltage shift. *Applied Physics Letters*, 86 (13): 132101.
- [11] Knipp D., Street R. A., Völkel A.R. 2003. Morphology and electronic transport of polycrystalline pentacene thin-film transistors. *Applied Physics Letters*, 82 (22): 3907-3909.
- [12] Hiller D., Zierold R., Bachmann J., Alexe M., Yang Y., Gerlach J.W., Hilmer H. 2010. Low temperature silicon dioxide by thermal atomic layer deposition: Investigation of material properties. *Journal of Applied Physics*, 107 (6): 064314.
- [13] Klauk H., Halik M., Zschieschang U., Schmid G., Radlik W., Weber W. 2002. High-mobility polymer gate dielectric pentacene thin film transistors. *Journal of Applied Physics*, 92 (9): 5259-5263.
- [14] Wang Y., Acton O., Ting G., Weidner T., Shamberge P.J., Ma H., Jen A.K.Y. 2010. Effect of the phenyl ring orientation in the polystyrene buffer layer on the performance of pentacene thin-film transistors. *Organic Electronics*, 11 (6): 1066-1073.
- [15] Lee S.W., Kim D.W., Shin H., Choi J.S., Bae J.H., Zhang X., Park J. 2014. Effects of Polystyrene Gate Dielectrics with Various Molecular Weights on Electrical Characteristics of Pentacene Thin-Film Transistors. *Molecular Crystals and Liquid Crystals*, 598 (1): 129-134.



- [16] Ruzgar S., Caglar M. 2015. Copper (II) Phthalocyanine Based Field Effect Transistors with Organic/Inorganic Bilayer Gate Dielectric. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 10 (6): 717-722.
- [17] Jeong H.S., Bae J.H., Lee H., Ndikumana J., Park J. 2018. Structural Modification of Organic Thin-Film Transistors for Photosensor Application. *Journal of the Korean Physical Society*, 72 (10): 1254-1263.
- [18] Zhang X., Park G.T., Choi J.S., Kwon J.H., Bae J.H., Park J. 2014. Effects of molecular weights of a polymeric insulator on the electrical properties of pentacene thin-film transistors. *Japanese Journal of Applied Physics*, 53 (3): 031601.
- [19] Zhang Q., Kale T.S., Plunkett E., Shi W., Kirby B.J., Reich D.H., Katz H.E. 2018. Highly Contrasting Static Charging and Bias Stress Effects in Pentacene Transistors with Polystyrene Heterostructures Incorporating Oxidizable N, N'-Bis (4-methoxyphenyl) aniline Side Chains as Gate Dielectrics. *Macromolecules*, 51 (15): 6011-6020.
- [20] Park J.H., Kang C.H., Kim Y.J., Lee Y.S., Choi J.S. 2004. Characteristics of pentacene-based thin-film transistors. *Materials Science and Engineering: C*, 24 (1-2): 27-29.
- [21] Sun X., Di C.A., Liu Y. 2010. Engineering of the dielectric–semiconductor interface in organic field-effect transistors. *Journal of Materials Chemistry*, 20 (13): 2599-2611.
- [22] Kim C., Facchetti A., Marks T.J. 2007. Polymer gate dielectric surface viscoelasticity modulates pentacene transistor performance. *Science*, 318 (5847): 76-80.
- [23] Yu A., Qi Q., Jiang P., Jiang C. 2009. The effects of hydroxyl-free polystyrene buffer layer on electrical performance of pentacene-based thin-film transistors with high-k oxide gate dielectric. *Synthetic Metals*, 159 (14): 1467-1470.
- [24] Ruzgar S., Caglar Y., Ilıcan S., Caglar M. 2017. Modification of gate dielectric on the performance of copper (II) phthalocyanine based on organic field effect transistors. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 130: 61-67.
- [25] Romero M.A., Martinez M.A.G., Herczfeld P.R. 1996. An analytical model for the photodetection mechanisms in high-electron mobility transistors. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, 44 (12): 2279-2287.
- [26] Yang D., Zhang L., Yang S.Y., Zou B.S. 2013. Influence of the dielectric PMMA layer on the detectivity of pentacene-based photodetector with field-effect transistor configuration in visible region. *IEEE Photonics Journal*, 5 (6): 6801709-6801709.
- [27] Buscema M., Groenendijk D.J., Blanter S.I., Steele G.A., Van Der Zant H.S., Castellanos-Gomez A. 2014. Fast and broadband photoresponse of few-layer black phosphorus field-effect transistors. *Nano letters*, 14 (6): 3347-3352.
- [28] Yu X., Shen Y., Liu T., Wu. T.T., Wang Q.J. 2015. Photocurrent generation in lateral graphene pn junction created by electron-beam irradiation. *Scientific reports*, 5: 12014.
- [29] Yao B., Lv W., Chen D., Fan G., Zhou M., Peng Y. 2012. Photoresponsivity enhancement of pentacene organic phototransistors by introducing C60 buffer layer under source/drain electrodes. *Applied Physics Letters*, 101 (16): 163301.
- [30] Noh Y.Y., Kim D.Y. 2007. Organic phototransistor based on pentacene as an efficient red light sensor. *Solid-state electronics*, 51 (7): 1052-1055.
- [31] Kim Y.H., Han J.I., Han M.K., Anthony J.E., Park J., Park S.K. 2010. Highly light-responsive ink-jet printed 6, 13-bis (triisopropylsilylethynyl) pentacene phototransistors with suspended top-contact structure. *Organic Electronics*, 11 (9): 1529-1533.
- [32] Kim W.J., Koo W.H., Jo S.J., Kim C.S., Baik H.K., Hwang D.K., Im S. 2006. Ultraviolet-enduring performance of flexible pentacene TFTs with SnO<sub>2</sub> encapsulation films. *Electrochemical and solid-state letters*, 9 (7): G251-G253.
- [33] Kazim S., Ali V., Zulfequar M., Haq M.M., Husain M. 2007. Electrical transport properties of poly [2-methoxy-5-(2'-ethyl hexyloxy)-1, 4-phenylene vinylene] thin films doped with acridine orange dye. *Physica B: Condensed Matter*, 393 (1-2): 310-315.
- [34] Marcano G., Zhanata A.R., Chamboleyron I. 1994. Photoconductivity of intrinsic and nitrogen-doped hydrogenated amorphous germanium thin films. *Journal of applied physics*, 75 (9): 4662-4667.

- [35] Kwon J.H., Chung M.H., Oh T.Y., Bae H.S., Park J.H., Ju B.K., Yakuphanoglu F. 2009. High-mobility pentacene thin-film phototransistor with poly-4-vinylphenol gate dielectric. *Sensors and Actuators A: Physical*, 156 (2): 312-316.
- [36] Lee D.H., Kawamura K.I., Nomura K., Yanagi H., Kamiya T., Hirano M., Hosono H. 2010. Steady-state photoconductivity of amorphous In-Ga-Zn-O. *Thin solid films*, 518 (11): 3000-3003.

*Araştırma Makalesi / Research Article*

## İncir Ağaçlarının (*Ficus carica* L.) Yapraklarından Elde Edilen Bitki Çayının Bazı Özelliklerinin Araştırılması

Nergiz YÜKSEL\*, Erdiñ VURAL, Mustafa SÜRMEŒ

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi, Germencik Yamantürk Meslek Yüksekokulu  
(ORCID: 0000-0002-1334-051X) (ORCID: 0000-0002-3398-5593) (ORCID: 0000-0001-9748-618X)

### Öz

İncir (*Ficus carica* L.) yaprakları çok çeşitli biyolojik aktivitelere sahip olduğundan özellikle sağlık alanında çalışanların dikkatini çekmektedir. Bu çalışmanın amacı; Germencik yöresinden toplanan örneklerde *Ficus carica* L. yaprak çayının bazı fiziksel, kimyasal, morfolojik ve toksikolojik etkilerinin araştırılması; aynı zamanda yapılan analiz sonuçlarına göre incir yaprak çayının, ulusal bitki çayı standardına göre değerlendirilmesidir. Araştırmada toplanan örnekler çay haline getirilerek toplam kuru madde, toplam kül, asitte çözünmeyen kül, mezofilik aerobik bakteri, koliform bakteri, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. ve küf tayinleri yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre incelenen bu özelliklerden elde edilen veriler sırasıyla %90,6 (m/m), %14,19 (m/m), %4,36 (m/m),  $8,10 \cdot 10^1$  (kob/g) <10 (kob/g), <10 (kob/g) ve  $2 \cdot 10^2$  (kob/g) olarak belirlenmiştir. Örneklerde aflatoksin ve boyar madde tespit edilmemiştir. Analiz sonuçları, toplam kül ve asitte çözünmeyen kül tayinleri dışında TS 12933 (ICS 67.140.10) numaralı Türk Standartları Enstitüsünün Bitkisel Çaylar Standardına uygun bulunmuştur. Çalışmamız bu kapsamda yapılan ilk araştırmadır. Birçok faydası bulunan incir yaprak çayının kimyasal ve toksikolojik özellikleri üzerine çalışmaların devam ettirilmesi ve incirin en çok üretildiği Aydın ilinde yan ürün olarak değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Aydın, *Ficus carica*, İncir yaprak çayı, bitki çayı.

## Investigation of Some Properties of Plant Tea from Leaves of Fig Trees (*Ficus carica* L.)

### Abstract

Since the leaves of *Ficus carica* L. have a wide variety of biological activities, they have attracted the attention of healthcare workers in particular. The aim of this study; Investigation of some physical, chemical, morphological and toxicological effects of *Ficus carica* L. leaf tea in samples collected from Germencik region; at the same time according to the results of the analysis of fig leaf tea, according to the national herbal tea standard is to evaluate. The collected samples were made into tea by total dry matter, total ash, acid insoluble ash, mesophilic aerobic bacteria, coliform bacteria, *Escherichia coli*, *Salmonella* spp. and mold were determined. According to the results of the analysis, the data obtained from these properties were determined as 90,6% (m/m), 14,19% (m/m), 4,36% (m/m),  $8,10 \cdot 10^1$  (cfu/g) <10 (cfu /g), <10 (cfu /g) ve  $2 \cdot 10^2$  (cfu /g) respectively. Aflatoxin and dye were not detected. The results of the analysis were in compliance with TS 12933 (ICS 67.140.10) Herbal Tea Standard of Turkish Standards Institute, except for total ash and acid insoluble ash determinations. This is the first study in this context. It is thought that the studies on the chemical and toxicological properties of the fig leaf tea, which has many benefits, should be continued and evaluated as a by-product in the province of Aydın where the fig is produced most.

**Keywords:** Aydın, *Ficus carica*, tea of fig leaves, herbal tea.

### 1. Giriş

Moraceae, yenilebilir türler bakımından çok zengin bir kapalı tohum bitki ailesidir. Yaklaşık 750 türüyle monotipiktir. 37 cinsi olan Moraceae familyasının, *Ficus* cinsi 100'den fazla türden oluşur. İncir ticari

\*Sorumlu yazar: [nergiz.yuksel@adu.edu.tr](mailto:nergiz.yuksel@adu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10.12.2019, Kabul Tarihi: 09.04.2020

öneme sahip en çok bilinen türüdür [1]. Moraceae (Mulberry) familyasına ait çok yıllık bitki türü olan incir ağaçları (*Ficus carica* L.) Dünyada en fazla Türkiye, A.B.D., Yunanistan ve İspanya'da yetişmektedir [2]. Bu bitkinin yetiştiği bölgelerin iklimi özellikle kışları ılıman, yazları kurak geçmektedir [3]. Birleşmiş Milletler Tarım ve Gıda Örgütü (FAO) verilerinin son beş yıllık ortalama değerlerine göre Türkiye, yaklaşık 300 bin ton üretim ile Dünyadaki yaş incir üretiminin %26,7'sini karşılayarak ilk sırada yer almaktadır. Ülke genelinde ise %60,65 oran ile Aydın ili ilk sıradadır [4]. Aydın ilinde kuru incir rekolte tahmin tablosuna göre en çok incir yetişen ilçe ise Germencik'tir [5]. Yüksek güvenlik profiline sahip incirler, en eski gıdalardan biridir. *F. carica* L.'nin sadece meyvesi değil yaprakları, latexleri gıda olarak ve tedavi amacıyla kullanılmaktadır [1]. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, geleneksel hastalıkları tedavi etmek için ilaçlarla beraber kullanılmaktadır [6]. *F. carica* L., İspanyol ve İngiliz farmakolojisinde bitkisel ilaçların terapotik klavuzlarına dahil edilmiştir [1]. Brezilya halk tıbbında, *Ficus adhatodifolia schott expreng* ve *Ficus obtusiuscula* yapraklarından hazırlanan çaylar bulunmaktadır. Bu türlerin ikisi de Pharmacosycea alt cinsine aittir [7]. Lianju vd., (2003) incir meyve çayının içerisine direkt incir yapraklarının ilave edildiğini bildirmiştir [8]. İncir ve çeşitli kısımları ile ilgili yapılan çalışmalarda; incir ağacı yaprağından bazı flavonoidler, steroller ve aldehit, alkol, keton, ester, monoterpen, seskiterpen ve norizoprenoidler grubuna ait uçucu bileşikler izole edilmiştir [9, 10].

Pakistan'da yapılan bir çalışmada, küçük incir yapraklarında, p-hidroksibenzoik asit, sinapik asit glukozit, gallik asit türevi, kafeik asit türevi, kumarik asit türevi, kafeik asit, pro-antosinidin B1, katarik asit, kumaroil-heksoz, quercetin-3,7-diglukozit, quercetin-3-triglukozit, kikorik asit, quercetin-3-glukozit ve kaempferol-3-O- saporotriozit olmak üzere 14 adet polifenolik bileşik tespit edilmiştir. Ayrıca çalışmada, yaprakların 45-60 günlük olgunlaşma döneminde daha zengin polifenolik bileşik kaynağı olduğu belirtilmiştir [3]. Diğer bir çalışmada ise incir ağacı yapraklarında potasyum, kalsiyum, magnezyum, sodyum, demir, fosfor, bakır, mangan ve çinko konsantrasyonlarının büyüme mevsimi boyunca bulunduğu belirtilmiştir [11]. *Ficus carica* L. türünde, toplam fenolik ve flavonoid içeriği belirlenerek; yaprak ekstraktlarında antioksidan ve antimikrobiyal aktivitelerinin değerlendirildiği bir çalışmada, incir ağacı yapraklarının antioksidan kapasitesi fenolik içerikle uyumlu bulunmuştur. Ayrıca tüm ekstreler *Bacillus cereus* ve *Staphylococcus aureus*'a karşı antimikrobiyal bir etki göstermiştir [12]. *S. aureus* ve *E. coli* gibi patojenik bakterilere karşı, incir yapraklarının antimikrobiyal aktivitesinin belirlendiği bir çalışmada; patojenik bakterilere karşı en yüksek % 47 civarında verim gözlemlendiğinden dolayı incir bitkisinin alternatif antibiyotik geliştirme potansiyeli olduğu bildirilmiştir [13]. 2009 yılında yapılan bir çalışmada ise *Ficus carica* L. yapraklarının oral bakterilere karşı antimikrobiyal aktivitesi araştırılmış ve ağız bakım ürünlerinde doğan bir antimikrobiyal madde olarak kullanılabileceği bildirilmiştir [14].

Günümüze kadar, *F. carica* yapraklarının faydaları ile ilgili sağlık alanında birçok çalışma yapılmıştır. Kapsamlı bir çalışmada; kansızlık, diyabet, karaciğer hastalıkları, cilt hastalıkları, felç, kanser ve ülser tedavisinde *F. carica*'nın kullanıldığı bildirilmiştir [15]. *F. carica*'nın çeşitli kısımlarının antioksidan, antidiyabetik ve anti-obesogenik etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada ise, bu etkilere karşı potansiyel bir kaynak olduğu belirtilmiştir. *F. carica* yaprak deoksijenasyonu, tip 1 diyabetik hastalarda hipoglisemik etki gösterdiği ve bergaplen ve prosalen adlı iki önemli anti-kanser bileşiği içerdiği yapılan çalışmalarda bildirilmiştir [16]. Ayrıca, *F. carica* özlerinin ve bileşenlerinin meme kanseri hücreleri üzerinde spesifik büyüme önleyici etkilere sahip olduğu belirtilmiştir [17]. Hipoglisemik etki üzerine yapılan diğer bir çalışmada ise; *F. carica* yapraklarının kaynağından elde edilen bir kloroform özütü kullanılarak sıçanların kolesterol seviyeleri düşürülmüştür [18]. Tıp alanında birçok uzman bilim insanı son yıllarda *F. carica*'ya yönelmiştir. Çünkü kimyası, besin değeri, farmakolojik kullanımları araştırılan *F. carica*'nın umut verici biyo-ürünlerden biri olduğu düşünülmektedir [1]. Bu çalışmanın amacı, kimyası ve sağlık üzerine faydaları araştırılan *F. carica* yapraklarından elde edilen bitki çayının bazı özelliklerinin incelenmesidir. Ülkemizde uygulanan mevzuat ve Türk Standartları kapsamında yapılan analizler ile *F. carica* yapraklarından elde edilen bitki çayı değerlendirilmiştir. Ayrıca çalışmamız; *F. carica* L. yapraklarından üretilen çayın beslenme kalitesini belirlemeye yardımcı olacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

İncir ağacının yaprakları çoğunlukla 5 lobludur, dalgalı ve kenarlıdır (Şekil 1). Araştırmada materyal olarak Germencik yöresinde yetiştirilen incir ağaçlarından toplanan yapraklar kullanılmıştır.



Şekil 1. Ocak ayında Rosario, Arjantin'de *F. carica*. (Fotoğraf: N. Ruiz Mostacero).

### 2.2. Metot

Araştırma materyali olan incir yaprakları, Ağustos ve Eylül (2019) aylarında bir haftalık periyotlar şeklinde toplanan yapraklar 7 gün boyunca  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de gölgede kurutulmuştur (Şekil 2). Daha önce yapılan çalışmalarda incir yaprakları, gölgede 5 gün boyunca  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ' de ve karanlık odada 2 hafta kurutulduğu belirtilmiştir [3, 13]. Kuruyan yapraklar, mekanik bir öğütücü ile iri taneli toz çay haline getirildi (Şekil 3). Çalışmada, bitkisel çayların tarifine, sınıflandırma ve özelliklerine, numune alma, muayene ve deneyleri ile piyasaya arz şekline dair konuları içeren TS 12933 (ICS 67.140.10) numaralı Türk Standartları Enstitüsünün Standardında belirtilen analiz parametreleri tespit edilmiştir.



Şekil 2. 7 gün boyunca  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ ' de gölgede kurutulan incir yaprakları



Şekil 3. Kurutulmuş ve öğütülmüş incir ağacı yaprakları

### 2.2.1. Kuru madde tayini

Kuru madde tayini, TS 1562'ye göre yapılmıştır. Numune çay, 0,5 mm gözenekli elekten, tamamıyla geçecek şekilde öğütülmüştür. Darası alınmış temiz bir tartı kabı (porselen kapsül) içinde hassas terazide 5gram çay numunesi tartılmıştır. Tartımı yapılan porselen kapsül içerisindeki çaylar etüvde  $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ' de 6 saat bekletilmiştir. Kurutma işleminden sonra etüvden çıkarılan porselen kapsül desikatöre konularak bir müddet soğuması beklenmiştir. Daha sonra kapsül hassas terazide tartılmış ve tekrar etüvde 1 saat bekletildikten sonra desikatörde soğutulduktan sonra tartılmıştır.

Kuru madde miktarı (% m/m) =  $\frac{\text{Kurutulmuş deney numunesi (g)}}{\text{deney numunesi (g)}} \times 100$   
Belirtilen formül ile kuru madde miktarı hesaplanmıştır.

### 2.2.2. Toplam kül tayini

Toplam kül tayini TS 1564'e göre yapılmıştır. Rutubeti önceden tespit edilmiş olan öğütülmüş çay numunesinden 3 gram tartılmış ve darası alınmış krozeye koyulmuştur. Kroze fırında  $525^{\circ}\text{C}$ 'de yakılmıştır. 2 saat sonra kroze fırından çıkartılarak soğutulmuştur. Yakma işlemi sona erince desikatöre konularak soğutulmuş ve tartılmıştır.

Toplam kül miktarı (% m/m) =  $\frac{100 \times \text{Külün ağırlığı (g)}}{\text{kuru madde (g)}}$   
Belirtilen formül ile toplam kül miktarı hesaplanmıştır.

### 2.2.3. Asitte çözünmeyen kül tayini

Asitte çözünmeyen kül tayini, TS 1128 ISO 763'e göre yapılmıştır. Porselen krozedeki deney numunesine 25 ml HCl çözeltisi ilave edilmiştir. Sıçramayı önlemek için kroze bir saat camı ile kapatılarak hafif alev üzerinde 10 dakika süre ile kaynatılmış ve soğumaya bırakılmıştır. Kroze içindekiler süzgeç kâğıdından süzülüş ve sıcak damıtık su ile yıkanmıştır Yıkama işlemine kalıntı asitten arıncaya kadar devam edilmiştir. Süzgeç kâğıdı içindekilerle birlikte porselen kroze alınmıştır. Isıtıcı üzerinde bir süre ısıtılarak suyu uçurulmuştur. Kalıntı  $525^{\circ}\text{C}$  'de fırında 60 dakika süre ile yakılmıştır. Daha sonra kroze desikatörde soğutulmuş, hassas terazide tartılmıştır.

Asitte çözünmeyen kül miktarı (% m/m) =  $\frac{m_3 \times (100 / m_0)}{K} \times 100$

$m_0$  = Toplam kül tayininde kullanılan öğütülmüş numuneden alınan deney numunesi ağırlığı (gram)

$m_3$  = Asitte çözünmeyen külün ağırlığı (gram)

K = Öğütülmüş numunenin ağırlığa göre yüzde kuru madde miktarı

Belirtilen formül ile asitte çözünmeyen kül miktarı hesaplanmıştır.

### 2.2.4. Aflatoksin tayini

Aflatoksin tayini, EN 12955'e göre yapılmıştır.

### 2.2.5. Mezofilik aerobik bakteri tayini

Mezofilik aerobik bakteri tayini, TS 7703 ISO 4833'e göre yapılmıştır.

### 2.3.6. Koliform bakteri tayini

Koliform bakteri tayini, TS 7725 ISO 4831'e göre yapılmıştır.

### 2.3.7. *Escherichia coli* tayini

*Escherichia coli* tayini, TS 6063 ISO 7251'e göre yapılmıştır.

### 2.3.8. *Salmonella* spp. tayini

*Salmonella* spp. tayini, TS EN 12824'e göre yapılmıştır.

### 2.3.9. Küf tayini

Küf tayini, TS 6580'e göre yapılmıştır.

### 2.3.10. Boya maddesi tayini

Öğütülerek toz haline getirilmiş deney numunesinden yaklaşık 10 g kadar alınarak 50 mL damıtık su ilâve edilmiş 1-2 dakika kaynatılmıştır. Süzgeç kâğıdından süzülen süzüntü, içine 2-3 cm boyunda yün ipi atılan 1000 mL'lik bir behere alınmıştır. Üzerine 1 mL %10'luk KHSO<sub>4</sub> ilâve edilerek su banyosunda 1 saat bekletilmiştir. Bir saat sonra boyayı emen yün ipi önce musluk suyu ile sonra damıtık su ile iyice yıkandıktan sonra başka bir 100 mL'lik temiz behere alınmıştır. Beherdeki renkli çözelti 1 mL kalıncaya kadar buharlaştırılmıştır. Bu çözelti kromatografide kullanılacak çözeltilerdir. Kromatografi kâğıdı üzerinde tespit edilen boya numunelerinin Rf değerleri standart örneklerin Rf değerleri ile karşılaştırılarak boya maddeleri tanımlanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma sonucunda elde edilen verilen Tablo 1'de belirtilmiştir.

**Tablo 1.** İncir yaprak çayının analiz sonuçları

Kimyasal Özellikler				
	Sonuçlar	Ölçüm Belirsizliği	Geri Kazanım	Referans Değer
Kuru madde, %, (m/m)	90,6	±0,9	%97	>90
Toplam kül, %, (m/m)	14,19	±0,5	%101	<9
%10'luk hidroklorik asitte çözünmeyen kül, %, (m/m)	4,36	±0,3	%97	<2
Aflatoksinler				
B1, µg/kg	Tespit edilmedi	±0,05	%101	<2
B1+B2+G1+G2, µg/kg	Tespit edilmedi	±0,05	%102	<4
Boya maddesi	Tespit edilmedi	±0,1	%98	Bulunmamalı
Mikrobiyolojik Özellikler				
	Sonuçlar	Ölçüm Belirsizliği	Geri Kazanım	Referans Değer
Aerobik mezofilik bakteri (kob/g)	8,2 x 10 <sup>2</sup>	±%8	%103	Max 1,0 x 10 <sup>5</sup>
Koliform (kob/g)	<10	±%10	%98	95
<i>Escherichia coli</i> ( <i>E. Coli</i> ) (kob/g)	<10	±%10	%99	9
<i>Salmonella</i> spp. (kob/g)	Tespit edilmedi	±%7	%101	25 gramma bulunmayacak
Küf (kob/g)	2 x 10 <sup>2</sup>	±%8	%97	1,0 x 10 <sup>4</sup>

TS 12933 Bitkisel Çaylar Standardına göre bitki çaylarında; toplam kuru madde miktarı en az %90, toplam kül miktarı en çok %9, Aflatoksin B1 en fazla 2 µg/kg, toplam aflatoksin miktarı en çok 4 µg/kg olmalıdır. Mikrobiyolojik özelliklerine göre belirlenen referans değerleri ise, aerobik mezofilik bakteri (kob/g) en fazla 1,0 x 10<sup>5</sup>, koliform (kob/g) en fazla 95, *E. coli* (kob/g) en fazla 9, *Salmonella* spp. (kob/g) 25 g'da bulunmamalı ve Küf (kob/g) en çok 1,0 x 10<sup>4</sup> olacak şekilde tanımlanmıştır. İncir yapraklarından çay elde edilmesi sonucu bu şekilde değerlendirme yapılan çalışmalar mevcut olmadığından, çalışmamızın sonuçlarında karşılaştırma yapılamamıştır. Fakat elde edilen sonuçların TS 12933 Bitkisel Çaylar Standardına uygunluğu karşılaştırılmıştır (Tablo 1). Üretilen incir ağacı yaprakları çayı, kimyasal olarak incelendiğinde toplam kuru madde, toplam kül, asitte çözünmeyen kül, tayinlerinin analiz sonuçları sırasıyla %90.6, %14.19, %4.36 olarak belirlendi. Boyar madde ise tespit edilmedi. Toplam kül ve hidroklorik asitte çözünmeyen kül tayini dışında tüm sonuçlar TS 12933 Bitkisel Çaylar Standardına uygun bulundu. Toplam kül ve hidroklorik asitte çözünmeyen kül tayin sonuçları, standart referans değerlerinin üzerinde saptandı. TS 12933 standardında toplam kül miktarı en fazla %9, hidroklorik asitte çözünmeyen kül miktarı ise en fazla %2 istenmektedir. Türkiye'de sinameki olarak satılan bitki çayları üzerine yapılan bir araştırmada; çok daha yüksek kül ve asitte çözünmeyen kül miktarları elde edilmiştir. Toplam kül ihtivaları %7.74 ve %20.01 arasında, asitte çözünmeyen kül miktarları ise %7.22 ile %9.47 arasında değiştiği belirtilmiştir [19]. Ege bölgesinde yapılan bir çalışmada, rezene bitkisinin kül içeriği %15.33 olarak saptanmıştır [20]. Çay olarak tüketilebilecek bitkilerde, bitkinin yetiştirildiği toprağın mineral madde içeriği ile bitkilerde kullanılan gübrelemenin, toplam kül miktarına etkide bulunduğu yapılan çalışmalarda bildirilmiştir [21]. Ayrıca, çay bitkilerinde bulunan bu mineral maddeler, suda çözünmeyen ve suda çözünen olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Suda çözünen küldeki mineral maddeler çayların dem kısmına ve insan vücuduna kolaylıkla geçebilmektedir. Çayın kül içeriği, zirai mücadele ilaçlarının kullanım oranına, ham maddenin işleme şartlarına bağlı olarak da değişebilmektedir. Dolayısıyla, çaylarda yüksek kalite açısından, düşük kül miktarı istenmektedir [22]. Yaptığımız çalışmada, toplam kül ve hidroklorik asitte çözünmeyen kül miktarlarının, standart referans değerinin üzerinde bulunmasının; ağaçların yetiştiği toprağın mineral madde içeriğinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Kuru incirde yaşanan aflatoksin problemi yıllardır bilinen ve üzerine birçok araştırma yapılan bir konudur. Bazen incirde mikotoksin oluşumu ağaçta başlayabilir ve bunu takiben hasat ve depolama süresince devam edebilir [23]. Bu yüzden incir ağacı yaprakları aflatoksin içeriğinin de tayin edilmesi önemli bir konudur. Çalışmamızda, kurutulmuş ve çay haline getirilen incir ağacı yapraklarında Aflatoksin B1 ve diğer aflatoksinler tespit edilmedi. Üretilen incir ağacı yaprakları, mikrobiyolojik olarak incelendiğinde; küf miktarı 2 x 10<sup>2</sup> (kob/g), *E. coli* miktarı ve Koliform miktarı (kob/g) <10, Aerobik mezofilik bakteri (kob/g) miktarı 8,2 x 10<sup>2</sup> olarak belirlendi. *Salmonella* spp. (kob/g) ise tespit edilmedi. İncir yapraklarında Türk Standartları Enstitüsünün bitki çaylarına yönelik belirlediği mikrobiyolojik parametrelerin referans değerlerine göre analiz sonuçları sınır değerleri arasında tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Tıp alanında uzman birçok bilim insanı son yıllarda *F. carica*'ya yönelmiştir. Çünkü kimyası, besin değeri, farmakolojik kullanım alanları araştırılan *F. carica*'nın gelecekte umut verici biyo ürünlerden biri olduğu belirtilebilir. Bu konuda pek çok çalışma yürütülse de, incir ağacının kimyasal bileşimi üzerine yapılan araştırmalar devam etmektedir. Bu araştırmalar incelendiğinde, *F. carica* yapraklarının fenolik ve flavanoid bileşiklerce zengin olması, antioksidan ve antimikrobiyal maddeler içermesi nedeniyle sadece meyvesinin değil bir bütün olarak incirin faydalı model üretimlerinde iyi bir kaynak olduğu düşünülmektedir. Günümüzde sudan sonra en çok tüketilen içecekler çay ve bitki çaylarıdır. Sağlığa faydaları nedeniyle, son yıllarda bitki çaylarına artan bir ilgi söz konusudur. Çalışmamızda yapılan analiz sonuçlarına göre incir yaprak çayının, ulusal bitki çayı standardına göre değerlendirilmesi ilk kez incelenmiştir. Araştırmam sonucunda oluşan kanaat, incirin en çok üretildiği Aydın ilinde özellikle de Germencik ilçesinde, gelirinin önemli bir kısmını incirden elde eden tarımsal işletme sahiplerinin incir ağacının meyvesi dışındaki kısımlarından katma değerli ürünlerden faydalanabilmeleri ve bu ürünlerin gelişmiş kullanımlarına yönelik olarak incir ağacı yaprakları bitki çayı üretiminde değerlendirilebilir.



## Teşekkür

Bu çalışma Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından GYMYO-19001 numaralı proje ile desteklenmiştir.

## Yazarların Katkısı

Mustafa SÜRMEEN, incir yapraklarının temini ve kalitesi yönünde çalışmaları, Erdiñ VURAL ürün geliştirme için gerekli makine ekipman donanımları ve optimizasyon çalışmaları, Nergiz YÜKSEL ürünün üretim aşamalarını belirleme ve ilgili standartlara uygunluğuna yönelik analizleri planlama çalışmaları yaparak araştırmaya 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] Barolo M.I., Mostacero N.R., López SN. 2014. *Ficus carica* L. (Moraceae): An Ancient Source of Food and Health. *Food Chemistry*, 164: 119-127.
- [2] Lightbourn A.V., Soliman K.F.A., Thomas R.D. 2019. Crude Edible Fig (*Ficus carica*) Leaf Extract Prevents Diethylstilbestrol (DES)-Induced DNA Strand Breaks in Single-Cell Gel Electrophoresis (SCGE)/Comet Assay: Literature Review and Pilot Study. *Journal of Bioequivalence & Bioavailability*, 11 (1): 19-28.
- [3] Nadeem M., Zeb A. 2018. Impact of Maturity on Pphenolic Ccomposition and Antioxidant Activity of Medicinally Important Leaves of *Ficus carica* L. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 24 (5): 881-887.
- [4] Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO). 2019. İstatistikler. <http://www.fao.org/statistics/databases/en/>.( Erişim tarihi: 10.11.2019).
- [5] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). 2019. Konularına Göre İstatistikler. <https://web.tuik.gov.tr/tr/classification-categories/>. (Erişim tarihi: 08.11.2019).
- [6] Cavero R.Y., Akerreta S., Calvo M.I. 2013. Medicinal Plantsused for Dermatological Affectionsin Navarraand, Their Pharmacological Validation. *Journal of Ethnopharmacology*, 149: 533-542.
- [7] Silva Rody H.V., Gontijo D.C., Miranda Coelho V.P., Ventrella M.C., Pádua R.M., Fietto L.G., Viana Leite J.P. 2018. Mutagenic Activity and Chemical Composition of Phenolic-rich Extracts of Leaves from Two Species of Ficus Medicinal Plants. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 81 (17): 861-872.
- [8] Lianju W., Weibin J., Kai M., Zhifeng L., Yelin W. 2003. The Production and Research of Fig (*Ficus carica* L.) in China. *ISHS Acta Horticulturae* 605: II International Symposium on Fig, 28 Nisan, İspanya, 191-198.
- [9] Oliveira A.P., Silva L.R., Pinho P.G., Gil-Izquierdo A., Valentão P., Silva B.M. 2010. .Volatile Profiling of *Ficus carica* Varieties by HS-SPME and GC-IT-MS. *Food Chemistry*, 123: 548-557.
- [10] Saeed M.A., Sabir A.W. 2002. Irritant Potential of Triterpenoids from *Ficus carica* Leaves. *Fitoterapia*, 73: 417-420.
- [11] Brown P.H. 1994. Seasonal Variations in Fig (*Ficus carica* L.) Leaf Nutrient Concentrations. *Hortscience*, 29 (8): 871-873.
- [12] Mahmoudi S., Khali M., Benkhaled A., Benamirouche K., Baiti I. 2016. Phenolic and Flavonoid Contents, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Leaf Extracts from Ten Algerian *Ficus carica* L. Varieties. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 6 (3): 239-245

- [13] Rostam M.A., Salleh S., Harun A.F., Ali A.N. 2018. The Antimicrobial Activities of Fig (*Ficus carica* L.) Leaves Extract Against *Staphylococcus aureus* and *Escherechia coli*. International Journal of Allied Health Sciences, 2 (1): 273-285.
- [14] Jeong M.R., Hye-Young Kim H.Y., Cha J.D. 2009. Antimicrobial Activity of Methanol Extract from *Ficus carica* Leaves Against Oral Bacteria. Journal of Bacteriology and Virology, 39 (2): 97-102.
- [15] Badgujar S.B., Patel V.V., Bandivdekar A.H., Mahajan T.T. 2014. Traditional Uses, Phytochemistry and Pharmacology of *Ficus carica*: A Review. Pharmaceutical Biology, 52 (11): 1487-1503.
- [16] Mopuri R., Ganjavi M., Meriga B., Koorbanally N.A., Islam S. 2018. The Effects of *Ficus carica* on the Activity of Enzymes Related to Metabolic Syndrome. Journal of Food and Drug Analysis, 26: 201-210.
- [17] Zhang Y., Wan Y., Huo B., Li B., Jin Y., Hu X. 2018. Extracts and Components of *Ficus carica* Leaves Suppress Survival, Cell Cycle, and Migration of Triple-negative Breast Cancer MDA-MB-231 Cells. Onco Targets and Therapy, 11: 4377-4386.
- [18] Pérez C., Domínguez E., Canal J.R., Campillo J.E., Torres M.D. 2000. Hypoglycaemic Activity of an Aqueous Extract from *Ficus carica* (Fig Tree) Leaves in Streptozotocin Diabetic Rats. Pharmaceutical Biology, 38 (3): 181-186.
- [19] Deliorman Orhan D., Sayın E. 2016. Türkiye’de Sınameki Olarak Satılan Bitkiler Üzerinde Yapılan Kalite Kontrol Analizleri. Clinical and Experimental Health Sciences, 6 (3): 116-120.
- [20] Kaya İ., İncekara N., Nemli Y. 2004. Ege Bölgesi’nde Sebze Olarak Tüketilen Yabani Kuşkonmaz, Sirken, Yabani Hindiba, Rezene, Gelincik, Çoban Değneği ve Ebegümececinin Bazı Kimyasal Analizleri. Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi, 14 (1): 1-6.
- [21] Turan M.A., Balcı M., Taşkın M.B., Kalcıoğlu Z., Soba M.R., Müezzinoğlu N., Kaya E.C., Özer P., Kabaoğlu A., Taban S. 2016. Doğu Karadeniz Bölgesi’nde Yetiştirilen Çay Bitkisi (*Camellia sinensis* L.) Yaşlı Yapraklarının Su Ekstraktı, Toplam Kül, Toplam Polifenol, Kafein ve Ham Selüloz İçerikleri. Toprak Su Dergisi, 5 (2): 52-58.
- [22] Safi T. 2018. Çay Atıklarından Yararlanarak Çay Özütü Miktarının Arttırılması. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- [23] Şen L., Nas S. 2010. Kuru İncir, Üzüm ve Kırmızıbiberlerde Mikotoksin Varlığı. Akademik Gıda, 8 (3): 24-32.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Hazar Gölü çevresinde yaşayan Neuroptera (Insecta) faunasının saptanması

Nalan KOYUNCU<sup>1</sup>, Sadreddin TUSUN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır

<sup>2</sup>Dicle Üniversitesi, Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Diyarbakır  
(ORCID: 0000-0002-3499-2736) (ORCID: 0000-0002-0696-4244)

---

### Öz

Elâzığ ili Hazar Gölü çevresinde yaşayan Neuroptera (Insecta) faunasının belirlenmesi amacıyla, 2016-2019 yılları Nisan-Eylül ayları arasında önceden belirlenen 108 lokalitede arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma bünyesinde toplanan 296 bireyden; 5 familya 18 cins ve 23 tür tespit edilmiştir. Bu türlerin dağılımı ise: Ascalaphidae familyası, 1 cins 2 tür; Chrysopidae familyası, 4 cins 5 tür; Hemerobiidae familyası, 2 cins 2 tür; Myrmeleontidae familyası, 9 cins 11 tür ve Nemopteridae familyası, 2 cins 3 tür şeklindedir. Teşhis edilen türlerden Ascalaphidae familyasına ait *Bubopsis hamata* (Klug, 1834), *Bubopsis andromache* (U. Aspöck, H. Aspöck & H. Hölzel, 1979); Chrysopidae familyasına ait *Chrysopa dubitans* (McLachlan, 1887), *Italo-chrysa italica* (Rossi, 1790); Myrmeleontidae familyasına ait *Euroleon nostras* (Geoffroy in fourcroy, 1785), *Solter ledereri* (Navas, 1912), *Distoleon tetragrammicus* (Fabricius, 1798), *Neuroleon egenus* (Navas, 1915) ve Nemopteridae familyasına ait *Nemoptera sinuata* (Olivier, 1811), *Lertha sheppardi* (Oliver, 1904) Elâzığ ili için yeni kayıttır.

**Anahtar kelimeler:** Neuroptera, Hazar gölü, fauna, yeni kayıt, Elâzığ.

---

## Detection of Neuroptera (Insecta) fauna living around Hazar Lake

### Abstract

In order to determine of the Neuroptera (Insecta) fauna that lives around the Hazar Lake in Elazığ province, the field studies are conducted in 108 prespecified locations in April-September of 2016-2019. In this paper, 5 families, 18 genera and 23 species are identified from collected 296 specimens. The distribution of these species are; Ascalaphidae family, 1 genus - 2 species; Chrysopidae family, 4 genera - 5 species; Hemerobiidae family, 2 genera - 2 species; Myrmeleontidae family, 9 genera - 11 species, and Nemopteridae family, 2 genera - 3 species. Among the identified species, *Bubopsis hamata* (Klug, 1834), *Bubopsis andromache* (U. Aspöck, H. Aspöck & H. Hölzel, 1979) belonging to the Ascalaphidae family; *Chrysopa dubitans*, *Italo-chrysa italica* (Rossi, 1790) of the Chrysopidae family (McLachlan, 1887); *Euroleon nostras* (Geoffroy in fourcroy, 1785), *Solter ledereri* (Navas, 1912), *Distoleon tetragrammicus* (Fabricius, 1798), *Neuroleon egenus* (Navas, 1915) of Myrmeleontidae family (Geoffroy in fourcroy, 1785) and *Nemoptera sinuata* (Olivier, 1811), *Lertha sheppardi* (Oliver, 1904) of the Nemopteridae family is the new record for Elazığ province.

**Keywords:** Neuroptera, Hazar lake, fauna, new record, Elazığ.

---

### 1. Giriş

Neuroptera takımı holometabol böceklerin en eski gruplarından biridir. Bilinen en eski fosilleri, erken Perm periyoduna aittir [1]. Neuroptera ordosu üyeleri deniz seviyesinden 3000 m'ye kadar olan yüksekliklerde, genellikle kısa boylu, yabani ve kültür bitkileri ile maki ve çit bitkileri üzerinde, meyve, sebze ve çiçek bahçelerinde, şehirlerin içinde ki park ve bahçelerde, iğne yapraklı olan veya yaprağını döken çeşitli ağaç türlerinde bulunurlar. Sadece Osmylidae ve Sisyridae üyeleri kirli olmayan su civarlarındaki otsu formdaki çalılar ve ağaçlar üzerinde ayrıca menfez altlarında bulunurlar. Neuroptera

---

\*Sorumlu yazar: [sadreddin.tusun@dicle.edu.tr](mailto:sadreddin.tusun@dicle.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10.12.2019, Kabul Tarihi: 18.05.2020

ordusuna ait türler tek bir tür bitki üzerinde bulunabildiği gibi, çeşitli bitkiler üzerinde de bulunabilmektedirler [2, 3]. Neuroptera takımının üyeleri ekonomik değere sahiptir. Ergin ve larvaları, yumuşak vücutlu ve genellikle zararlı böceklerle beslenirler. Özellikle Chrysopidae, Coniopterygidae ve Hemerobiidae familyalarının bireyleri, tarım bitkileri zararlıları ve örümcekler ile beslenirler. Chrysopidae ve Myrmeleontidae familyalarına ait türlerin çoğu predatör olmakla birlikte, polenlerle beslenen türleri de vardır. Ascalaphidae türleri predatördür ve kelebek, sinek gibi böcekleri avlayarak beslenir. Çoğu türün populasyon yoğunlukları yüksektir ve predatör beslenmelerinden dolayı ekonomik önemleri oldukça fazladır [2, 4].

Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde bu takıma özgü pek çok araştırma yürütülmüştür [5-15]. Bu araştırmalar sonucunda Türkiye genelindeki bu takıma ait tür sayısı 300 civarındadır. Ancak Elâzığ ilinde Neuroptera takımına ait çalışmalar son derece sınırlı olup İlin hepsini kapsayan ve sadece Neuroptera takımını içeren çalışma tektir [16]. Bu çalışma ve diğer genel çalışmalar neticesinde İlin tür sayısı 23 civarındadır. Elâzığ iline ait Hazar Gölü çevresinde yürütülen bu araştırma neticesinde, 108 lokaliteden 296 birey toplanmıştır. Toplanan bireylerden; 5 familya 18 cins ve 23 tür tespit edilmiştir. Teşhis edilen türlerden Ascalaphidae familyasına ait *Bubopsis hamata* (Klug, 1834), *Bubopsis andromache* (U. Aspöck, H. Aspöck & H. Hölzel, 1979); Chrysopidae familyasına ait *Chrysopa dubitans* (McLachlan, 1887), *Italo-chrysa italica* (Rossi, 1790); Myrmeleontidae familyasına ait *Euroleon nostras* (Geoffroy in fourcroy, 1785), *Solter ledereri* (Navas, 1912), *Distoleon tetragrammicus* (Fabricius, 1798), *Neuroleon egenus* (Navas, 1915) ve Nemopteridae familyasına ait *Nemoptera sinuata* (Olivier, 1811), *Lertha sheppardi* (Oliver, 1904) Elâzığ ili için yeni kayıttır.

## 2. Materyal ve Metot

Araştırma alanı olarak seçilen Hazar Gölü Elâzığ'a 22 km uzakta bulunan bir tektonik göldür. Bu araştırma alanında önceden belirlenen 108 lokalitede arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Neuropter erginlerinin narın yapılı olmaları sebebiyle, örneklerin toplanması, taşınması ve müze materyali haline getirilmesi aşamalarında son derece özen gösterilmiştir. Ergin örnekleri yakalamadaki numuneleri görmek için ince organze perdelik tül den yapılmış 30-35 cm çaplı atraplar kullanılmıştır. Bazı türlerin yakalanmasında ise Robinson ışık tuzağı ve bahçe aydınlatmalarında kullanılan ışıktan yararlanılmıştır. Yakalanan ergin böceklerin dişileri yumurtlamaları için uygun ortama bırakılmıştır. Ayrıca toprakta yakalanan larvalar taşıma kutularına konularak laboratuvar ortamına taşınmıştır. Laboratuvar ortamında larvalar beslenmiş, ergin olana dek larval evreleri gözlemlenmiş ve fotoğraflanmıştır. Doktora tezleri, literatürler ve Neuroptera katalogundan yararlanılarak erginlerin teşhisi yapılmıştır [3, 11, 14, 17].



Şekil 1. Türlerin dağılımını gösteren lokasyon haritası

### 3. Bulgular ve Tartışma

**Ascalaphidae Rambur, 1842**

***Bubopsis* McLachan, 1842**

***Bubopsis hamata* Klug, 1834**

**Tablo 1.** *Bubopsis hamata*'nın çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°28'49.88"	39°31'17.55"	1285	4	6
38°28'49.31"	39°31'15.69"	1297	5	3
38°28'49.21"	39°31'15.94"	1296	-	2
38°29'7.53"	39°20'28.29"	1281	2	-
38°29'7.19"	39°20'27.74"	1278	1	3

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.



**Şekil 2.** *Bubopsis hamata*

***Bubopsis andromache* Aspöck ve ark., 1979**

**Tablo 2.** *Bubopsis andromache*'nın çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°29'50.40"	39°30'25.66"	1292	1	5
38°29'46.74"	39°30'29.02"	1315	-	2
38°29'45.82"	39°30'29.11"	1321	3	3
38°29'7.52"	39°20'27.23"	1281	-	4
38°29'7.42"	39°20'26.99"	1279	2	-

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.

**Chrysopidae Schneider, 1851**

***Chrysopa* Leach 1815**

***Chrysopa dubitans* McLachlan, 1887**

**Tablo 3.** *Chrysopa dubitans*'nın çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°29'41.01"	39°30'0.98"	1264	1	-
38°29'42.10"	39°30'1.70"	1269	-	2
38°29'38.12"	39°30'0.29"	1298	1	-

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.

***Chrysoperla Steinmann, 1964***  
***Chrysoperla carnea Stephen, 1836***

**Tablo 4.** *Chrysoperla carnea*'nin çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°26'32.24"	39°19'32.06"	467	2	-
38°26'41.33"	39°18'49.09"	389	1	-
38°26'33.10"	39°19'33.39"	894	-	1

***Dichochrysa Yang, 1991***  
***Dichochrysa flavifrons Brauer, 1850***

**Tablo 5.** *Dichochrysa flavifrons*'nin çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°29'55.19"	39°22'27.14"	1292	3	4
38°29'56.72"	39°22'30.06"	1281	2	5
38°29'56.63"	39°22'28.90"	1287	2	-
38°29'10.70"	39°28'30.12"	1313	3	2
38°29'11.30"	39°28'32.72"	1310	1	2

***Dichochrysa prasin Burmeister, 1839***

**Tablo 6.** *Dichochrysa prasina*'nin çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°27'50.28"	39°24'14.69"	1285	1	3
38°27'51.16"	39°24'15.15"	1281	-	4
38°27'50.40"	39°24'16.09"	1296	3	7
38°28'11.10"	39°25'44.12"	1393	2	2
38°29'11.75"	39°28'33.31"	1308	1	4
38°29'11.74"	39°28'35.98"	1305	-	2

***Italochrysa Principi, 1946***  
***Italochrysa italica Ross, 1790***

**Tablo 7.** *Italochrysa italica*'nin çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°29'13.51"	39°28'32.40"	1307	2	2
38°29'9.95"	39°28'29.19"	1314	1	1
38°28'13.32"	39°25'46.42"	1397	-	2
38°28'11.40"	39°25'45.51"	1397	4	-

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.

**Hemerobiidae Latreille, 1803**  
***Micromus Rambur, 1842***  
***Wesmaelius (Kimminsia) subnebulosus Stephens, 1836***

**Tablo 8.** *Wesmaelius (Kimminsia) subnebulosus*'un çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°31'20.69"	39°25'18.38"	1270	2	-
38°31'25.54"	39°25'26.65"	1273	1	3
38°31'25.12"	39°25'25.95"	1272	-	2
38°31'26.01"	39°25'2.93"	1314	-	1
38°31'24.08"	39°25'0.69"	1297	1	-
38°27'52.21"	39°24'16.82"	1285	1	1

***Symphorobius* Banks, 1904**

***Symphorobius (Symphorobius) pygmaeus* Rambur, 1842**

**Tablo 9.** *Symphorobius (Symphorobius) pygmaeus*'un çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°29'3.63"	39°28'12.21"	1323	3	4
38°29'3.53"	39°28'11.45"	1322	2	-
38°29'3.04"	39°28'13.33"	1325	1	2



Şekil 3. *Symphorobius (Symphorobius) pygmaeus*

**Myrmeleontidae Latreille, 1803**

***Palpares* Rambur, 1842**

***Palpares libelluloides* Linnaeus, 1764**

**Tablo 10.** *Palpares libelluloides*'in çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°28'49.10"	39°31'17.45"	1288	1	-
38°28'49.80"	39°31'17.91"	1283	1	-
38°28'49.66"	39°31'18.04"	1283	2	4
38°31'29.28"	39°24'58.38"	1301	3	2
38°31'28.92"	39°24'57.57"	1298	-	1
38°31'23.97"	39°25'2.18"	1300	1	-

***Euroleon* Esben-Petersen, 1918**

***Euroleon nostras* Geoffroy in fourcroy, 1785**

**Tablo 11.** *Euroleon nostras*'in çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°31'25.37"	39°25'26.39"	1273	1	-
38°31'34.91"	39°25'59.60"	1281	3	-
38°28'50.02"	39°31'17.84"	1283	-	2
38°30'17.79"	39°30'48.56"	1315	1	-
38°31'27.50"	39°29'17.14"	1294	1	2
38°31'35.01"	39°28'31.43"	1266	1	1

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.

***Myrmeleon* Linnaeus, 1767**

***Myrmeleon inconspicuus* Rambur 1842**

**Tablo 12.** *Myrmeleon inconspicuus*'un çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°31'21.58"	39°25'18.81"	1274	2	3
38°31'21.38"	39°25'18.56"	1274	1	-
38°31'21.08"	39°25'18.68"	1271	1	-
38°30'14.50"	39°30'46.60"	1321	-	1
38°30'12.92"	39°30'45.66"	1316	-	2
38°30'13.17"	39°30'43.73"	1311	-	2



**Şekil 4.** *Myrmeleon inconspicuus*

***Cueta* Navas, 1911**

***Cueta lineosa* Rambur, 1842**

**Tablo 13.** *Cueta lineosa*'nın çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°26'55.70"	39°21'18.41"	1264	1	-
38°26'31.17"	39°20'1.06"	1263	2	1
38°30'21.38"	39°23'43.53"	1305	1	-
38°30'15.97"	39°30'43.06"	1316	2	2
38°30'15.32"	39°30'47.90"	1322	1	-
38°30'19.45"	39°23'36.47"	1286	-	1
38°30'18.31"	39°23'43.72"	1284	1	-



**Şekil 5.** *Cueta lineosa*



**Solter Navas, 1902**

**Solter ledereri Navas, 1912**

**Tablo 14.** *Solter ledereri*'nin çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°26'31.27"	39°20'0.36"	1262	1	-
38°26'30.17"	39°19'54.78"	1263	-	1
38°29'56.18"	39°22'34.24"	1279	1	2
38°30'16.55"	39°23'34.83"	1277	1	2
38°30'16.39"	39°23'31.59"	1300	1	3

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.



Şekil 6. *Solter ledereri*

**Creoleon Tillyard, 1918**

**Creoleon plumbeus Olivier, 1811**

**Tablo 15.** *Creoleon plumbeus*'in çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°28'48.96"	39°31'15.76"	1298	-	4
38°28'48.92"	39°31'16.05"	1296	1	3
38°28'49.17"	39°31'15.28"	1299	2	-
38°30'33.39"	39°30'32.58"	1288	-	2



Şekil 7. *Creoleon plumbeus*

***Distoleon Banks, 1910******Distoleon tetragrammicus Fabricius, 1798*****Tablo 15.** *Distoleon tetragrammicus*'un çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°28'49.29"	39°31'16.24"	1294	1	-
38°30'34.39"	39°30'36.04"	1293	1	-
38°30'33.40"	39°30'36.56"	1300	-	2
38°29'47.02"	39°30'25.02"	1303	2	-
38°29'52.18"	39°22'27.45"	1281	3	-
38°29'54.75"	39°22'29.84"	1277	1	3

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.

***Distoleon curdicus Hölzel, 1972*****Tablo 16.** *Distoleon curdicus*'un çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°27'38.71"	39°23'36.88"	1303	1	3
38°27'40.24"	39°23'37.72"	1292	1	-
38°27'43.30"	39°23'34.01"	1272	-	4
38°27'28.74"	39°23'1.36"	1269	2	-

***Neuroleon Navas, 1909******Neuroleon egenus Navas, 1915*****Tablo 17.** *Neuroleon egenus*'un çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°28'36.00"	39°27'18.49"	1389	1	-
38°28'37.40"	39°27'18.72"	1376	-	2
38°28'37.72"	39°27'19.15"	1376	-	3
38°28'39.58"	39°27'12.69"	1327	2	2

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.

***Myrmecaelurus Costa, 1855******Myrmecaelurus trigrammus Pallas, 1771*****Tablo 18.** *Myrmecaelurus trigrammus*'un çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°28'58.12"	39°27'37.89"	1262	1	3
38°28'59.22"	39°27'36.53"	1260	2	5
38°28'58.19"	39°27'35.55"	1264	1	2

**Şekil 8.** *Myrmecaelurus trigrammus*

***Myrmecaelurus majör* McLachan, 1875**

**Tablo 19.** *Myrmecaelurus majör*'ün çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°27'30.41"	39°22'58.94"	1259	1	1
38°27'27.07"	39°22'57.75"	1275	2	-
38°27'29.19"	39°22'57.75"	1263	1	6
38°27'27.10"	39°22'55.60"	1273	-	1



**Şekil 9.** *Myrmecaelurus majör*

**Nemopteridae Burmeister, 1839**

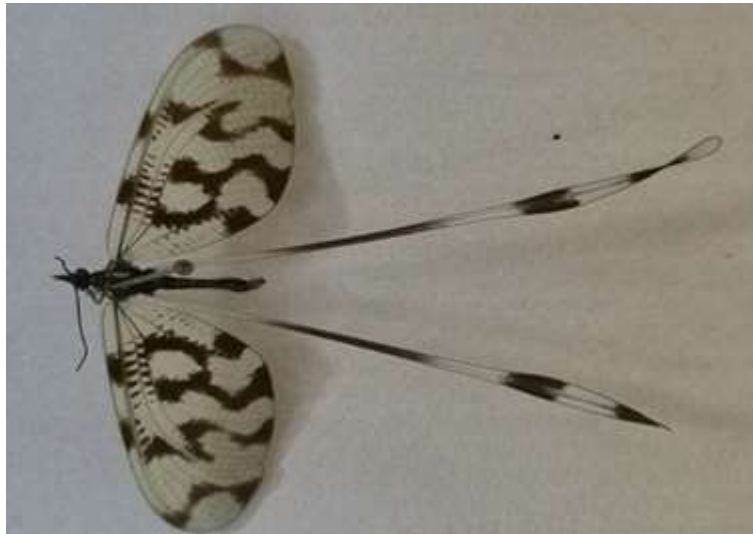
***Nemoptera* Latreille, 1802**

***Nemoptera sinuata* Olivier, 1811**

**Tablo 20.** *Nemoptera sinuata*'nın çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°26'58.40"	39°21'22.91"	1262	1	1
38°26'56.77"	39°21'21.71"	1267	1	-
38°26'55.15"	39°21'18.84"	1268	1	6
38°26'31.23"	39°20'0.74"	1262	2	-

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.



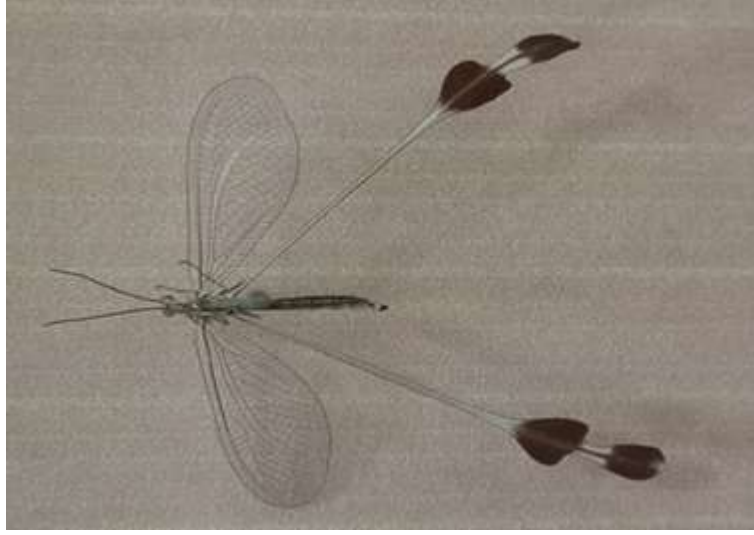
**Şekil 10.** *Nemoptera sinuata*

*Lertha Navas, 1910*

*Lertha extensa* Oliver, 1811

**Tablo 21.** *Lertha extensa*'nin çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°28'37.77"	39°27'10.81"	1346	1	1
38°28'36.15"	39°27'10.30"	1368	3	-
38°28'32.09"	39°18'14.25"	1268	-	4
38°28'31.58"	39°18'12.15"	1265	3	-



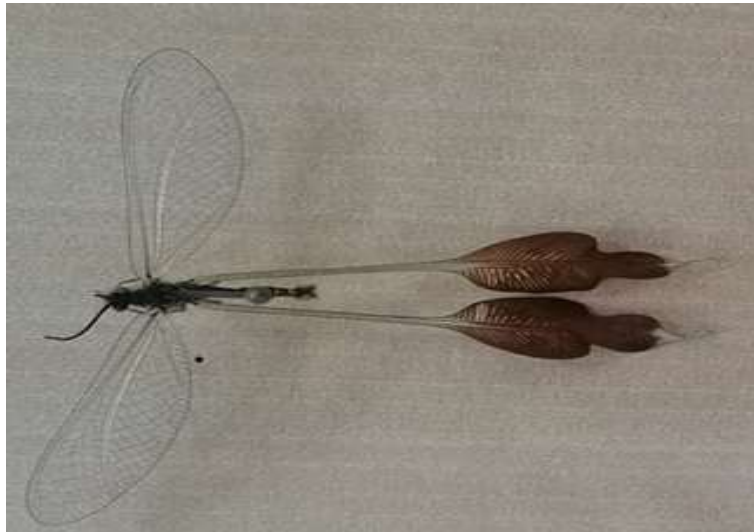
Şekil 11. *Lertha extensa*

*Lertha sheppardi* Oliver, 1904

**Tablo 22.** *Lertha sheppardi*'nin çalışma alanındaki yayılışı ve yakalanan bireyler

Kuzey	Doğu	Yükseklik(m)	Erkek	Dişi
38°27'51.81"	39°24'15.71"	1280	4	-
38°28'12.26"	39°25'47.10"	1400	1	-
38°28'12.68"	39°25'45.37"	1394	2	4
38°28'12.12"	39°25'44.71"	1393	-	1

\*Bu tür Elâzığ ili için yeni kayıttır.



Şekil 12. *Lertha sheppardi*

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Günümüze kadar yapılan çalışmalardan Özbay ve arkadaşlarının [16] yaptığı “Elâzığ ilinin Neuroptera faunasının saptanması” adlı çalışmada 7 familyaya ait 19 tür ve Arı'nın [12] Türkiye Neuroptera faunasının Cheklisti'nde ise Elâzığ iline ait 5 familyaya ait 20 tür belirlenmiştir. Bunlara ilave olarak da 10 tür bu çalışmada saptanmış olup ildeki tür sayısı 30'a yükselmiştir. Daha önceden tespit edilen Chrysopidae familyasından *Cunctochrysa albolineata* (Killington, 1935) ve *Pseudomallada clathratus* (Schneider, 1845) Hölzel tarafından [18], *Suarius nanus* (McLachlan, 1893) Şengonca tarafından [19] Elâzığ ili için kayıt edilmişlerdir. Fakat Elâzığ'da yapılan güncel kaynaklarda ve yapılan bu çalışmada bu türlere rastlanılmamıştır. Bu çalışmamızda önceden saptanan örneklerle rastlanılmama nedeni olarak çalışma bölgemiz olan Hazar Gölünün Elâzığ ilinin sadece bir bölümünü içerdiğinden ve kıyı bölgelerin turistik olarak yerleşime açılmasına bağlıyoruz. Daha kapsamlı çalışmalarla İldeki Neuroptera türü sayısının artacağı düşünülmektedir.

#### Teşekkür

Nalan KOYUNCU'nun yüksek lisans tezinin bir bölümü olan bu çalışmayı ZGEF.17.025 nolu projeye destekleyen Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğüne teşekkür ederiz.

#### Yazarların Katkısı

İlk yazar %60, ikinci yazar %40 oranında 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] Carpenter F.M. 1943. Part 9. The Orders Neuroptera, Raphidioidea, Caloneuroidea and Protorthoptera (Probnisidae), with additional Protodonata and Megasecoptera. The Lower Permian Insects of Kansas. Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences, 75: 55-84.
- [2] Aspöck H., Aspöck U., Hölzel H. 1980. Eine zusammenfassende Darstellung der Systematik, Ökologie und Chorologie der Neuropteroidea (Megaloptera, Raphidioptera, Planipennia) Europas. Die Neuropteren Europas. Goecke&Evers, 1: 1-495, 2: 1-355.
- [3] Şengonca Ç. 1980. Türkiye Chrysopidae (Neuroptera) Faunası Üzerine Sistemik ve Taksonomik Araştırmalar. I. Familyanın Genel Tanımı. Türk. Bit. Kor. Derg., 5 (2): 91-99.
- [4] Stelzl M., Devetak D. 1999. Neuroptera in agricultural ecosystems. Agriculture Ecosystems and Environment, 74: 305-321.
- [5] Gepp J. 1969. Eine neue Coniopterygiden Art aus Anatolien: *Aleuropteryx perpusilla* n. sp. (Neuroptera, Planipennia). Zeitschrift der Arbeitsgemeinschaft Österreichischer Entomologen, 21: 12-15.
- [6] Koçak A.Ö. 1976. A new subspecies of Myrmeleonidae (Neuroptera) from Turkey, Nachrichtenblatt der Bayerischen Entomologen, 25: 97-100.
- [7] Şengonca, Ç. 1979. Beitrag zur Neuropteren fauna der Türkei. Nachrichtenblatt der Bayerischen Entomologen, 28 (1): 10-15.
- [8] Onar N. 1997. Edirne Yöresi Chrysopidae (Raphidiidae; Neuroptera) faunası üzerine türlerin taksonomik ve faunistik yönden araştırılması. Türk Entomoloji Dergisi, 26 (2): 121-134.

- [9] Canbulat S. 1998. Çanakkale Planipennia (Insecta: Neuropteroidea) Türlerinin Sistemik ve Faunistik Yönünden İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [10] Arı İ., Kıyak S. 2000. New and Additional Distributional and Faunistic Data of Turkish Planipennia. Journal of Entomological Research Society, 2 (1): 9-15.
- [11] Satar A. 2002. Güney Doğu Anadolu Bölgesi (Neuroptera: Insecta) Faunasının Saptanması. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [12] Arı I. 2014. A checklist of Turkish neuropteran species (Insecta: Neuroptera) with remarks on provincial distribution in Turkey. Acta entomologica slovenica, 22 (1): 59-86.
- [13] Arı İ., Aktaş M., Kıyak S. 2007. Notes on the Chrysopidae (Neuroptera) Fauna of Ardahan, Iğdır and Kars Provinces of Turkey. Turkish Journal of Zoology, 31: 201-208.
- [14] Onar N. 2007. Trakya Bölgesi Neuroptera Faunası Üzerine Taksonomik ve Faunistik Araştırmalar. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [15] Dobosz R., Ábrahám L. 2009. Contribution to the knowledge of the Turkish tail-wings (Neuroptera: Nemopteridae). Natura Somogyiensis, 15: 113-126.
- [16] Özbay C., Satar A., Akkaya A. 2005. Neuroptera Fauna of Elâzığ Province (Turkey). Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa, 36: 302.
- [17] Aspöck H., Hölzel H., Aspöck U. 2001. Denisia 2. Kommentierter katalog der Neuropterida (Insecta: Raphidioptera, Megaloptera, Neuroptera) der Westpaläarktıs. Landes museum, 1-612.
- [18] Hölzel H. 1967. Chrysopiden aus der Mongolei. Ergebnisse der Mongolisch Deutschen Biologischen Expeditionen seit 1962, Nr. 31. Mitteilungen aus dem Zoologischen Museum in Berlin, 43: 251-260.
- [19] Şengonca Ç. 1981. Türkiye Nemopteridae (Insecta: Neuroptera) Faunası Üzerine Taksonomik Araştırmalar. II. Faunistik. Türk. Bit. Kor. Derg., 5 (2): 101-114.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Effects on mantel-haenszel chi-square statistic of scores in two-way contingency tables

Ezgi NAZMAN<sup>1\*</sup>, Hülya OLMUŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Cumhuriyet University, Faculty of Science, Department of Statistics and Computer Sciences, Sivas

<sup>2</sup>Gazi University, Faculty of Science, Department of Statistics, Teknikokullar, Ankara  
(ORCID: 0000-0003-0189-3923) (ORCID: 0000-0002-8983-708X)

---

### Abstract

Analysis of association between ordinal categorical variables has been widely studied especially in social sciences and medicine. It is known that ordinal scale has several advantages over nominal scale for researchers. Mantel-Haenszel (MH) chi-square statistic, which is known as the appropriate statistics to identify the association between ordinal categorical variables, takes into consideration the linear trend. In this study, integer, midrank, exponential, Van der Waerden, and joint scores were compared with a Monte Carlo simulation study to evaluate power of MH chi-square statistics. Although integer score has been used so far in literature, it is seen that Van der Waerden score is also preferable according to results.

**Keywords:** ordinal categorical data, score, Mantel-Haenszel chi-square statistic, test power.

---

## İki-yönlü olumsuzluk tablolarında skorların mantel-haenszel ki-kare istatistiği üzerine etkileri

---

### Öz

Sıralı kategorik değişkenler arasındaki ilişkinin analizi özellikle sosyal bilimlerde ve tıpta yaygın olarak çalışılmaktadır. Araştırmacılar için sıralama ölçeğinin sınıflama ölçeğine göre birçok avantajı olduğu bilinmektedir. Sıralı kategorik değişkenler arasındaki ilişkiyi belirlemek için uygun bir istatistik olarak bilinen Mantel-Haenszel ki-kare istatistiği doğrusal trendi dikkate almaktadır. Bu çalışmada, Mantel-Haenszel ki-kare istatistiğinin gücünü değerlendirmek için tamsayı, mid-rank, üstel, Van der Waerden ve ortak birikimli skorlar bir Monte Carlo benzetim çalışması ile karşılaştırıldı. Literatürde şimdiye kadar tamsayı skoru kullanılmasına rağmen, sonuçlara göre Van der Waerden skorunun da tercih edilebilir olduğu görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** sıralı kategorik veri, skor, Mantel-Haenszel ki-kare istatistiği, test gücü.

---

### 1. Introduction

The analysis of association between ordinal categorical data has received a considerable attention in practice; especially in social, medicine, and behavioral studies since ordinal scale has several advantages over nominal scale [1]. Assume an  $I \times J$  contingency table which has ordered row  $X$  and column  $Y$  categories. It is known that score values should be considered in the presence of ordered contingency tables. Using this ordered categories reveals more powerful test than conventional chi-square statistic. Mantel-Haenszel (MH) chi-square ( $M^2$ ) is one of the widely used statistics for categorical data analysis. However,  $M^2$  statistic is not appropriate for nominal variables.  $M^2$  test statistic is an ordinal measure of significance for linear association or linear by linear association chi-square, unlike ordinary and likelihood ratio chi-square [1]. It is preferred for testing the significance of linear relationship between two ordinal variables, since it is more powerful than Pearson chi-square and more likely to establish

---

\*Sorumlu yazar: [ezgicabuk@cumhuriyet.edu.tr](mailto:ezgicabuk@cumhuriyet.edu.tr)

Geliş Tarihi: 20.12.2019, Kabul Tarihi: 07.07.2020

linear association. If this statistic is significant, it means that an increase in a variable is associated with the increase (or decrease for negative relationship) in another [2].

An adaptive MH test for sensitivity analysis was proposed by [3]. Statistical equivalence testing approaches for MH differential item functioning analysis was studied by [4]. Extensions to the Cochran MH mean scores and correlation tests was presented by [5]. MH estimators of an assumed common odds ratio for several  $2 \times c$  tables was discussed by [6]. An approach on network meta-analysis of rare events using the MH was presented by [7]. Performances of the generalized MH and a multilevel generalized MH procedure for the detection of uniform differential item functioning were compared by [8]. Although there are several studies on MH statistic in terms of different aspects in literature, score effects on this statistic is still open to be investigated. Therefore,  $I \times J$  contingency tables were considered having ordinal categorical variables for  $M^2$  statistic considering linear trend for ordinal categorical data in this study. With this purpose, a simulation study was conducted to compare integer, midrank, exponential, Van der Waerden (normal), and joint scores to evaluate the power of  $M^2$  statistics. In addition, a real data set was studied to clarify simulation results.

**2. Mantel-haenszel (MH) chi-square ( $M^2$ ) statistic**

Pearson and likelihood chi-square statistics do not consider any ordering of the rows or columns in the  $I \times J$  contingency table. More powerful tests and more information can be obtained from the ordering data structure.  $M^2$  statistic considering linear trend has been preferred for testing the independence especially in ordinal data [1]. Correlation coefficient of this statistic is known as the appropriate statistic to detect the association between ordinal variables. Assume  $X$  and  $Y$  are ordinal variables for a contingency table. Let assign the scores for row  $u_i$  and column  $v_j$  with satisfying order which is the same order for the categories [9, 10] as follow:

$$\begin{aligned} u_1 &\leq u_2 \leq \dots \leq u_I \\ v_1 &\leq v_2 \leq \dots \leq v_J \end{aligned} \tag{1}$$

The correlation coefficient  $\rho$  between  $X$  and  $Y$  is defined as in Eq (2).

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J (u_i - \bar{u})(v_j - \bar{v}) \hat{p}_{ij}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^I (u_i - \bar{u})^2 \hat{p}_{i+}) (\sum_{j=1}^J (v_j - \bar{v})^2 \hat{p}_{+j})}} \tag{2}$$

where  $\bar{u} = \sum_{i=1}^I u_i \hat{p}_{i+}$  denotes the sample mean of the row scores,  $\bar{v} = \sum_{j=1}^J v_j \hat{p}_{+j}$  denotes the sample mean of the column scores,  $\hat{p}_{i+}$  and  $\hat{p}_{+j}$  are the marginal probabilities of rows and columns, and  $\hat{p}_{ij} = n_{ij}/N$  is the sample probability on the  $i$ th row and  $j$ th column [11, 12]. Hence, null and alternative hypotheses can be shown as below:

- $H_0$ : Two ordinal variables are independent, or equivalent ( $\rho = 0$ )
- $H_1$ : Two ordinal variables are dependent, or equivalent ( $\rho \neq 0$ )

$M^2$  statistic has components for large sample which is shown as in Eq (3).

$$M^2 = r^2(N - 1) \sim \chi_1^2 \tag{3}$$

or  $M$  can be calculated as in Eq (4).

$$M = r \sqrt{(N - 1)} \sim N(0,1) \tag{4}$$



### 3. The choice of scores

Even though several scores might be used using the  $M^2$  statistic, integer scoring is generally preferred. Actually, it is often not clear how scores should be chosen. Typically, different choices of scores lead to the same results, but different scores can lead to different results. In addition, the results might be sensitive in choice of scores when margins of the table are highly unbalanced or even if some cells have considerably larger frequencies than the others. Hence, assignment of the scores is crucial. Other widely used scores are integer (equally spaced scores), midranks, exponential, Van der Waerden, and joint scores [10, 12, 13].

#### 3.1. Integer scores

Integer scores, which are appropriate for ordinal scaled variables, usually set equal to the category order (1,2,...).

#### 3.2. Mid-ranks scores

A non-parametric approach to score selection is to consider the mid-ranks of each row (or column). The mid-ranks are calculated as in Eq (5) and Eq (6) for rows and columns, respectively.

$$R1_i = \sum_{k < i} n_{k+} + \frac{(n_{i+} + 1)}{2}, \quad i = 1, 2, \dots, I \tag{5}$$

$$C1_j = \sum_{l < j} n_{+l} + \frac{(n_{+j} + 1)}{2}, \quad j = 1, 2, \dots, J \tag{6}$$

where  $I$  and  $J$  are the total number of row and column categories.

#### 3.3. Exponential scores

Expected values of the order statistics of exponential distribution are as in Eq (7) and Eq (8), respectively. Exponential scores sum to the total number of categories.

$$R_1 = \frac{1}{I}, \quad R_2 = \frac{1}{I} + \frac{1}{I-1}, \quad R_3 = \frac{1}{I} + \frac{1}{I-1} + \frac{1}{I-2}, \quad \dots, \quad R_I = \frac{1}{I} + \frac{1}{I-1} + \frac{1}{I-2} + \dots + 1 \tag{7}$$

$$C_1 = \frac{1}{J}, \quad C_2 = \frac{1}{J} + \frac{1}{J-1}, \quad C_3 = \frac{1}{J} + \frac{1}{J-1} + \frac{1}{J-2}, \quad \dots, \quad C_J = \frac{1}{J} + \frac{1}{J-1} + \frac{1}{J-2} + \dots + 1 \tag{8}$$

#### 3.4. Van der Waerden scores

Let  $\Phi^{-1}$  denotes inverse of the standard normal cumulative distribution function . The Van der Waerden scores are defined as in Eq (9) and Eq (10), respectively. These scores are also known as normal scores in literature.

$$R_i = \Phi^{-1} \left( \frac{i}{I+1} \right), \quad i = 1, 2, \dots, I \tag{9}$$

$$C_j = \Phi^{-1} \left( \frac{j}{J+1} \right), \quad j = 1, 2, \dots, J \tag{10}$$

Van der Waerden scores sum to 0.

#### 3.5. Joint scores

Joint scores are defined as in Eq (11) and Eq (12) for rows and columns, respectively. These scores are summations of Exponential and Van der Waerden scores for each category.

$$R_{j1} = \frac{1}{I} + \Phi^{-1}\left(\frac{1}{I+1}\right), \dots, R_{jI} = \left(\frac{1}{I} + \frac{1}{I-1} + \dots + 1\right) + \Phi^{-1}\left(\frac{I}{I+1}\right), j = 1, 2, \dots, I \tag{11}$$

$$C_{i1} = \frac{1}{J} + \Phi^{-1}\left(\frac{1}{J+1}\right), \dots, C_{iJ} = \left(\frac{1}{J} + \frac{1}{J-1} + \dots + 1\right) + \Phi^{-1}\left(\frac{J}{J+1}\right), i = 1, 2, \dots, J \tag{12}$$

#### 4. Monte carlo simulation study

A Monte Carlo simulation study was conducted to explore the performance of  $M^2$  statistic for testing the independence in the  $I \times J$  ordinal contingency table. A random sample size of  $N$  was generated from a bivariate normal distribution with correlation  $\rho$  as in below:

$$X \sim N\left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & \rho \\ \rho & 1 \end{bmatrix}\right)$$

Then the random numbers were transformed into equal-interval frequency tables by dividing range by class interval for each variable. Simulation scenarios for sample size, correlation rate, dimension and nominal level are considered in Table 1.

**Table 1.** Simulation scenarios for sample size, correlation rate, dimension and nominal level

Sample sizes ( $N$ )	Correlation rates ( $\rho$ )	Dimensions ( $I \times J$ )	Nominal levels
50	0	3×3, 3×4, 3×5	0.05
100	0.10	4×4, 4×5	0.10
250	0.20	5×5, 5×6	
500	0.30		
	0.40		

Monte Carlo simulation was conducted for 5000 replications ( $S$ ) in Matlab2018R. The effect on statistic  $M^2$  of scores was examined in terms of power of the statistic. Type I error probabilities of test statistics for each correlation values in terms of sample sizes, dimensions, and nominal levels were calculated as in Table 2-6. As can be seen, Type I error probabilities were close to the nominal value in all sample sizes for each scores.

Wander Waerden, joint, and integer scores are superior according to the power of  $M^2$  statistic when there is no correlation between variables. Joint and exponential scores were superior when correlation rate was small ( $\rho = 0.10, 0.20$ ) for sample size 50 and square contingency tables. In addition, Van der Waerden and integer scores performed well for error rate 0.10 and dimension size increased. Van der Waerden and integer scores had the best performances when sample size increased in all nominal levels and contingency tables. Joint scores had good performance after Van der Waerden and integer scores for sample size were 50 and 100 when correlation rate increased.

Powers of  $M^2$  test statistic increased when sample size increased for both nominal levels and correlated cases. However, the power did not regularly increase when sample size increased for both nominal levels. In addition, powers of  $M^2$  test statistic increased when correlation rate increased as well.

**Table 2.** Powers of  $M^2$  test statistic for for  $\rho = 0$ 

$N$		50		100		250		500	
$r \times c$	Scores / $\alpha$	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10
3×3	Integer	0.0544	0.0954	0.0420	0.1020	0.0520	0.0909	0.0560	0.1060
	Mid-ranks	0.0520	0.0952	0.0418	0.1015	0.0515	0.0907	0.0500	0.0980
	Exponential	0.0514	0.0950	0.0418	0.1010	0.0510	0.0900	0.0470	0.0990
	Van der Waerden	0.0545	0.1002	0.0425	0.1080	0.0530	0.0910	0.0560	0.1060
	Joint	0.0524	0.0960	0.0423	0.1030	0.0570	0.0930	0.0520	0.1000
3×4	Integer	0.0481	0.1150	0.0571	0.1101	0.0510	0.1080	0.0610	0.1160
	Mid-ranks	0.0470	0.1110	0.0480	0.1055	0.0507	0.0910	0.0520	0.1120
	Exponential	0.0460	0.1100	0.0400	0.1050	0.0500	0.0900	0.0490	0.1070
	Van der Waerden	0.0480	0.1130	0.0560	0.1060	0.0505	0.1060	0.0480	0.1190
	Joint	0.0490	0.1140	0.0570	0.1100	0.0520	0.1000	0.0590	0.1130
3×5	Integer	0.0510	0.1010	0.0452	0.0920	0.0500	0.1120	0.0450	0.0920
	Mid-ranks	0.0450	0.0970	0.0420	0.0860	0.0490	0.1030	0.0410	0.0900
	Exponential	0.0470	0.0950	0.0410	0.0870	0.0530	0.1080	0.0415	0.0870
	Van der Waerden	0.0500	0.0960	0.0460	0.0890	0.0510	0.1080	0.0440	0.0930
	Joint	0.0480	0.1000	0.0450	0.0900	0.0540	0.1090	0.0420	0.0910
4×4	Integer	0.0500	0.0980	0.0480	0.1150	0.0650	0.0870	0.0525	0.1110
	Mid-ranks	0.0480	0.0900	0.0500	0.1100	0.0570	0.0830	0.0515	0.1100
	Exponential	0.0470	0.0920	0.0585	0.1160	0.0580	0.0840	0.0520	0.1090
	Van der Waerden	0.0523	0.0970	0.0520	0.1200	0.0640	0.0855	0.0530	0.1150
	Joint	0.0520	0.1000	0.0590	0.1170	0.0600	0.0850	0.0570	0.1160
4×5	Integer	0.0590	0.1050	0.0520	0.1058	0.0550	0.1054	0.0452	0.0996
	Mid-ranks	0.0500	0.1010	0.0500	0.1037	0.0525	0.1060	0.0449	0.0910
	Exponential	0.0515	0.1040	0.0514	0.1036	0.0530	0.1062	0.0454	0.0944
	Van der Waerden	0.0570	0.1060	0.0524	0.1068	0.0532	0.1064	0.0450	0.0982
	Joint	0.0580	0.1100	0.0506	0.1038	0.0516	0.1092	0.0492	0.0966
5×5	Integer	0.0540	0.0935	0.0460	0.1025	0.0620	0.1000	0.0565	0.1170
	Mid-ranks	0.0500	0.0900	0.0400	0.0995	0.0565	0.0925	0.0520	0.1015
	Exponential	0.0480	0.0910	0.0420	0.0970	0.0510	0.0840	0.0510	0.1010
	Van der Waerden	0.0545	0.0925	0.0470	0.1000	0.0600	0.0980	0.0545	0.1150
	Joint	0.0510	0.0920	0.0450	0.1010	0.0590	0.0950	0.0540	0.1040
5×6	Integer	0.0494	0.1028	0.0510	0.0976	0.0508	0.0962	0.0508	0.1002
	Mid-ranks	0.0436	0.1010	0.0495	0.0960	0.0502	0.0935	0.0501	0.0950
	Exponential	0.0428	0.0974	0.0494	0.0958	0.0504	0.0946	0.0484	0.0946
	Van der Waerden	0.0490	0.1046	0.0496	0.0992	0.0492	0.0948	0.0507	0.0982
	Joint	0.0442	0.1026	0.0504	0.0978	0.0496	0.0974	0.0506	0.0970

**Table 3.** Powers of  $M^2$  test statistic for  $\rho = 0.10$ 

$N$		50		100		250		500	
$r \times c$	Scores / $\alpha$	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10
3×3	Integer	0.0730	0.1260	0.1135	0.1980	0.2250	0.3210	0.3890	0.5210
	Mid-ranks	0.0700	0.1230	0.1110	0.1900	0.2220	0.3100	0.3685	0.4960
	Exponential	0.0710	0.1270	0.1090	0.1820	0.2130	0.3010	0.3440	0.4820
	Van der Waerden	0.0720	0.1220	0.1130	0.1980	0.2280	0.3215	0.3870	0.5200
	Joint	0.0740	0.1250	0.1120	0.1960	0.2260	0.3120	0.3790	0.5150
3×4	Integer	0.0905	0.1610	0.1180	0.1980	0.2410	0.3290	0.4280	0.5530
	Mid-ranks	0.0890	0.1550	0.1130	0.1820	0.2260	0.3120	0.3950	0.5240
	Exponential	0.0900	0.1560	0.1060	0.1760	0.2060	0.3030	0.3820	0.5080
	Van der Waerden	0.0810	0.1590	0.1180	0.1970	0.2400	0.3350	0.4260	0.5550
	Joint	0.0850	0.1540	0.1120	0.1840	0.2240	0.3210	0.4220	0.5420
3×5	Integer	0.0970	0.1620	0.1190	0.1970	0.2580	0.3740	0.4520	0.5900
	Mid-ranks	0.0910	0.1510	0.1100	0.1830	0.2410	0.3460	0.4070	0.5120
	Exponential	0.0960	0.1500	0.1080	0.1770	0.2330	0.3300	0.4140	0.5280
	Van der Waerden	0.0930	0.1560	0.1200	0.1980	0.2530	0.3700	0.4470	0.5940
	Joint	0.0840	0.1550	0.1070	0.1950	0.2520	0.3580	0.4400	0.5730
4×4	Integer	0.0860	0.1570	0.1680	0.2470	0.2790	0.3900	0.4700	0.5770
	Mid-ranks	0.0910	0.1530	0.1500	0.2400	0.2570	0.3650	0.4600	0.5310
	Exponential	0.0920	0.1590	0.1530	0.2330	0.2450	0.3510	0.4170	0.5400
	Van der Waerden	0.0900	0.1560	0.1630	0.2450	0.2770	0.3910	0.4680	0.5790
	Joint	0.0940	0.1540	0.1640	0.2510	0.2660	0.3720	0.4520	0.5690
4×5	Integer	0.0910	0.1680	0.1385	0.2330	0.2770	0.3980	0.4620	0.6030
	Mid-ranks	0.0905	0.1640	0.1325	0.2150	0.2450	0.3650	0.4440	0.5550
	Exponential	0.0940	0.1630	0.1270	0.2060	0.2300	0.3550	0.4080	0.5410
	Van der Waerden	0.0950	0.1690	0.1380	0.2350	0.2870	0.3940	0.4610	0.5970
	Joint	0.0920	0.1650	0.1360	0.2210	0.2650	0.3840	0.4580	0.5790
5×5	Integer	0.0930	0.1810	0.1360	0.2320	0.2660	0.3970	0.5200	0.6480
	Mid-ranks	0.0960	0.1700	0.1350	0.2230	0.2500	0.3820	0.4860	0.6030
	Exponential	0.0900	0.1930	0.1310	0.2000	0.2480	0.3590	0.4610	0.5860
	Van der Waerden	0.0980	0.1920	0.1330	0.2340	0.2710	0.3890	0.5180	0.6450
	Joint	0.0990	0.1800	0.1320	0.2250	0.2610	0.3840	0.5040	0.6340
5×6	Integer	0.1200	0.1840	0.1580	0.2620	0.2840	0.4160	0.5160	0.6260
	Mid-ranks	0.1100	0.1770	0.1550	0.2530	0.2740	0.3860	0.5030	0.5900
	Exponential	0.1040	0.1760	0.1555	0.2420	0.2550	0.3640	0.4560	0.5700
	Van der Waerden	0.1220	0.1800	0.1600	0.2600	0.2880	0.4120	0.5220	0.6200
	Joint	0.1160	0.1790	0.1560	0.2480	0.2730	0.4030	0.5050	0.6160

**Table 4.** Powers of  $M^2$  test statistic for  $\rho = 0.20$ 

$N$		50		100		250		500	
$r \times c$	Scores / $\alpha$	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10
3×3	Integer	0.1780	0.2830	0.3340	0.4640	0.6710	0.7760	0.9100	0.9530
	Mid-ranks	0.1830	0.2740	0.3150	0.4320	0.6480	0.7590	0.8860	0.9270
	Exponential	0.1810	0.2950	0.3090	0.4240	0.6110	0.7280	0.8600	0.9180
	Van der Waerden	0.1780	0.2830	0.3340	0.4640	0.6710	0.7770	0.9120	0.9520
	Joint	0.1880	0.2890	0.3300	0.4480	0.6560	0.7640	0.8950	0.9460
3×4	Integer	0.2122	0.3300	0.3642	0.5000	0.7086	0.8168	0.9364	0.9656
	Mid-ranks	0.2120	0.3130	0.3400	0.4690	0.6650	0.7890	0.9210	0.9512
	Exponential	0.2080	0.3106	0.3378	0.4590	0.6482	0.7534	0.9006	0.9460
	Van der Waerden	0.2186	0.3284	0.3628	0.5008	0.7096	0.8182	0.9370	0.9654
	Joint	0.2122	0.3260	0.3634	0.4850	0.6950	0.7992	0.9298	0.9610
3×5	Integer	0.2254	0.3422	0.4024	0.5376	0.7402	0.8314	0.9498	0.9768
	Mid-ranks	0.2150	0.3210	0.3650	0.5001	0.6890	0.8250	0.9260	0.9630
	Exponential	0.2098	0.3152	0.3530	0.4870	0.6768	0.7808	0.9146	0.9548
	Van der Waerden	0.2272	0.3374	0.4014	0.5340	0.7412	0.8316	0.9486	0.9750
	Joint	0.2208	0.3326	0.3996	0.5174	0.7220	0.8198	0.9426	0.9692
4×4	Integer	0.2530	0.3770	0.4290	0.5560	0.7750	0.8490	0.9755	0.9865
	Mid-ranks	0.2730	0.3740	0.4100	0.5130	0.7275	0.8120	0.9630	0.9830
	Exponential	0.2580	0.3810	0.3860	0.4940	0.7050	0.7900	0.9520	0.9770
	Van der Waerden	0.2470	0.3750	0.4280	0.5480	0.7700	0.8560	0.9750	0.9860
	Joint	0.2750	0.3720	0.4200	0.5320	0.7600	0.8430	0.9670	0.9850
4×5	Integer	0.2480	0.3608	0.4246	0.5510	0.7900	0.8692	0.9728	0.9870
	Mid-ranks	0.2380	0.3384	0.3968	0.5018	0.7300	0.8366	0.9502	0.9706
	Exponential	0.2360	0.3298	0.3792	0.4992	0.7188	0.8148	0.9438	0.9684
	Van der Waerden	0.2512	0.3602	0.4228	0.5494	0.7910	0.8704	0.9724	0.9868
	Joint	0.2462	0.3520	0.4172	0.5340	0.7730	0.8550	0.9644	0.9820
5×5	Integer	0.2400	0.3720	0.4380	0.5730	0.7880	0.8680	0.9870	0.9950
	Mid-ranks	0.2310	0.3360	0.4120	0.5260	0.7500	0.8470	0.9630	0.9810
	Exponential	0.2300	0.3730	0.3780	0.4960	0.7280	0.8060	0.9570	0.9750
	Van der Waerden	0.2260	0.3500	0.4320	0.5650	0.7940	0.8670	0.9850	0.9940
	Joint	0.2450	0.3530	0.4240	0.5450	0.7770	0.8500	0.9760	0.9880
5×6	Integer	0.2550	0.3668	0.4490	0.5810	0.8314	0.8974	0.9816	0.9936
	Mid-ranks	0.2410	0.3400	0.3816	0.5260	0.8006	0.8592	0.9610	0.9856
	Exponential	0.2304	0.3288	0.3732	0.4990	0.7414	0.8372	0.9604	0.9816
	Van der Waerden	0.2560	0.3708	0.4454	0.5790	0.8308	0.8844	0.9814	0.9918
	Joint	0.2460	0.3586	0.4262	0.5510	0.8040	0.8814	0.9756	0.9888

**Table 5.** Powers of  $M^2$  test statistic for  $\rho = 0.30$ 

$N$		50		100		250		500	
$r \times c$	Scores / $\alpha$	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10
3×3	Integer	0.3868	0.5136	0.6610	0.7700	0.9550	0.9860	0.9980	0.9990
	Mid-ranks	0.3778	0.5002	0.6204	0.7406	0.9360	0.9600	0.9974	0.9992
	Exponential	0.3616	0.4902	0.6134	0.7238	0.9208	0.9594	0.9972	0.9986
	Van der Waerden	0.3968	0.5134	0.6620	0.7720	0.9540	0.9760	0.9984	0.9993
	Joint	0.3824	0.5126	0.6446	0.7710	0.9466	0.9728	0.9982	0.9994
3×4	Integer	0.4444	0.5662	0.7118	0.8144	0.9712	0.9868	0.9998	0.9998
	Mid-ranks	0.4162	0.5396	0.6870	0.7845	0.9560	0.9750	0.9992	0.9996
	Exponential	0.4024	0.5282	0.6536	0.7644	0.9484	0.9734	0.9984	0.9994
	Van der Waerden	0.4456	0.5668	0.7106	0.8164	0.9704	0.9870	0.9999	0.9998
	Joint	0.4292	0.5574	0.6952	0.7984	0.9656	0.9838	0.9998	0.9998
3×5	Integer	0.4460	0.5808	0.7342	0.8294	0.9790	0.9904	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.4268	0.5568	0.7006	0.8006	0.9600	0.9800	0.9996	0.9997
	Exponential	0.4050	0.5406	0.6742	0.7768	0.9570	0.9794	0.9984	0.9994
	Van der Waerden	0.4444	0.5794	0.7362	0.8308	0.9788	0.9900	1.0000	1.0000
	Joint	0.4344	0.5684	0.7180	0.8130	0.9748	0.9888	0.9996	0.9998
4×4	Integer	0.4602	0.5948	0.7548	0.8446	0.9842	0.9918	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.4366	0.5560	0.6900	0.8250	0.9760	0.9885	1.0000	1.0000
	Exponential	0.4220	0.5480	0.6866	0.7854	0.9664	0.9830	0.9998	1.0000
	Van der Waerden	0.4632	0.5952	0.7580	0.8448	0.9840	0.9924	1.0000	1.0000
	Joint	0.4536	0.5782	0.7388	0.8304	0.9806	0.9900	1.0000	1.0000
4×5	Integer	0.4954	0.6156	0.7848	0.8608	0.9892	0.9960	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.4580	0.5896	0.7000	0.8180	0.9808	0.9900	0.9998	1.0000
	Exponential	0.4350	0.5616	0.6960	0.7996	0.9758	0.9898	0.9992	1.0000
	Van der Waerden	0.4966	0.6220	0.7828	0.8614	0.9888	0.9958	1.0000	1.0000
	Joint	0.4768	0.6096	0.7540	0.8454	0.9864	0.9952	1.0000	1.0000
5×5	Integer	0.5044	0.6300	0.7974	0.8766	0.9918	0.9964	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.4680	0.5895	0.7520	0.8326	0.9800	0.9928	1.0000	1.0000
	Exponential	0.4486	0.5724	0.7196	0.8114	0.9756	0.9906	1.0000	1.0000
	Van der Waerden	0.5018	0.6308	0.7970	0.8768	0.9910	0.9954	1.0000	1.0000
	Joint	0.4936	0.6148	0.7728	0.8558	0.9876	0.9956	1.0000	1.0000
5×6	Integer	0.4966	0.6338	0.8054	0.8824	0.9908	0.9960	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.4680	0.5730	0.7320	0.8396	0.9806	0.9902	1.0000	1.0000
	Exponential	0.4430	0.5570	0.7138	0.8116	0.9786	0.9896	1.0000	1.0000
	Van der Waerden	0.4986	0.6378	0.8052	0.8840	0.9910	0.9964	1.0000	1.0000
	Joint	0.4842	0.6042	0.7768	0.8674	0.9882	0.9944	1.0000	1.0000

**Table 6.** Powers of  $M^2$  test statistic for  $\rho = 0.40$ 

$N$		50		100		250		500	
$r \times c$	Scores / $\alpha$	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10
3×3	Integer	0.6470	0.7640	0.8980	0.9440	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.5370	0.6670	0.8150	0.8710	0.9990	1.0000	1.0000	1.0000
	Exponential	0.5800	0.7050	0.8720	0.9230	0.9970	1.0000	1.0000	1.0000
	Van der Waerden	0.6470	0.7640	0.8980	0.9440	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Joint	0.6260	0.7320	0.8930	0.9410	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3×4	Integer	0.6830	0.7904	0.9374	0.9692	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.4690	0.5876	0.7758	0.8580	0.9904	1.0000	1.0000	1.0000
	Exponential	0.6254	0.7412	0.8966	0.9452	0.9990	1.0000	1.0000	1.0000
	Van der Waerden	0.6824	0.7926	0.9372	0.9680	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Joint	0.6640	0.7752	0.9274	0.9624	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3×5	Integer	0.7026	0.8068	0.9436	0.9760	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.6654	0.7848	0.9264	0.9678	0.9994	1.0000	1.0000	1.0000
	Exponential	0.6332	0.7492	0.9008	0.9486	0.9986	1.0000	1.0000	1.0000
	Van der Waerden	0.7032	0.8084	0.9416	0.9754	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Joint	0.6800	0.7926	0.9346	0.9728	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000
4×4	Integer	0.7410	0.8330	0.9550	0.9820	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.6890	0.8000	0.9300	0.9330	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Exponential	0.6530	0.7630	0.9220	0.9580	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Van der Waerden	0.7450	0.8350	0.9550	0.9810	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Joint	0.7150	0.8250	0.9430	0.9710	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4×5	Integer	0.7542	0.8400	0.9566	0.9808	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.7206	0.8130	0.9360	0.9640	0.9692	1.0000	1.0000	1.0000
	Exponential	0.6730	0.7812	0.9254	0.9594	0.9962	1.0000	1.0000	1.0000
	Van der Waerden	0.7548	0.8418	0.9570	0.9806	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Joint	0.7326	0.8258	0.9470	0.9778	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000
5×5	Integer	0.7970	0.8840	0.9740	0.9950	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.7500	0.8230	0.9450	0.9780	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Exponential	0.7100	0.8070	0.9360	0.9660	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Van der Waerden	0.8000	0.8800	0.9770	0.9950	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Joint	0.7730	0.8600	0.9700	0.9890	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5×6	Integer	0.7818	0.8646	0.9738	0.9878	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000
	Mid-ranks	0.7006	0.8301	0.9500	0.9706	0.9966	1.0000	1.0000	1.0000
	Exponential	0.6874	0.7950	0.9370	0.9688	0.9948	1.0000	1.0000	1.0000
	Van der Waerden	0.7800	0.8678	0.9736	0.9892	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
	Joint	0.7560	0.8482	0.9650	0.9842	0.9998	1.0000	1.0000	1.0000

## 5. Real data example

Data set represents 4x4 ordinal contingency table was used for case study (Table 7). This table shows a contingency table between the smoking level status of high-density lipoprotein (HDL) cholesterol in the blood for persons [1].

**Table 7.** Sample data set

Smoking level status	Level of HDL cholesterol in the blood			
	Normal	Low normal	Borderline	Abnormal
No smoking	15	3	6	1
Less than 5 fill	8	4	7	2
Less than 10 fill	11	6	15	3
More than 10 fill	5	1	11	5

The aim is to investigate the independence between smoking level status and level of HDL cholesterol in the blood. Attained scores into the row and column categories were found as in Table 8.

**Table 8.** Attained scores into the row and column categories

Scores	row (column) categories			
Integer	1 (1)	2 (2)	3 (3)	4 (4)
Mid-ranks	13 (20)	36 (46.5)	64 (73)	92.5 (98)
Exponential	0.2500 (0.2500)	0.5833 (0.5833)	1.0833 (1.0833)	2.0833 (2.0833)
Van der Waerden	-0.8416 (-0.8416)	-0.2533 (-0.2533)	0.2533 (0.2533)	0.8416 (0.8416)
Joint	-0.5916 (-0.5916)	0.3300 (0.3300)	1.3367 (1.3367)	2.9250 (2.9250)

$M^2$  statistic results of the scores were given in Table 9.

**Table 9.**  $M^2$  statistic results of the scores

Scores	$M^2$	$p$ -value	$\rho$
Integer	10.1981	0.0014	0.3162
Mid-ranks	10.1410	0.0015	0.3153
Exponential	9.8229	0.0017	0.3103
Van der Waerden	10.2485	0.0014	0.3168
Joint	10.2401	0.0014	0.3170

According to Table 9, we reject the null hypothesis with %95 confidence level for all scores in terms of  $M^2$  statistics. In addition, integer score was so close to Van der Waerden and Joint scores in terms of  $M^2$  statistics.

## 6. Discussion and Conclusion

A common application of independence test is to assess if there are significant trends (with respect to age, educational or socioeconomic status, etc.) in the incidence or prevalence of disease. The presence or absence of the disease would define two groups and the frequencies across age bands, socioeconomic groups, educational groups, etc., would be compared. It is also used to test the association of ordinal variables with terminal events such as death in analyzing dose-response relationships. This test for trend was extended by [1] for the situation in which treatment and control units have been stratified into subgroups to eliminate possibility of confounding by one or more variables. The test result is adjusted for the strata of the potential confounder involved. This test is generally used for case-control type data and the test statistic has an approximate chi-square distribution with degrees of freedom 1. This stratified trend test is called as Mantel-Haenszel (MH) chi-square test, MH test, or extended MH test. The extended MH chi-square test is calculated that reflects the departure of a linear trend from horizontal.



Although there are several studies on MH statistic in terms of different aspects in literature, score effects on this statistic is still open to be investigated. Therefore,  $I \times J$  contingency tables are studied which have ordinal categorical variables for  $M^2$  statistic considering linear trend for ordinal categorical data in this study. It can be mentioned from the results that the power increases as the contingency table dimension and sample size increase. In general, Van der Waerden score has the highest power when sample size and  $\rho$  increase in all contingency tables. Then, integer scores has the second highest power in similar way. On the other hand, mid-rank and exponential scores have the lowest power in all scenarios of the simulation study and case study as well. Van der Waerden score is suggested instead as an alternative to integer score for ordinal categorical data to test independence.

### Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

### Statement of Research and Publication Ethics

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

### References

- [1] Mantel N., Haenszel W. 1959. Statistical Aspects of the Analysis of Data from Retrospective Studies of Disease. *Journal of the National Cancer Institute*, 22: 719-748.
- [2] Aktaş S. 2016. Power Divergence Statistics under Quasi Independence Model for Square Contingency Tables. *Sains Malaysiana*, 45 (10): 1573-1578.
- [3] Casabianca J.M., Lewis C. 2017. Statistical Equivalence Testing Approaches for Mantel–HaenszelDIF Analysis. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, DOI: 10.3102/1076998617742410.
- [4] Rayner J.C.W., Best D.J. 2018. Extensions to the Cochran–Mantel–Haenszel Mean Scores and Correlation Tests. *Journal of Statistical Theory and Practice*, DOI:10.1080/15598608.2018.1439424.
- [5] Rosenbaum P.R., Small D.S. 2016. An Adaptive Mantel–Haenszel Test for Sensitivity Analysis in Observational Studies. *Biometrics*, DOI: 10.1111/biom.12591.
- [6] Suesse T., Liu I. 2018. Mantel–Haenszel Estimators of a Common Odds Ratio for Multiple Response Data. *Statistical Methods and Applications*, DOI: 10.1007/s10260-018-0429-z.
- [7] Efthimiou O., Rücker G., Schwarzer G., Higgins J.P.T., Egger M., Salanti G. 2019. Network Meta-Analysis of Rare Events Using the Mantel-Haenszel Method. *Statistics in Medicine*, DOI: 10.1002/sim.8158.
- [8] French B.F., Finch W.H., Immekus J.C. 2019. Multilevel Generalized Mantel-Haenszel for Differential Item Functioning Detection. *Frontiers in Education*, DOI:10.3389/educ.2019.00047.
- [9] Agresti A. 2007. *An Introduction to Categorical Data Analysis*. New Jersey: Wiley.
- [10] Agresti A. 2010. *Analysis of Ordinal Categorical Data*. John Wiley&Sons, Inc. Publication.
- [11] Gong H. 2012. *Modeling and Measuring Association for Ordinal Data*. University of Regina, Faculty of Graduate Studies and Research, Reginas, Canada, 1-73.
- [12] Anderson C.J. 2017. *Statistical Inferences for Ordinal Variables in 2-way Tables*, Department of Educational Psychology. University of Illinois. <http://www.coursehero.com/file/22519849/2way-ordinal-beamer-online/>. (Access date: 16.09.2019).
- [13] Chen H.W.N. 2014. The Assignment of Scores Procedure for Ordinal Categorical Data. *Hindawi Publishing Corporation, The Scientific World Journal*. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/304213>.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Sülfodiazin, Sülfomerazin ve Sülfometazinin İyonlaşma Sabitlerinin Potansiyometrik Titrasyon Yöntemi ile Tayini**

Dilara BAŞAT DERELİ<sup>1\*</sup>, Abbase Güleren ALSANCAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Tatvan Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Teknolojileri Bölümü, Bitlis

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Isparta  
(ORCID: 0000-0003-1328-077X) (ORCID: 0000-0001-5889-1537)

---

### **Öz**

Bu çalışmada sülfonamid grubu ilaçlardan sülfodiazin, sülfomerazin ve sülfometazinin biyolojik sıvılardaki çözünürlük, lipofilisite, asitlik, transfer davranışı, reseptörlere bağlanma ve geçirgenlik gibi özellikleri hakkında kritik bilgiler elde etmemizi sağlayan iyonlaşma sabiti değerleri potansiyometrik titrasyon yöntemiyle tayin edilmiştir. Bileşiklerin suda çözünürlükleri az olması sebebiyle belirli yüzdelerde metanol-su (v/v) ikili karışımlarında 25°C'de çalışılmış ve verilerin değerlendirilmesinde PKPOT programı ile Gran metodu kullanılmıştır. Metanol-su ortamında hesaplanan iyonlaşma sabiti değerlerinden sudaki iyonlaşma sabiti değerlerine geçişte Yasuda- Shedlovsky ekstrapolasyon yöntemi kullanılmıştır. Sülfodiazin için iyonlaşma sabiti değerleri 2,915-6,936; sülfomerazin için 2,734-6,955; sülfometazin için ise 2,466-7,537 olarak bulunmuştur. İyonlaşma sabitlerinin potansiyometrik titrasyon yöntemiyle tayininden elde edilen veriler bu ilaç aktif bileşiklerle çalışan araştırmacılara bilgi kaynağı oluşturacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Sülfonamid, iyonlaşma sabiti, potansiyometrik titrasyon.

---

## **Determination of Ionization Constants of Sulfodiazine, Sulfomerazine and Sulfomethazine by Potentiometric Titration Method**

### **Abstract**

In this study, ionization constant values were determined by potentiometric titration method which provides critical information about the properties of sulfodiazine, sulfomerazine and sulfometazine from sulfonamide group drugs such as solubility, lipophilicity, acidity, transfer behavior, binding to receptors and permeability in biological fluids. Because of the low water solubility of the compounds, 40%, 50% and 60% (v/v) methanol-water binary mixtures were studied at 25 °C. Gran method and PKPOT program were used to evaluate the data obtained from these 3 different media. Yasuda-Shedlovsky extrapolation method was used in the transition from ionization constant values calculated in methanol-water media to ionization constant values in water. The ionization constant values for sulfadiazine are 2,915-6,936; 2,734-6,955 for sulfomerazine; and for sulphometazine 2,466-7,537. The data obtained from determination of ionization constants by potentiometric titration method will provide information source for researchers working with this drug active compounds.

**Keywords:** Sulfonamide, ionization constant, potentiometric titration.

---

### **1. Giriş**

Antibiyotiklerin en eski grubu olarak bilinen sülfonamidler, bakteriyel enfeksiyonlarda sistemik kullanılabilen ilk kemoterapötik ilaçlardır. İlk kez 1936 yılında prontosilin aktif metaboliti olarak sentez edilmiştir. Sülfonamidlerin kimyasal formülleri PABA (p-Aminobenzoik asit)'daki karboksil kökü yerine sülfonil kökü olması sebebiyle PABA'ya çok benzer (Şekil 1). Bu yapısal benzerlik sebebiyle PABA'nın yerine tepkimeye girerek folik asit sentezini başlangıç aşamasında bozar ve üremeyi

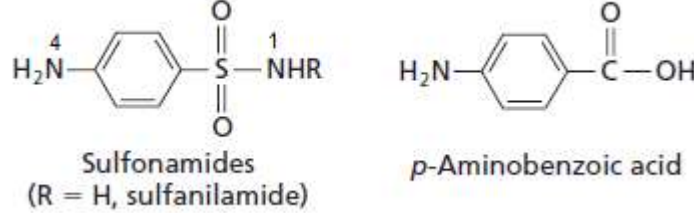
---

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

Geliş Tarihi: 24.12.2019, Kabul Tarihi: 09.04.2020

durdurarak bakteriyostatik etki gösterirler [1-3]. Sülfonamidler, geniş spektrumlu ilaçlar olduğu için gram (+) ve gram (-) mikroorganizmalara karşı yüksek aktivite göstererek uzun süre kullanılmışlardır.

Penisilin ve diğer antimikrobiyal ilaçların kullanıma sunulması ile birlikte pek çok mikroorganizmada sülfonamidlere karşı direnç gelişmiş ve kullanım alanları daralmıştır. Trimetoprim ve sülfametoksazolün 1970'li yıllarda kombine edilerek spesifik enfeksiyonların tedavisinde yeniden kullanım alanı bulmuşlardır [3,4,5]. Sülfonamidler günümüzde veteriner hekimlikte bakteriyel ve protozoal hastalıkların önlenmesinde yaygın bir şekilde kullanıldığı için bu ilaçların yan etkileri ve ilaç etkileşimleri incelenmeye devam edilmektedir.



**Şekil 1.** Sülfonamid ve PABA'nın kimyasal yapısı

İyonlaşma sabitleri ( $pK_a$ ); ilaç aktif maddelerinin asidik ve bazik özelliğini belirleyen temel fizikokimyasal parametredir. Herhangi bir bileşikle çalışmaya başlamadan önce  $pK_a$  değerinin bilinmesi deneysel yolun belirlenmesi için gereklidir. Bir bileşiğin  $pK_a$  değerinin belirlenmesi için, spektrofotometri [6-8,17], potansiyometri [9,10,17], iletkenlik [11, 12], proton manyetik rezonans spektrometresi [13], çözünürlük [14], kromatografik [6,15,16,17], voltametik [18], kalorimetrik [19], elektroforetik [20], florometrik [21], polarimetrik [22], kinetik [23], gibi çeşitli deneysel yöntemlerin yanısıra bilgisayar destekli programlar da mevcuttur [24]. Potansiyometrik titrasyon yöntemi suda çözünürlüğü az olan bileşiklerin su-organik çözücü karışımlarında yapılan iyonlaşma sabiti tayinlerinde cihazın basit ve ulaşılabilir bir düzeneğe sahip olması ve verilerin kolayca yorumlanabilmesi nedeniyle tercih edilir.

Gran metodu olarak da bilinen Gran eşitliği, güçlü bir asit kuvvetli baz titrasyonunda veya bir potansiyometrik titrasyonda denklik hacmini veya son noktasını tahmin ederek bir titrant veya titrantı standart hale getirmenin yaygın bir yoludur. Bu metotla elde edilen grafikler, cam elektrotları kalibre etmek, sulu çözeltilerin karbonat içeriğini tahmin etmek ve zayıf asitlerin ve bazların iyonlaşma sabiti değerlerini titrasyon verilerinden tahmin etmek için de kullanılmıştır [25-27].

Yasuda-Shedlovsky ekstrapolasyon yöntemi organik çözücü-su ortamında çözünebilir bileşiklerin bu ortamlardaki bir dizi çözeltilisinden ekstrapolasyon yöntemiyle sudaki iyonlaşma sabiti değerlerine geçişi sağlayan bir yöntemdir [28, 29]. Bu sebeple suda çözünmeyen bileşiklerin sudaki iyonlaşma sabiti değerlerinin belirlenmesinde tercih edilen bir yöntemdir.

Bu çalışmada sülfomerazin, sülfodiazin ve sülfometazinin iyonlaşma sabitleri su-metanol ikili karışımlarında potansiyometrik titrasyon yöntemiyle tayin edilmiştir. Potansiyometrik veriler, su organik çözücü ikili karışımlarındaki iyonik dengeleri en küçük kareler yöntemi ile inceleyen PKPOT programı [30] ve Gran metodu kullanılarak hesaplanmıştır. %40, %50 ve %60 (v/v) ortamındaki PKPOT verileri kullanılarak Yasuda Shedlosky eşitliği ile bileşiklerin sudaki  $pK_a$  değerleri bulunmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

Potansiyometrik titrasyon yöntemiyle  $pK_a$  tayini yapılan bileşikler sülfadiazin, sülfamerazin, sülfometazin, Merck (Darmstadt, Germany) firması tarafından temin edilmiştir. Baz çözeltilisinin ayarlanması ve hücre kalibrasyonu için kullanılan HCl, titrant olarak kullanılan KOH, iyonik şiddet ayarlayıcı olarak kullanılan KCl, su ile ikili karışımları halinde çalışılan metanol Merck (Darmstadt, Germany) firmasından temin edilmiştir.

Potansiyometrik titrasyonlarda pH/iyon analiz cihazı (Metleer Toledo MA 235) kullanılmış ve kombine cam elektrottan (Metler Toledo InLab 413 Ag/AgCl) yararlanılmıştır. pH ölçümleri  $25^\circ\text{C} \pm 0,1^\circ\text{C}$  sabit sıcaklıkta ve su banyosu (BM 402) kullanılarak  $\text{N}_2$  atmosferinde yapılmıştır.

## 2.2. Çözeltilerin Hazırlanması

100 mL'lik %40, %50, %60 (v/v) metanol-su ikili karışımları hazırlanarak bu karışımlara 0,1 M derişim elde edilecek miktarda KCl eklenerek, manyetik çalkalayıcı yardımıyla katının çözünmesi sağlanmıştır. Hücre kalibrasyonu için, 20 mL metanol-su ikili karışımından alınarak katı KCl (0,1 M) ilave edilmiştir. Asit çözeltisi için 1 M standart HCl (Titrisol) çözeltisi, 0,1 M'a seyreltilerek ortamın metanol yüzdesine uygun hale getirilmiştir. Baz çözeltisi için 1 M standart KOH (Titrisol) çözeltisi, 0,030 M'a seyreltilerek çalışılan metanol-su ikili karışımında titrant olarak kullanılmıştır. Çalışılan sülfodiazin, sülfomerazin ve sülfometazinin  $2.0 \times 10^{-3}$  M derişimindeki çözeltileri metanol-su karışımında hazırlanmış ve 15 mL bu çözeltilerden alınarak titre edilmiştir.

## 2.3. Metot

Potansiyometrik yöntemle çalışılan bileşiklerin iyonlaşma sabitlerinin belirlenmesinde, %40, %50 ve %60'lık metanol-su (v/v) derişimleri kullanılmıştır. Ortamların iyonik şiddetleri 0,1 M KCl kullanılarak ayarlanmıştır.  $E^\circ$  standart potansiyeli hücre kalibrasyonu yapılarak belirlenmiş ve kullanılan çözücü karışımındaki mV değerlerinden pH değerlerinin elde edilmesinde Gran eşitliği kullanılmıştır. Bunun için 0,1 M 20 mL KCl içeren metanol-su ikili karışımı 0,1 M'lık 0,1'er mL HCl çözeltisi ile toplamda 2 mL oluncaya kadar titre edilmiştir. Titrant olarak kullanılacak KOH çözeltisi derişimi, 20 mL 0,003 M asit çözeltisi ile titre edilerek ve Gran metodu kullanılarak yaklaşık 0,03 M olarak hesaplanmıştır. Gran eşitliği monoprotik zayıf asitler için eşitlik (1)'de gösterildiği gibi lineer bir fonksiyondur [25, 26].

$$[H^+] V_b = K_a \cdot V_{eq} - K_a \cdot V_b \quad (1)$$

Burada;  $V_b$  ile bazın hacmi,  $K_a$  ile asitlik sabiti,  $V_{eq}$  ile eşdeğerlik noktasındaki hacim ifade edilmektedir.  $V_b$ , Eşitlik (1)'de değişkendir ve katsayısı ise eğimdir. Eğimden  $K_a$  değeri hesaplanır.  $y = 0$  iken  $V_{eq} = V_b$  dir [27]. Bu fonksiyon x ekseninde  $\phi_{ab}$  kullanılarak da Eşitlik (2) deki gibi formüle edilebilir.

$$[H^+] \phi_{ab} = K_a - K_a \phi_{ab} \quad (2)$$

Burada;  $\phi_{ab}$  mol oranı olarak nötrale edilen asitin kesrini gösterir.  $\phi_{ab}$ ,  $V_b$  ile değişmekte ve eşdeğerlik noktasındaki değeri 1'dir. Titrasyonun başlangıcında  $\phi_{ab}=0$  olup Eşitlik (2)'den  $K_a$  değeri hesaplanır [27].

Suda çözünmeyen bileşiklerin sudaki  $pK_a$  değerinin hesaplanmasında Yasuda-Shedlovsky ekstrapolasyon yöntemi kullanılmıştır [28, 29]. Bunun için kullanılan eşitlik (3) aşağıda verilmiştir:

$${}_s pK_a + \log[H_2O] = a_\varepsilon \varepsilon^{-1} + b_\varepsilon \quad (3)$$

${}_s pK_a$ : Bulunan ortamdaki  $pK_a$  değeri

$\varepsilon$ : Su-organik çözücü ikili karışımındaki organik çözücünün dielektrik sabiti

$a_\varepsilon$ : Doğrusal eşitlikten elde edilmiş eğim değeri

$b_\varepsilon$ : Doğrusal eşitlikten elde edilmiş kesim değeri

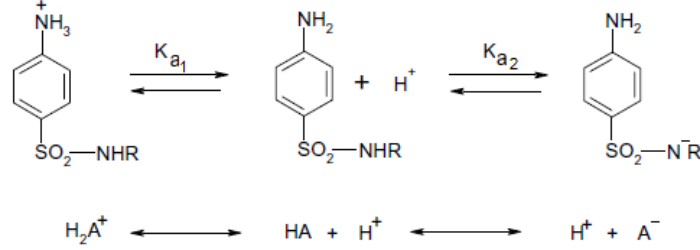
15 mL  $2,0 \times 10^{-3}$  M derişimindeki sülfonamitlerin çözeltileri alınarak ayarlı KOH çözeltisi ile titre edilmiştir. 1 M HCl ile protonlama işlemi yapılmıştır. Titrasyonlar, her bir bileşik için üç farklı ortamda  $N_2$  atmosferinde  $25^\circ C$ 'de 3 kez yapılmıştır.  $pK_a$  hesaplamalarında Gran metodu ve PKPOT programı kullanılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Sülfonamitlerde ana grubu, p-aminobenzensülfonilamid yapısı oluşturur. Sülfonamit türevleri amido grubu azotu ( $N^1$ ) ve aromatik amino grubu azotu ( $N^4$ ) üzerinden süstitüsyonlarla hazırlanır. Genellikle ilaç olarak kullanılan türevleri  $N^1$ -süstitüe türevleridir [5, 31] (Şekil 1).

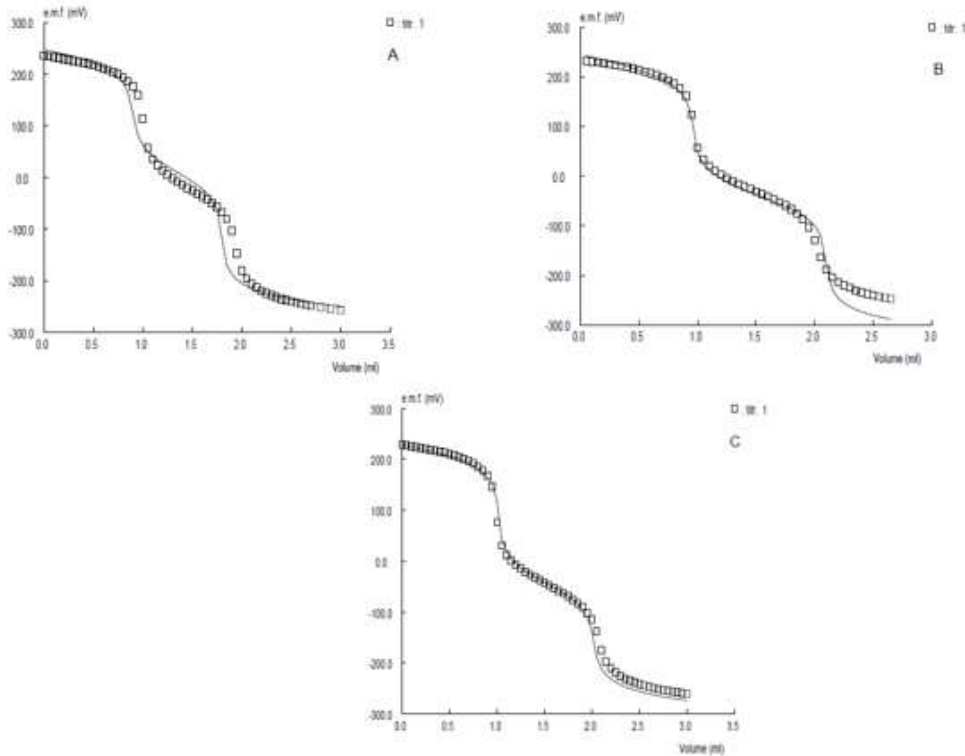
Sülfonamitler, amfoterik bileşiklerdir ve iki aşamalı iyonlaşmalar (Şekil 2).  $K_{a1}$  ile aromatik aminin ( $H_3N(+)-C_6H_4-SO_2-NH-R$ ) iyonlaşması,  $K_{a2}$  ile sülfonik ( $H_2N-C_6H_4-SO_2-NH-R$ ) asit grubunun

iyonlaşması görülmektedir [32,33]. Literatür araştırması yapıldığında sülfonamid grubu bileşiklerin  $pK_{a1}$  değerleri 2-3 ve  $pK_{a2}$  değerleri ise 5-8 arasında olduğu görülmektedir (Tablo 2). Bileşik pH 3'ten küçük olduğunda, protonlanmış yani katyonik formda; bileşik pH 3-5 aralığında nötr formda, pH 5'ten büyük olduğunda ise anyonik formdadır. Bu nötral, katyonik veya anyonik yapıların farklılığı çözünürlük, absorpsiyon gibi özelliklerinin de değişmesine sebep olur.

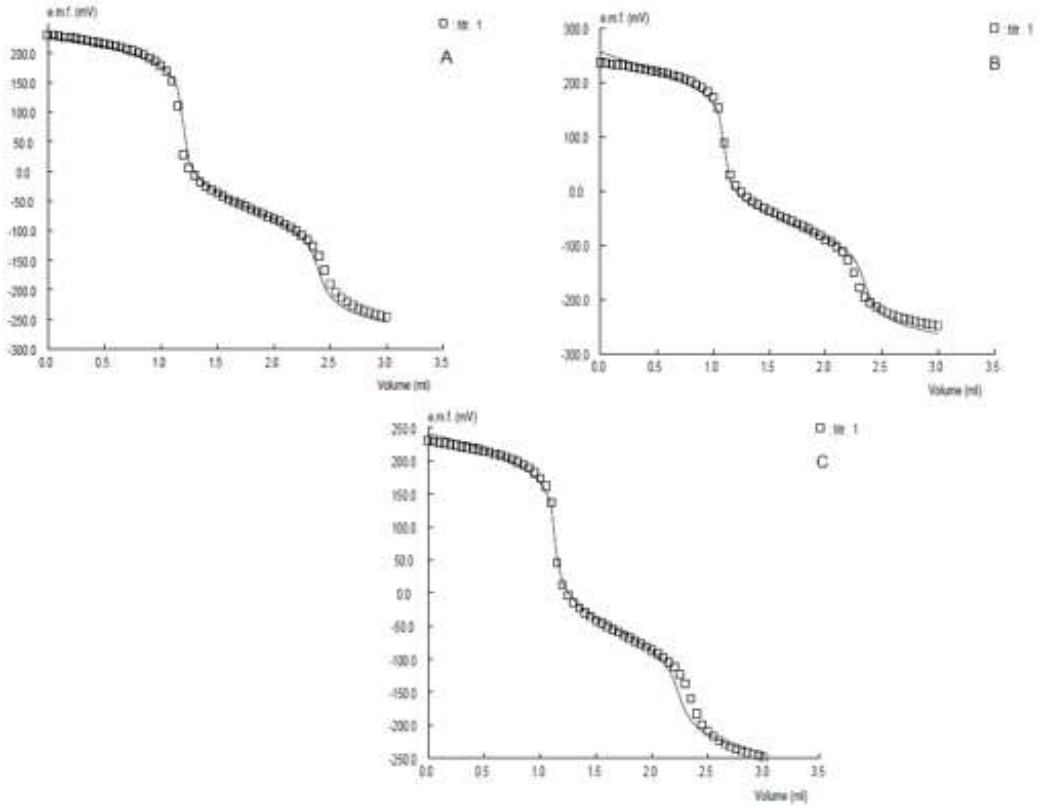


Şekil 2. Sülfonamidlerin iki aşamalı iyonlaşması

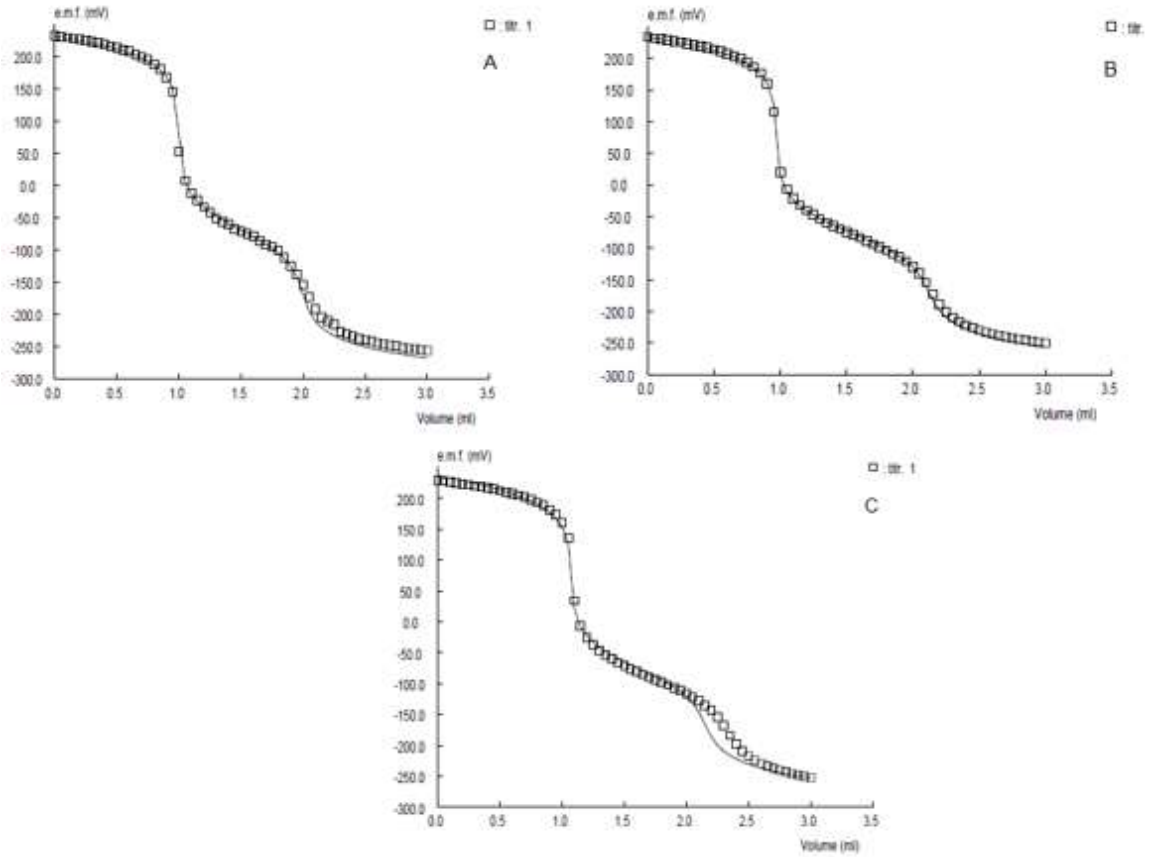
Bu çalışmada  $pK_a$  sabitleri incelenen sülfodiazin, sülfomerazin ve sülfometazin bileşikleri, %40, %50, %60(v/v) metanol-su karışımlarında  $2,0 \times 10^{-3}$  M derişiminde hazırlanmış ve  $25^\circ\text{C}$ 'de titre edilmiştir. Metanol,  $pK_a$  üzerindeki etkisi kapsamlı bir şekilde araştırılmış ve su-organik çözücü ikili karışımlarında yaygın bir şekilde tercih edilen bir çözücü olduğu için tercih edilmiştir [34, 35]. Ortamın iyonik şiddeti, KCl (0,1M) ile ayarlanmıştır. Bileşikler stokiyometrik şekilde ayarlı HCl çözeltisi ile protonlanmış ve KOH ile titrasyonu yapılmıştır. Bileşikler için 2 protonun da titre edildiğini gösteren çift dönüm noktalı titrasyon eğrileri elde edilmiştir (Şekil 3,4,5). Her bir ortamda Gran metodu ve PKPOT ile elde edilen  $pK_a$  değerleri Tablo 1' de verilmiştir. Bu ortamlarda elde edilen PKPOT verileri Yasuda Shedlosky ekstrapolasyon yöntemiyle değerlendirilmiş ve sudaki  $pK_a$  değerleri elde edilmiştir. Tablo 2'de, Sülfonamidlerin literatürde bulunabilen  $pK_a$  değerleri ve elde edilen  $pK_a$  değerleri görülmektedir.



Şekil 3. Sülfodiazinin a) %40 Metanol ortamında b) %50 Metanol ortamında c) %60 Metanol ortamında PKPOT programıyla elde edilmiş titrasyon grafiği



Şekil 4. Sülfomerazinin a) %40 Metanol ortamında b) %50 Metanol ortamında c) %60 Metanol ortamında PKPOT programıyla elde edilmiş titrasyon grafiği

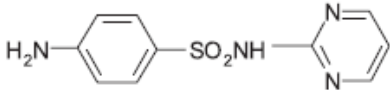
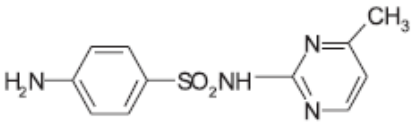
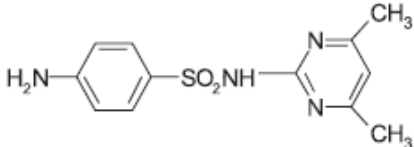


Şekil 5. Sülfometazinin a) %40 Metanol ortamında b) %50 Metanol ortamında c) %60 Metanol ortamında PKPOT programıyla elde edilmiş titrasyon grafiği

Sülfonamidler yapısal olarak incelendiğinde  $N^4$  azot atomu ve  $N^1$  azot atomuna bağlı R grubu arasındaki mesafenin uzunluğuna rağmen, R süstitüentinin sülfonamid türevlerinin  $pK_{a1}$  değerlerinde çok önemli bir rolü olduğu bilinmektedir [31]. Bu nedenle,  $N^1$  azot atomuna bağlı farklı R gruplarının  $pK_a$  üzerindeki rolü dikkate alınmalıdır.

Çalışılan bileşikler için  $N^4$  azot atomu ile ilişkili  $pK_{a1}$  değerleri anilinin sudaki ( $pK_a=4.60$ ) [36, 37] türevleriyle gözlenen değerlerle kıyaslandığında para pozisyonunda elektron çeken bir sülfon grubuna bağlı olması sebebiyle daha küçük olduğu düşünülebilir. Sülfonamidlerde bulunan  $N^1$  grubu ile ilişkili  $pK_{a2}$  değerleri sülfonilamidin sudaki ( $pK_a = 10.1$ ) [33, 38] iyonlaşma sabitinden daha küçüktür. Bunun sebebi sülfonamid grubu bileşiklerde  $N^1$  üzerinde H yerine başka heterosiklik süstitüent grupların varlığında rezonans ve indüktif etki oluşması ile açıklanabilir [31].

**Tablo 1.** Çalışılan bileşiklerin %40, 50 ve 60 v/v metanol-su ortamındaki potansiyometrik titrasyon yöntemiyle elde edilen  $pK_a$  değerleri

Bileşik	Metot	Metanol-su ortam yüzdeleri					
		(%40 v/v)		(%50 v/v)		(%60 v/v)	
		$pK_{a1}$	$pK_{a2}$	$pK_{a1}$	$pK_{a2}$	$pK_{a1}$	$pK_{a2}$
 Sülfodiazin	Gran	2.90 $\pm 0,056$	6.70 $\pm 0,000$	2.85 $\pm 0,038$	6.80 $\pm 0,173$	2.80 $\pm 0,046$	7.00 $\pm 0,000$
	PKPOT	2.97 $\pm 0,059$	7.09 $\pm 0,025$	2.99 $\pm 0,119$	7.15 $\pm 0,055$	3.01 $\pm 0,031$	7.21 $\pm 0,021$
 Sülfomerazin	Gran	2.90 $\pm 0,017$	7.08 $\pm 0,029$	2.85 $\pm 0,000$	7.10 $\pm 0,000$	2.72 $\pm 0,000$	7.07 $\pm 0,029$
	PKPOT	2.90 $\pm 0,105$	7.53 $\pm 0,074$	2.94 $\pm 0,097$	7.76 $\pm 0,101$	3.02 $\pm 0,020$	7.99 $\pm 0,006$
 Sülfometazin	Gran	2.89 $\pm 0,000$	7.63 $\pm 0,098$	3.07 $\pm 0,040$	7.85 $\pm 0,000$	2.94 $\pm 0,012$	7.71 $\pm 0,000$
	PKPOT	2.81 $\pm 0,122$	7.70 $\pm 0,061$	3.00 $\pm 0,032$	8.02 $\pm 0,101$	3.21 $\pm 0,010$	8.34 $\pm 0,142$

Protonlanmış sülfodiazin yapısında  $pK_{a1}$  anilinyum protonuna,  $pK_{a2}$  ise pirimidin halkasındaki protona aittir. Protonlanmış sülfomerazin yapısında metil grubuna yakın veya uzak olan N üzerinden protonlanarak çift yüklü iyon halinde olduğu ve  $pK_{a1}$  anilinyum protonuna,  $pK_{a2}$  ise yapıya giren metil grubundan kaynaklı olarak sülfodiazinden daha zayıf davrandığı gözlenmiştir. Benzer şekilde sülfometazinin  $pK_{a2}$  değerindeki zayıflama da, yapıya giren ikinci metil grubundan kaynaklanmaktadır.

Çalışılan her bir ortamda farklı  $pK_a$  değerlerinin elde edilmesi su- organik çözücü karışımlarının kullanıldığı durumlarda spesifik çözücü-çözünen etkileşimleri sonucu elektrostatik etkileşimlerin değişmesi olarak açıklanabilir. İkili karışımların olduğu bu ortamlarda, bu ikili karışımların yapısal özelliklerine ilişkin tercihli bir çözülme olayı mevcuttur. Metanol-su karışımlarında tercih edilen çözme, tercih edilen çözücü su olduğunda beklenenden daha düşük  $K_a$  değerleri üretir. Ayrıca çözücünün çözme yeteneğinin ve dielektrik sabitinin ayrışma reaksiyonlarında önemli bir rol oynadığı gösterilmiştir [44]. sülfomerazinin, sülfodiazinin ve sülfometazinin  $pK_{a1}$  ve  $pK_{a2}$  değerleri metanol ortamında artmıştır. Bunun sebebi metanol ilavesiyle çözücünün dielektrik sabitinin azalmasıdır.

Su ortamında sülfonamidlere ait  $pK_a$  değerleri ile ilgili çeşitli yayınlar olmasına rağmen, [31, 32, 39-42] yapılan literatür taramasında metanol - su ikili karışımlarındaki  $pK_a$  değerleri hakkında veriye rastlanmamıştır.  $pK_a$  değerleri ile metanol-su karışımlarına ait solvatokromik parametreler arasında ilişkiler, bu bileşiklerin herhangi bir metanol-su ikili karışımındaki  $pK_a$  değerlerinin hesaplanmasını mümkün kılmaktadır. Ayrıca bu çalışma ile elde edilen  $pK_a$  değerleri bilgisi, analitik metodu geliştirmeye yardımcı olacak ve bu bileşiklerin asidik bazik davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır.

**Tablo 2.** Sülfonamitlerin literatürde bulunabilen pK<sub>a</sub> değerleri ve Yasuda Shedlosky ekstrapolasyon yöntemiyle elde edilen pK<sub>a</sub> değerleri

Bileşik	Literatür değerleri		Ekstrapolasyonla bulunan değerler	
	pK <sub>a1</sub>	pK <sub>a2</sub>	pK <sub>a1</sub>	pK <sub>a2</sub>
Sülfodiazin	2.10	6.28 <sup>32</sup>	2.915	6.936
	-	6.57 <sup>31</sup>		
Sülfomerazin	2.22±0.01	6.80±0.01 <sup>39</sup>	2.734	6.955
	2.17	6.77 <sup>32</sup>		
	2.06±0.3	6.90±0.05 <sup>40</sup>		
	2.17	6.77 <sup>41</sup>		
	2.3	7.0 <sup>42</sup>		
-	7.14 <sup>31</sup>			
Sülfomehazin	2.37±0.01	7.49±0.01 <sup>39</sup>	2.304	6.902
	2.28	7.42 <sup>32</sup>		
	2.07±0.30	7.49±0.13 <sup>40</sup>		
	2.28	7.42 <sup>41</sup>		
	2.4	7.4 <sup>42</sup>		
	-	7.31 <sup>31</sup>		
-	7.65 <sup>41</sup>			

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Potansiyometri yöntemi, iyonlaşma sabitlerinin tayininde su-organik çözücü karışımlarında çalışıldığında hem kullanımındaki kolaylıklar nedeniyle hem de yeterli doğruluk ve kesinlik sağlaması sebebiyle tercih edilen bir yöntemdir. Bu çalışmada çalışılan sülfonamitlerin (sülfodiazin, sülfomerazin ve sülfometazinin) pK<sub>a1</sub> ve pK<sub>a2</sub> değerlerinin tespiti ile bu ilaçların absorpsiyon özellikleri ve bileşiklerin hedef yapısındaki yapısal gruplar daha iyi aydınlatılmıştır. Sülfonamitler genel olarak yapılarındaki R grubunun etkisinde pK<sub>a</sub> değerleri değişmektedir. Ayrıca sonuçlar, sülfonamitlerin pK<sub>a</sub> değerlerinin, çözeltilere eklenen organik çözücü yüzdelerinden etkilendiğini göstermektedir. Bu ilaçların pK<sub>a</sub> değerlerinin bilinmesiyle ilaç formülasyonlarında yapısal özellik, ilaç etken maddesi tasarımı, biyolojik aktiflik konularının yanısıra ilaçların analizlerinde metod geliştirme alanında çalışan araştırmacılara önemli bir kaynak olacaktır.

#### Teşekkür

Bu çalışma Yüksek Lisans Tez Projesi olarak, Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından YL-1060 numaralı proje olarak desteklenmiştir. Süleyman Demirel Üniversitesi Araştırma Projeleri Yönetim birimine teşekkür ederim.

#### Yazarların Katkısı

Dilara BAŞAT DERELİ, bu çalışmada deneyleri yaparak veri değerlendirmesinde katkı sağlamıştır. Abbase Güleren ALSANCAK, Yüksek Lisans Tez danışmanlığı yaparak projeyi planlamış ve verilerin değerlendirilmesinde 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] Kishore D., Pareek A. 2013. A short review on sulphonamides. *International journal of pharma and bio sciences*, 4: 812-820.
- [2] Gomes J.R.B., Gomes P. 2005. Gas-phase acidity of sulfonamides: implications for reactivity and prodrug design. *Tetrahedron*, 61: 2705-2712.
- [3] Özalp E.A.D. 2002. *Farmakoloji. Nobel Tıp Kitabevleri*, İstanbul, 1-804.
- [4] Yousef F., Mansour O., Herbali J. 2018. Sulfonamides: Historical Discovery Development (Structure-Activity Relationship Notes). *In-vitro In-vivo In-silico Journal*, 1 (1): 1-15.
- [5] Dragostin O.M.P, Lapuşcu F.G, Pânzariu A, Vasincu I.G, Profire L. 2013. Importance of Sulfonamide Moiety in Current and Future Therapy. *Revista medico-chirurgicala a Societatii de Medici si Naturalisti din Iasi*, 117 (2): 558-564.
- [6] Demiralay E.Ç., Basat D., Canbay H.S., Alsancak G., Uslu B. 2012. Determination of pK<sub>a</sub> values of opiipramol in acetonitrile-water binary mixtures by using chromatographic and spectrophotometric Methods. *Global Journal of Analytical Chemistry*, 3 (11): 1-9.
- [7] Rossotti J.C., Rossotti H. 1961. *The Determination of Stability Constants*. McGraw-Hill, New York, 1-425.
- [8] Paul W.W., Lois E.W. 1966. Spectrophotometric determination of the acid dissociation constants of 3-hydroxypyridine. *Analytical Biochemistry*, 15 (3): 421-425.
- [9] Demiralay E.Ç., Yılmaz H. 2012. Potentiometric pK<sub>a</sub> Determination of Piroxicam and Tenoxicam in Acetonitrile-Water Binary Mixtures. *SDU Journal of Science*, 7 (1): 34-44.
- [10] Benet L.Z., Goyan J.E. 1967. Potentiometric determination of dissociation constants. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 56 (6): 665-680.
- [11] Sixma F.L.J., Wynberg H. 1964. *A Manual of Physical Methods in Organic Chemistry*. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1-342.
- [12] Kroflic A., Apelblat A., Bešter-Rogac M. 2012. Dissociation constants of parabens and limiting conductances of their ions in water. *The Journal of Physical Chemistry B*, 116 (4): 1385-1392.
- [13] Rabenstein D.L., Sayer T.L. 1976. Determination of microscopic acid dissociation constants by nuclear magnetic resonance spectrometry. *Analytical Chemistry*, 48 (8): 1141-1146.
- [14] Zimmerman I. 1982. Determination of pK<sub>a</sub> values from solubility data. *International Journal of Pharmaceutics*, 13 (1): 57-65.
- [15] Horvath C., Melander W., Molnár I. 1977. Liquid chromatography of ionogenic substances with nonpolar stationary phases (Solvophobic Theory of Reversed Phase Chromatography, Part II). *Analytical Chemistry*, 49 (1): 142-154.
- [16] Demiralay E.Ç., Alsancak G., Ozkan S.A. 2009. Determination of pK<sub>a</sub> values of nonsteroidal antiinflammatory drug-oxicams by RP-HPLC and their analysis in pharmaceutical dosage forms. *Journal of Separation Science*, 32 (17): 2928-2936.
- [17] Beltran J.L., Sanli N., Fonrodona G., Barron D., Özkan A.G., Barbosa J. 2003. Spectrophotometric potentiometric and chromatographic pK<sub>a</sub> values of polyphenolic substances in water and acetonitrile water media. *Analytica Chimica Acta*, 484 (2): 253-264.
- [18] Chung T.D., Kim H. 2001. Voltammetric determination of the pK<sub>a</sub> of various acids in polar aprotic solvents using 1,4-benzoquinone. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 498 (1-2): 209-215.
- [19] Tajc S.G., Tolbert B.S., Basavappa R., Mille B.L. 2004. Direct determination of thiol pK<sub>a</sub> by isothermal titration microcalorimetry. *Journal of the American Chemical Society*, 126 (34): 10508-10509.
- [20] Fuguet E., Ràfols C., Bosch E., Roses M. 2009. Fast highthroughput method for the determination of acidity constants by capillary electrophoresis. *Journal of Chromatography A*, 1216 (17): 3646-3651.
- [21] Rosenberg L.S., Simons J., Schulman S.G. 1979. Determination of pK<sub>a</sub> values of N-heterocyclic bases by fluorescence spectrophotometry. *Talanta*, 26 (9): 867-871.
- [22] Katzin L.I., Gulyas E. 1960. Dissociation constants of tartaric acid with the aid of polarimetry. *Journal of Physical Chemistry*, 64 (11): 1739-1741.
- [23] Bunnett J.F., Nudelman N.S. 1969. Independent, Kinetic Method for Determining Acid Dissociation Constants in Methanol. *Journal of Organic Chemistry*, 34 (7): 2043-2046.

- [24] Tehan B.G., Lloyd E.J., Wong M.G., Pitt W.R., Montana J.G. 2002. Estimation of  $pK_a$  using semi empirical molecular orbital methods. Part 1: Application to phenols and carboxylic acids, *QSAR*, 21 (5): 457-472.
- [25] Gran G. 1952. Determination of the equivalence points in potentiometric titrations. Part II, *Analyst*, 77: 661-671.
- [26] Gran G. 1988. Equivalence volumes in potentiometric titrations. *Analytica Chimica Acta*, 206: 111-123.
- [27] Levie R. 1997. Principles of quantitative chemical analysis. McGraw-Hill College Press, Singapore, 1-737.
- [28] Yasuda M. 1959. Dissociation constants of some carboxylic acids in mixed aqueous solvents. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, 32: 429-432.
- [29] Shedlovsky T. 1962. Electrolytes. Edited by Pesce B., Pergamon Press, New York, 1-455.
- [30] Barbosa J., Barrón D., Beltrán J.L., Nebot V.S. 1995. PKPOT, a program for the potentiometric study of ionic equilibria in aqueous and non-aqueous media. *Analytica Chimica Acta*, 317: 75-81.
- [31] Sanli N., Sanli S., Özkan G., Denizli A. 2010. Determination of  $pK_a$  Values of Some Sulfonamides by LC and LC-PDA Methods in Acetonitrile-Water Binary Mixtures. *The Journal of the Brazilian Chemical Society*, 21 (10): 1952-1960.
- [32] Lin C.E., Chang C.C., Lin W.C.J. 1997. Migration behavior and separation of sulfonamides in capillary zone electrophoresis III. Citrate buffer as a background electrolyte. *Journal of Chromatography A*, 768: 105-112.
- [33] Babić S., Horvat A.J.M., Pavlović D.M., Macan M.K. 2007. Determination of  $pK_a$  values of active pharmaceutical ingredients. *Trends in Analytical Chemistry*, 26 (11): 1043-1061.
- [34] Benet L.Z., Goyan J.E. 1967. Potentiometric determination of dissociation constants. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 56: 665-680.
- [35] Albert A., Serjeant E.P. 1984. The Determination of Ionization Constants. Chapman and Hall Press, London, 1-216.
- [36] Altun Y. 2004. Study of Solvent Composition Effects on the Protonation Equilibria of Various Anilines by Multiple Linear Regression and Factor Analysis Applied to the Correlation Between Protonation Constants and Solvatochromic Parameters in Ethanol-Water Mixed Solvents. *Journal of Solution Chemistry*, 33 (5): 479-497.
- [37] Polster J., Lachmann H. 1989. Spectrometric Titrations: Analysis of Chemical Equilibria. VCH Weinheim Press, New York, 1-433.
- [38] Maren T.H., Conroy C.W. 1993. A New Class of Carbonic Anhydrase Inhibitor. *The Journal of Biological Chemistry*, 268 (35): 26233-26239.
- [39] Völgyi G., Ruiz R., Box K., Comer J., Bosch E., Takács-Novák K. 2007. Potentiometric and spectrophotometric  $pK_a$  determination of water-insoluble compounds: validation study in a new cosolvent system. *Anal. Chim. Acta*, 583 (2): 418-428.
- [40] Qiang Z., Adams C. 2004. Potentiometric determination of acid dissociation constants ( $pK_a$ ) for human and veterinary antibiotics. *Water Res.*, 38 (12): 2874-2890.
- [41] Lin C.E., Chang C.C., Lin W.C. 1997. Migration behavior and separation of sulfonamides in capillary zone electrophoresis II. Positively charged species at low Ph. *Journal of Chromatography A*, 759 (1-2): 203-209.
- [42] Ricci M.C., Cross R.F. 1993. Capillary electrophoresis separation of sulphonamides and dihydrofolate reductase inhibitors. *J. Microcol. Sep.*, 5: 207-215.
- [43] Maren T.H., Conroy C.W.J. 1993. A new class of carbonic anhydrase inhibitor. *Biol. Chem.*, 268, 26233.
- [44] Guttman V. 1960. Coordination Chemistry in Nonaqueous Solutions. Springer Press, New York, 1-174.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Conformable Kesirsel Mertebeden Tam Değer Fonksiyonlu Lojistik Modelin Kararlılık ve Çatallanma Analizi

Güven KAYA<sup>1\*</sup>, Şenol KARTAL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, Bingöl

<sup>2</sup>Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Neşehir  
(ORCID:0000-0003-0411-5633) (ORCID: 0000-0003-1205-069X)

---

### Öz

Bu çalışmada, conformable kesirsel mertebeden tam değer fonksiyonlu lojistik model ele alınmıştır. Modele tam değer fonksiyonlarının kullanılmasına dayalı bir ayrıklaştırma işlemi uygulanarak bir fark denklem sistemi elde edilmiştir. Elde edilen bu fark denklem sisteminin pozitif denge noktasının yerel asimptotik kararlı olmasını sağlayan cebirsel koşullar Schur-Cohn kriterlerinin kullanılmasıyla elde edilmiştir. Yine çatallanma analizi ile sistemde  $r$  parametresinin değişimine bağlı olarak Neimark-Sacker çatallanmasının oluştuğu gösterilmiştir. Ayrıca kesirsel mertebeden türev parametresi ( $\alpha$ ) ve kesikleştirme parametresi ( $h$ ) nin sistemin dinamik yapısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen tüm teorik sonuçlar nümerik simülasyonlarla desteklenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Conformable kesirli mertebeden türev, tam değer fonksiyonu, kararlılık, Neimark-Sacker çatallanma.

---

## Stability and Bifurcation Analysis of a Conformable Fractional Order Logistic Model with Piecewise Constant Arguments

### Abstract

In this study, a conformable fractional order logistic model with piecewise constant arguments is considered. A discrete system is obtained by applying a discretization process to the model based on the use of piecewise constant arguments. By using the Schur-Cohn criterion, necessary and sufficient condition is obtained for asymptotic stability of a positive equilibrium point of the discrete system. Moreover, bifurcation analysis shows that Neimark-Sacker bifurcation occurs due to the change of parameter  $r$  in the system. In addition, effect of fractional order parameter ( $\alpha$ ) and discretization parameter ( $h$ ) on the dynamic structure of the system are investigated. Finally, all theoretical results are supported by numerical simulations.

**Keywords:** Conformable fractional derivative, Piecewise constant arguments, Stability, Neimark-Sacker bifurcation.

---

### 1. Giriş

Kesirli analiz, klasik diferansiyelin ve integrasyonun keyfi mertebeye (tamsayı olmayan duruma) genelleştirilmesidir. Kesirli integral ve türevin; Riemann-Liouville kesirli integrasyon ve türev, Caputo kesirli türev, Grünwald-Letnikov kesirli türev gibi birçok tanımı vardır.

$\alpha \in (0,1)$  mertebeli Riemann-Liouville kesirli türevi

$$\frac{d^\alpha}{dt^\alpha} f(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \frac{d}{dt} \int_0^t (t-s)^{-\alpha} f(s) ds,$$

şeklinde tanımlanmıştır [1]. Standart başlangıç koşullarına sahip kesirli başlangıç değer problemlerinin olası çözümlerini elde etmek amacıyla Riemann-Liouville kesirli türevi yeniden yorumlanarak

---

\*Sorumlu yazar: [vkaya@bingol.edu.tr](mailto:vkaya@bingol.edu.tr)

Geliş Tarihi: 26.12.2019, Kabul Tarihi: 04.06.2020

$$D^\alpha f(t) = \frac{1}{\Gamma(1-\alpha)} \int_0^t \frac{f^{(m)}(\tau)}{(t-\tau)^{\alpha+1-m}} d\tau,$$

şeklinde Caputo kesirli türev tanımı türetilmiştir [1]. Bu nedenle günümüzde uygulamalı bilimciler tarafından en çok rağbet edilen tanım Caputo kesirli türevidir [2].

2014 yılında Khalil ve arkadaşları [3] tarafından “conformable kesirli türev” adı altında yeni bir kesirli türev tanımı ortaya atılmıştır. Daha sonra 2015 de Abdeljawad [4] tarafından sol/sağ conformable kesirli türev tanımlanmıştır. Bu tanıma göre  $\alpha \in (0,1]$  olmak üzere  $f: [a, \infty) \rightarrow \mathbb{R}$  fonksiyonunun sol conformable kesirli türevi

$$({}_a^{\alpha}Tf)(t) = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t + \varepsilon(t-a)^{1-\alpha}) - f(t)}{\varepsilon},$$

şeklinde ve sağ conformable kesirli türev ise

$$({}_b^{\alpha}Tf)(t) = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{f(t + \varepsilon(b-t)^{1-\alpha}) - f(t)}{\varepsilon},$$

olarak tanımlanır. Dikkat edelim ki eğer  $f$  diferansiyellenebilir ise o halde

$$({}_a^{\alpha}Tf)(t) = (t-a)^{1-\alpha} f'(t) \text{ ve } ({}_b^{\alpha}Tf)(t) = (b-t)^{1-\alpha} f'(t) \quad (1)$$

dir. Ayrıca literatürde bu türevin pekçok biyolojik ve fiziksel uygulamaları bulunmaktadır [5-8].

Son dönemlerde kesirli mertebeli diferansiyel denklemler araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Birçok araştırmacı kesirli mertebeli adi diferansiyel denklemler ile oluşturulmuş matematiksel modellerin klasik tamsayı mertebeli diferansiyel denklemlerle oluşturulan modellere göre daha başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir [8-19]. Kesirli mertebeli diferansiyel denklemlerin kullanılmasında iki ana neden vardır. Bunlar birçok biyolojik olayda var olan sistem hafıza etkisi ve kalıtsal özelliklerinin bu denklemler vasıtası ile tanımlanabiliyor olmasıdır. Bugün kesirli mertebeli diferansiyel denklemler akışkanlar dinamiği, mekanik, biyoloji, fizik, epidemoloji ve mühendislik gibi birçok alanda uygulamaya sahiptir [20-26]. Araştırmacılar tüm fiziksel olayların kesirli mertebeli diferansiyel denklemlerden oluştuğunu ve kesirli mertebeli diferansiyel denklemlerin tamsayı mertebeli diferansiyel denklemlerin genelleştirilmiş hali olduğunu göstermişlerdir [26].

Lineer olmayan kesirli mertebeli diferansiyel denklemlerin birçoğu analitik çözüme sahip değildir. Bu nedenle Adomain decomposition metot [27], homotopi pertürbasyon metot [28], homotopi analiz metot [29], varyasyonel iterasyon metot [30], Adams Type predictor–corrector metot [31], Piecewise Constant Argument metot [21] ve diferansiyel transform metot [32] gibi nümerik metotlar kesirli mertebeli diferansiyel denklemlerin çözümünde kullanılmıştır.

Popülasyon dinamiğinde en temel modellerden birisi lojistik modeldir ve 1838 yılında Verhulst [33] tarafından oluşturulmuştur. Bu modelin Caputo anlamda kesirsel mertebeden versiyonu

$$D^\alpha N(t) = rN(t) \left(1 - \frac{N(t)}{K}\right), \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $r$  birim popülasyon büyüme oranını ve  $K$  taşıma kapasitesini temsil etmektedir.  $u(t) = \frac{N(t)}{K}$  dönüşümü altında (2) modeli

$$D^\alpha u(t) = ru(t)(1-u(t)), \quad (3)$$

formuna indirgenir. Literatürde (3) modelinin çözümlerinin varlığı ve tekliği, denge noktalarının kararlılığı ve çeşitli biyolojik uygulamaları mevcuttur [1, 34-36]

El-Raheem ve arkadaşları [21], Caputo kesirsel mertebeden türeye sahip (3) lojistik denkleminin tam değer fonksiyonu ekleyerek

$$D^\alpha x(t) = rx \left( \left[ \frac{t}{h} \right] h \right) \left( 1 - x \left( \left[ \frac{t}{h} \right] h \right) \right), \quad (4)$$

modelini göz önüne almışlardır. (4) denkleminin  $t \in [nh, (n + 1)h)$  alt aralıklarında çözümünden ise

$$x_{n+1} = x_n + \frac{h^\alpha}{\Gamma(1 + \alpha)} rx_n(1 - x_{n-1}), \quad (5)$$

fark denklemini elde etmişlerdir.

Bu çalışmanın amacı ise aşağıdaki gibi verilmiş olan tam değer fonksiyonlu conformable kesirli mertebeden lojistik modelin dinamik davranışlarını incelemektir.

$$T_\alpha x(t) = rx(t) \left( 1 - \frac{x \left( \left[ \frac{t-h}{h} \right] h \right)}{k} \right), \quad (6)$$

burada  $x(t)$  popülasyon yoğunluğunu,  $r$  popülasyon büyüme oranını,  $k$  taşıma kapasitesini,  $h$  kesiklileştirme parametresini temsil etmektedir ve parametrelerin tamamı pozitiftir.  $[t], t \in (0, \infty)$  için  $t$  nin tam değerini göstermektedir.

## 2. Fark Denklem Sistemine Geçiş

Bu kısımda Kartal ve Gürcan'ın [7] çalışmasında ortaya koydukları kesiklileştirme yöntemi kullanılacaktır.

Sol conformable türevin (1) özelliğinden (6) denklemi  $t \in [nh, (n + 1)h), n = 0,1,2, \dots$  alt aralığında göz önüne alındığında

$$(t - nh)^{1-\alpha} \frac{dx(t)}{dt} = rx(t) \left( 1 - \frac{x(nh - h)}{k} \right), \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Bu denklemin yeniden düzenlenmesiyle

$$\frac{dx(t)}{x(t)} = r \left( 1 - \frac{x(nh - h)}{k} \right) (t - nh)^{\alpha-1} dt, \quad (8)$$

şeklinde değişkenlerine ayrılabilir bir diferansiyel denklem elde edilebilir. (8) denkleminin  $[nh, t)$  aralığında  $t$  ye göre integrali alındığında

$$x(t) = x(nh) e^{r \left( 1 - \frac{x(nh-h)}{k} \right) \frac{(t-nh)^\alpha}{\alpha}}, \quad (9)$$

bulunur. Bu ifadede  $t \rightarrow (n + 1)h$  olarak alınır ve  $x(nh)$  ile  $y(nh)$  sırasıyla  $x(n)$  ve  $y(n)$  şeklinde değiştirildiğinde,

$$x_{n+1} = x(n) e^{r \left( 1 - \frac{x(n-1)}{k} \right) \frac{h^\alpha}{\alpha}}, \quad (10)$$

elde edilir.  $u_1(n) = x(n)$  ve  $u_2(n) = x(n - 1)$  değişken değiştirmesi ile

$$\begin{cases} u_1(n + 1) = u_1(n) e^{r \left( 1 - \frac{u_2(n)}{k} \right) \frac{h^\alpha}{\alpha}}, \\ u_2(n + 1) = u_1(n), \end{cases} \quad (11)$$

şeklinde bir fark denklem sistemi elde edilir.

### 3. Yerel Asimptotik Kararlılık Analizi

Bu kısımda fark denklemleri için denge noktası tanımı verilecek ve (11) fark denklem sisteminin pozitif denge noktasının yerel asimptotik kararlı olmasını sağlayan cebirsel koşullar Schur-Cohn kriterlerinin kullanılmasıyla elde edilmeye çalışılacaktır.

**Tanım 1:**  $x_n = x_{n+1} = x^*$  eşitliğini sağlayan  $x^*$  noktasına fark denkleminin denge noktası denir [37]. Bu tanım dikkate alındığında  $u_1(n) = u_1(n+1) = x^*$  ve  $u_2(n) = u_2(n+1) = y^*$  olmak üzere (11) fark denklem sisteminin ikinci denkleminde  $x^* = y^*$  olur. Bu ifade sistem (11) in birinci denkleminde yerine yazılırsa

$$x^* = x^* e^{r(1-\frac{x^*}{k})\frac{h^\alpha}{\alpha}},$$

elde edilir. Buradan  $x^* = 0$  veya  $x^* = k$  olarak bulunur. Öyle ise sistem (11) in pozitif denge noktası  $E^* = (k, k)$  dir.

**Teorem 1:** (Schur-Cohn Kriteri ).  $\lambda_i$ ,  $x(n+1) = Ax(n)$  fark denklem sistemindeki 2x2 boyutlu  $A$  matrisinin bütün öz değerleri ve

$$\lambda^2 + p_1\lambda + p_0 = 0, \quad (12)$$

da  $A$  matrisinin karakteristik polinomu olsun. Bu takdirde (12) denkleminin bütün kökleri birim dairenin içindedir ( $|\lambda_i| < 1$ ) ancak ve ancak

$$(a) \quad 1 + p_1 + p_0 > 0,$$

$$(b) \quad 1 - p_1 + p_0 > 0,$$

$$(c) \quad 1 - p_0 > 0.$$

(11) sistemin  $E^* = (k, k)$  denge noktasındaki Jakobyen matrisi

$$J_{E^*} = \begin{pmatrix} 1 & -\frac{h^{\alpha r}}{\alpha} \\ 1 & 0 \end{pmatrix},$$

ve Jakobyen matrise karşılık gelen karakteristik denklem ise

$$\lambda^2 - \lambda + \frac{h^{\alpha r}}{\alpha} = 0,$$

dir. Burada  $p_1 = -1$  ve  $p_0 = \frac{h^{\alpha r}}{\alpha}$  dir. Schur-Cohn kriterlerinin (a) şartından  $1 + p_1 + p_0 = \frac{h^{\alpha r}}{\alpha} > 0$ ; (b) şartından  $1 - p_1 + p_0 = 2 + \frac{h^{\alpha r}}{\alpha} > 0$  elde edilir. (c) şartından  $1 - p_0 = 1 - \frac{h^{\alpha r}}{\alpha} > 0$  ve buradan  $r < \alpha h^{-\alpha}$  elde edilir.

Bu sonuçlar altında aşağıdaki teoremi verebiliriz.

**Teorem 2:** Sistem (11) in pozitif denge noktası  $E^* = (k, k)$  nın lokal asimptotik kararlı olması için gerek ve yeter şart  $r < r^* = \alpha h^{-\alpha}$  olmasıdır.

#### 4. Neimark-Sacker Çatallanma Analizi

Neimark-Sacker çatallanması, kesikli zamanlı dinamik sistemlerde ortaya çıkan bir çatallanma türüdür. Bu çatallanma sonucunda bir limit döngüsünün oluşması beklenir. (11) fark denklem sisteminde Neimark-Sacker çatallanma analizi için  $r$  çatallanma parametresi olarak seçilecektir.

**Teorem 3:** Eğer  $r = r^*$  ve  $q \neq 0$  ise bu durumda (11) sistemi için  $E^*$  pozitif denge noktası civarında Neimark-Sacker çatallanması oluşur. Üstelik  $q < 0$  ise bu durumda oluşan çatallanma supercritical Neimark-Sacker çatallanması,  $q > 0$  ise subcritical Neimark-Sacker çatallanmasıdır.

**İspat:**  $1 - p_0 = 0$  eşitliğinden Neimark-Sacker çatallanma değeri  $r^* = \alpha h^{-\alpha}$  şeklinde elde edilir.  $r = r^*$  olmak üzere (11) fark denklem sisteminin pozitif denge noktasındaki lineerleştirilmiş sisteminin  $J_{E^*}(r^*)$  Jakobiye matrisine karşılık gelen karakteristik denklemi,

$$\lambda^2 - \lambda + 1 = 0, \quad (13)$$

biçimindedir. Buradan  $\lambda$  öz değerleri

$$\lambda_{1,2}(r^*) = \frac{1}{2} \pm i \frac{\sqrt{3}}{2} = a \pm ib,$$

şeklinde elde edilir. Buradan kolayca görülebilir ki  $|\lambda_{1,2}(r^*)| = 1$  dir. Diğer taraftan Transversality koşulundan

$$\frac{d|\lambda_{1,2}(r)|}{dr} \Big|_{r=r^*} = i \frac{h^\alpha}{\alpha\sqrt{2}} \neq 0,$$

olduğu görülür.  $-p_1 \neq 0, -1$  Nonresonance koşulundan  $\lambda_{1,2}^n(r^*) \neq 1$ ,  $n = 1,2,3,4$  bulunur. Sonuç olarak sistem (11) için Theorem (2) de verilen şartlar altında Neimark-Sacker çatallanması ortaya çıkar. Şimdi çatallanmanın yönünü belirlemek için  $q$  değerini bulalım. Bunun için ilk olarak denge noktasını orjine taşıyalım.

$u = u_1 - u_1^*$  ve  $v = u_2 - u_2^*$  dönüşümleri altında (11) sistemini

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f(u, v) \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

şeklinde yazabiliriz. Burada

$$f(u, v) = -\frac{1}{k}uv + \frac{1}{2k}v^2 + \frac{1}{2k^2}uv^2 - \frac{1}{6k^2}v^3 + o((|u| + |v|)^4), \quad (15)$$

dir.

$$T = \begin{pmatrix} \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

olmak üzere  $\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix}$  dönüşümünü göz önüne alalım. O halde (14) dönüşümü

$$f \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & -b \\ b & a \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_1(X, Y) \\ F_2(X, Y) \end{pmatrix}, \quad (16)$$

şeklini alır ve burada

$$F_1(X, Y) = -\frac{XY}{k} + \frac{XY^2}{2k^2} + \frac{Y^3}{6\sqrt{3}k^2} + o((|X| + |Y|)^4)$$

Ve

$$F_2(X, Y) = 0$$

dir. Buradan

$$\xi_{20} = \frac{1}{8}((F_{1XX} - F_{1YY} + 2F_{2XY}) + i(F_{2XX} - F_{2YY} - 2F_{1XY})) = \frac{i}{4k},$$

$$\xi_{11} = \frac{1}{4}((F_{1XX} + F_{1YY}) + i(F_{2XX} + F_{2YY})) = 0,$$

$$\xi_{02} = \frac{1}{8}((F_{1XX} - F_{1YY} - 2F_{2XY}) + i(F_{2XX} - F_{2YY} + 2F_{1XY})) = -\frac{i}{4k}$$

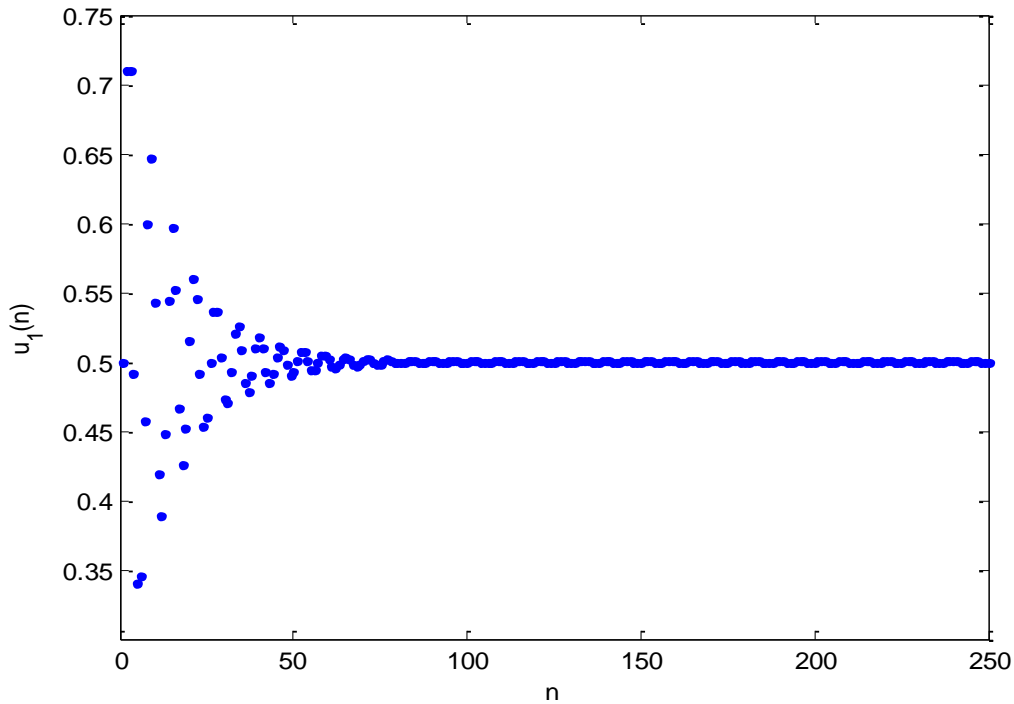
ve

$$\xi_{21} = \frac{1}{16}((F_{1XXX} + F_{1XY} + F_{2XXY} + F_{2YY}) + i(F_{2XXX} + F_{2XY} - F_{1XXY} - F_{1YY})) = \frac{1}{16k^2} - \frac{i\sqrt{3}}{48k^2}$$

olarak elde edilir. Sonuç olarak  $q$  katsayısı

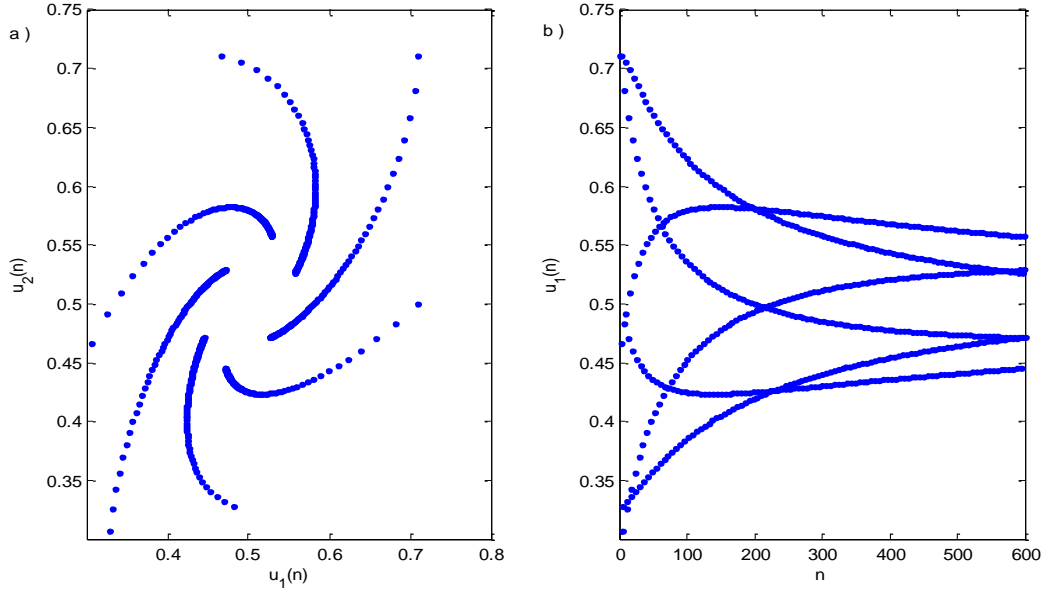
$$q = -Re\left[\frac{(1-2\lambda)\bar{\lambda}^2}{1-\lambda}\xi_{11}\xi_{20}\right] - \frac{1}{2}|\xi_{11}|^2 - |\xi_{02}|^2 + Re(\bar{\lambda}\xi_{21}) = -\frac{1}{16k^2} < 0$$

şeklinde hesaplanır. Bu son ifadeden (11) fark denklem sistemde oluşan Neimark-Sacker çatallanmasının supercritical Neimark-Sacker çatallanması olduğu söylenebilir.

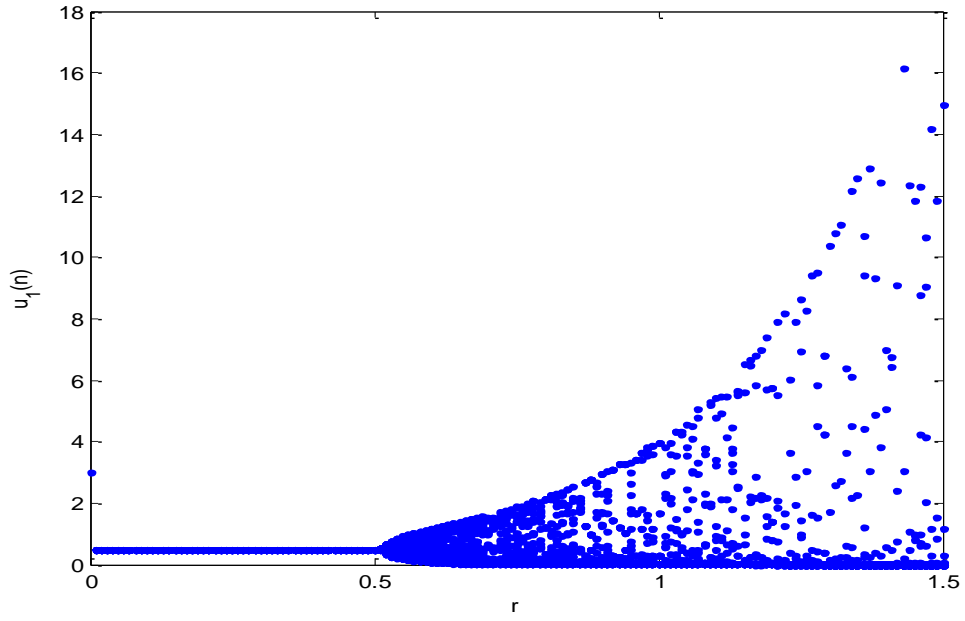


Şekil 1.  $\alpha = 0.5$ ,  $h = 0.95$ ,  $r = 0.45$  ve  $k = 0.5$  parametre değerleri için (11) fark denklem sisteminin çözüm dizisinin grafiği

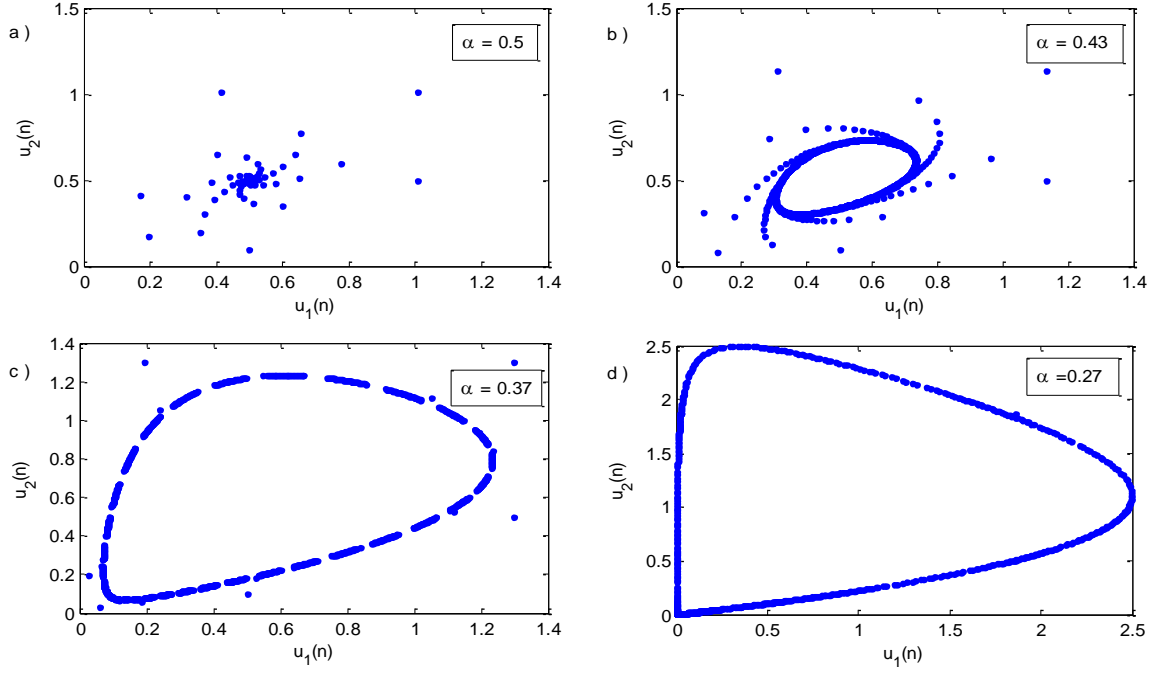




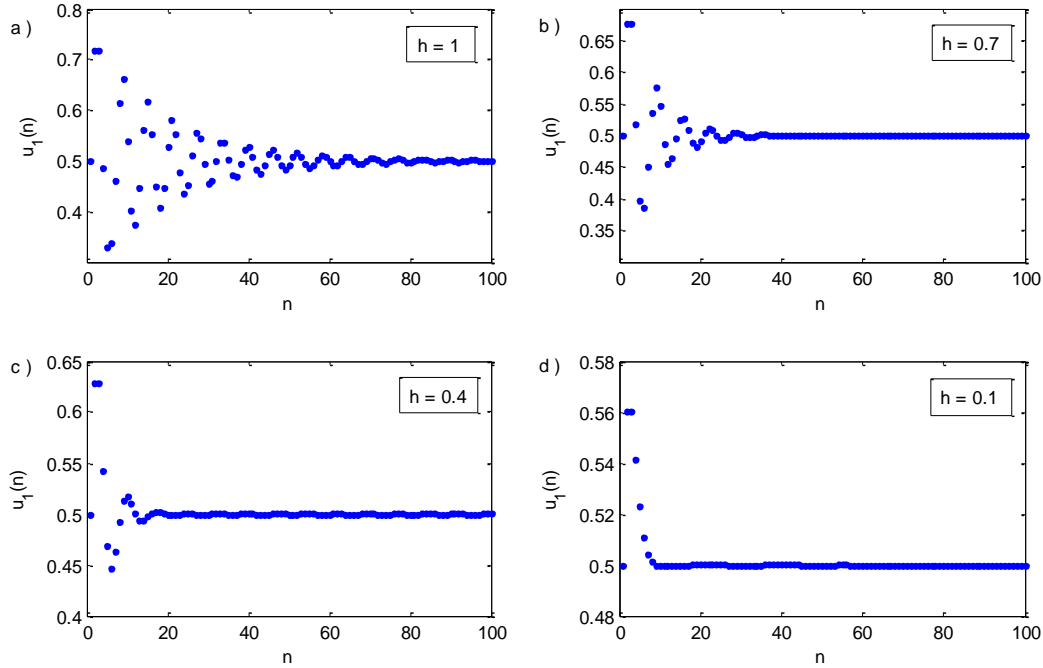
**Şekil 2.**  $r = 0.52989$  için Supercritical Neimark-Sacker çatallanması (a); time series grafiği (b). Diğer parametre değerleri Şekil 1'deki gibidir.



**Şekil 3.** Şekil 1'deki parametre değerleri için  $r$  ye karşı çizilmiş Neimark-Sacker çatallanma grafiği.



Şekil 4.  $h = 0.95$ ,  $k = 0.5$ ,  $r = 0.45$  olmak üzere  $\alpha$  nın farklı değerleri için çizilmiş faz diyagramı



Şekil 5.  $r = 0.45$ ,  $k = 0.5$  ve  $\alpha = 0.5$  olmak üzere  $h$  nın farklı değerleri için çizilmiş time series grafikleri.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada conformable kesirsel mertebeden tam değer fonksiyonlu lojistik model ele alınmıştır. Modelin  $[nh, (n + 1)h]$  alt aralığındaki çözümünden (11) fark denklem sistemi elde edilmiştir. (11) fark denklem sisteminin  $E^* = (k, k)$  pozitif denge noktasının yerel asimptotik kararlı olmasını sağlayan cebirsel koşul  $r < ah^{-\alpha}$  olarak bulunmuştur.  $\alpha = 0.5$ ,  $h = 0.95$  için bu koşuldan yerel asimptotik kararlılık aralığı nümerik olarak  $r < 0.512989$  olarak belirlenmiştir. Şekil 1'den  $r$  bu aralık içinde kalacak şekilde seçildiğinde ( $r = 0.45$ ) sistemin pozitif denge noktasının yerel asimptotik kararlı

olduğu görülebilir. Neimark-Sacker çatallanma analizi ile kritik çatallanma değerinin  $r^* = \alpha h^{-\alpha}$  olduğu gösterilmiştir ve oluşan çatallanmanın supercritical çatallanma olduğu ispatlanmıştır ( $q = -\frac{1}{16k^2} < 0$ ).  $\alpha = 0.5$ ,  $h = 0.95$  için kritik çatallanma değeri  $r^* = 0.512989$  olarak hesaplanmıştır (Şekil 2 ve Şekil 3). Son olarak Şekil 4 ve Şekil 5 den kesirsel mertebeden türev parametresi ( $\alpha$ ) ve kesiklileştirme parametresi ( $h$ ) nin sistemin dinamik yapısındaki etkisi görülebilir.

## 5. Öneriler

Son yıllarda kesirsel mertebeden dinamik sistemlerin araştırılmasında çok büyük bir artış gözlenmektedir. Biyoloji, Fizik, Kimya ve Mühendislik gibi alanlarda bu denklemler yardımıyla pek çok biyolojik ve fiziksel olay başarılı bir şekilde modellenmiştir. Özellikle sistemlerde var olan hafıza etkisi göz önüne alındığında bu tür dinamik sistemlerin araştırılmasının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Ancak Riemann-Liouville ve Caputo gibi kesirsel mertebeden türevler bir integral denklemi ile tanımlanmaktadır ve bu integral denklemlerin çekirdekleri lokal olmayıp bir singulariteye sahiptir. Dahası bu türevler vasıtası ile oluşturulmuş diferansiyel denklemlerin çoğunun analitik çözümünü bulmak imkansız hale gelmektedir. Bu nedenle çeşitli nümerik yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bu türevlerin geometrik yorumları da hala tam olarak bilinmemektedir. Bu gibi zorluklar akla şu soruyu getirmektedir: Ancak tam sayı mertebeden türev tanımının bir uzantısı olarak yeni bir kesirsel mertebeden türev tanımlanabilir mi? Son yıllarda bu sorunun cevabı olarak birçok yeni kesirsel mertebeden türev tanımı ortaya atılmıştır. Conformable kesirsel mertebeden türev de bu yeni türev tanımlarından birisidir. Literatürde conformable kesirsel mertebeden diferansiyel denklemlerin çözümlerinin varlığı-teklifi, çözüm yöntemleri, vs. ile ilgili birçok çalışma yapılmış olmasına rağmen bu tür denklemlerin popülasyon dinamiğindeki uygulamaları çok azdır.

Bu durum ise bizi conformable kesirsel mertebeden dinamik sistemlerin popülasyon dinamiğindeki uygulamalarına itmiştir. (11) modeli için parametre değerleri biyolojiden bağımsız alınarak matematiksel olarak doğruluğu araştırılmıştır. Model popülasyon dinamikleri için var olan birçok dinamik davranışı (kararlı durum, kaos) başarılı bir şekilde yansıtmaktadır.

## Yazarların Katkısı

Çalışmaya her iki yazar da 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] Abbas S., Banerje M., Momani S. 2011. Dynamical Analysis of Fractional-Order Modified Logistic Model. *Compu. Math. Appl.*, 62: 1098-1104.
- [2] Parra G.G., Arenas A.J., Chen-Charpentier B.M. 2014. A Fractional Order epidemic Model for the Simulation of Outbreaks of Influenza A(H1N1). *Math. Method. Appl. Sci.*, 37: 2218-2226.
- [3] Khalil R., Al Horani M., Yousef A., Sababheh M. 2014. A new definition of fractional derivative. *J. Comput. Appl. Math.*, 264: 65-70.
- [4] Abdeljawad T. 2015. On conformable fractional calculus. *J. Comput. Appl. Math.*, 279: 57-66.
- [5] Perez J.E.S., Gomez-Aguilar J.F., Baleanu D., Tchier F. 2018. Chaotic Attractors with Fractional Conformable Derivatives in the Liouville-Caputo Sense and Its Dynamical Behaviors. *Entropy*, 20: 384.
- [6] Balcı E., Öztürk İ., Kartal Ş. 2019. Dynamical behaviour of fractional order tumor model with Caputo and conformable fractional derivative. *Chaos. Soliton. Fract.*, 123: 43-51.

- [7] Kartal S., Gurcan F. 2019. Discretization of conformable fractional differential equations by a piecewise constant approximation. *Int. J. Comput Math.*, 96: 1849-1860.
- [8] Gürcan F., Kaya G., Kartal Ş. 2019. Conformable fractional order Lotka-Volterra predator-prey model: Discretization, stability and bifurcation. *J. Comput. Nonlin. Dyn.*, 14 (11): 111007.
- [9] Ye H., Ding Y. 2009. Nonlinear Dynamics and Chaos in a Fractional-Order HIV Model. *Math. Probl. Eng.*, 2009: 1-12.
- [10] Ertürk V.S., Odibat Z.M., Momani S. 2011. An Approximate Solution of a Fractional Order Differential Equation Model of Human T-Cell Iymphotropic Virus I (HTLV-I) Infection of CD4+ T-Cells. *Comput. Math. Appl.*, 62: 996-1002.
- [11] Zeng C., Yang Q. 2010. A Fractional Order HIV Internal Viral Dynamics Model. *Comput. Model. Eng.Sci.*, 59: 65-77.
- [12] Özalp N., Demirci E. 2011. A Fractional Order SEIR Model with Vertical Transmission. *Math. Comput. Model.*, 54: 1-6.
- [13] Pinto C.M.A., Machado J.A.T. 2013. Fractional Model for Malaria Transmission Under Control Strategies. *Comput. Math. Appl.*, 66: 908-916.
- [14] Ahmed E., Elgazzar A.S. 2007. On Fractional Order Differential Equations Model for Nonlocal Epidemics. *Physica A*, 379: 607-614.
- [15] Rihan F.A. 2013. Numerical Modelling of Fractional-Order Biological Systems, *abstr. Appl. Anal.*, 2013: 1-11.
- [16] Varalta N., Gomes A.V., Camargo R.F. 2014. A Prelude to the Fractional Calculus Applied to Tumor Dynamics. *Tendencias em Matematica Aplicada e Computacional.*, 15: 211-221.
- [17] Ahmed E., Hashis A.H., Rihan F.A. 2012. On Fractional Order Cancer Model. *J. Fract. calc. Appl.*, 3: 1-6.
- [18] Shanbazi M., Erjaee G.H., Erjaee H. 2014. Dynamical Analysis of chemotherapy Optimal Control Using Mathematical Model Presented by Fractional Differential Equations, Describing Efector Immune and Cancer Cells Interactions. *Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 3: 5-17.
- [19] Bozkurt F. 2014. Stability Anaysis of a Fractional Order Differential equation System of a GBM-IS Interaction Depending on the Density. *Appl. Math. Inf. Sci.*, 8: 1021-1028.
- [20] Jun D., Jun Z.G., Yong X., Hong Y., Jue W. 2014. Dynamic Behavior Analysis of Fractional-Order Hindmarsh-Rose Neuronal Model. *Cong. Neurodyn.*, 8: 167-175.
- [21] El-Raheem Z.F., Salman S.M. 2014. On a Discretization Process of Fractional-Order Logistic Differential Equation. *J. Egyptian. Math. Soc.*, 22: 407-412.
- [22] Arafa A.A.M., Rida S.Z., Khalil M. 2013. The Effect of Anti-Viral drug Treatment of Human Immunodeficiency Virus Type 1 (HIV-1) Described by a Fractional Order Model. *Appl. Math. Model.*, 37: 2189-2196.
- [23] Arafa A.A.M., Rida S.Z., Khalil M. 2014. A Fractional-Order Model of HIV Infection with Drug Therapy Effect. *J. Egyptian Math. Soc.*, 22: 538-543.
- [24] Yan Y., Kou C. 2012. Stability Analysis for a Fractional Differential Model of HIV Infection of CD4+ T-Cells with Time Delay. *Math. Comput. Simulat.*, 82: 1572-1585.
- [25] Gökdoğan A., Yıldırım A. 2011. Merdan, M., Solving a Fractional Order Model of HIV Infection of CD4+ T-Cells. *Math. Cump. Model.*, 54: 2182-2138.
- [26] Matouk A.E. 2009. Stability Conditions, Hyperchaos and Control in a Novel Fractional Order Hyperchaotic System. *Phys. Lett. A.*, 373: 2166-2173.
- [27] Jafari H., Daftardar-Gejji V. 2006. Solving a System of Nonlinear Fractional Differential equations Using Adomian Decomposition. *J. Math. Anal. Appl.*, 196: 644-651.
- [28] Odibat Z., Momani S. 2008. Numerical Methods for Nonlinear Partial Differential Equations of Fractional Order. *Appl. Math. Modelling.*, 32 (1): 28-39.
- [29] Ajou A.E., Odibat Z., Momani S., Alawneh A. 2010. Construction of Analytical solutions to Fractional Differential Equations Using Homotopy Analysis Method. *IAENG Int. J. Appl. Math.*, 40 (2).
- [30] Ünlü C., Jafari H., Baleanu D. 2013. Revised Variational Iteration Method for Solving systems of Nonlinear fractional Order differential Equations. *Bstr. Appl. Anal.*, 2013: 1-7.
- [31] Amen I., Novati P. 2017. The Solution of Fractional Order epidemic Model by Implicit Adams Methods. *Applied Mathematical Modelling*, 43: 78-84.

- [32] Ertürk V.S., Momani S. 2008. Solving systems of Fractional Differential Equations Using differential Transform Method. *J. Comput. Appl. Math.*, 215: 142-151.
- [33] Verhulst P.F. 1838. A note on the law of population growth. *Correspondence Mathématique et Physique Publee par A. Quetelet*, 10: 113-121.
- [34] Zhou S., Zhang W., He Z. 2009. Generalized projective synchronization of time-delayed fractional order chaotic systems. *International Conference on Communications, Circuits and Systems*, Milpitas, CA, 853-857.
- [35] Wang D., Yu J. 2008. Chaos in the fractional order logistic delay system. *International Conference on Communications, Circuits and Systems*, Fujian, 646-651.
- [36] El-Saka H.A.A., Ahmed E., Shehata M.I., El-Sayed A.M.A. 2008. On stability, persistence, and Hopf bifurcation in fractional order dynamical systems. *Nonlinear Dynamics*, 56 (1): 121-126.
- [37] Elaydi S. 2005. *An Introduction to Difference Equations*. Springer, 1-539.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Hiperbolik Denklem İçeren Bir Optimal Kontrol Probleminin Nümerik Çözümü Üzerine

Seda İĞRET ARAZ\*

*Siirt Üniversitesi, İlköğretim Matematik Eğitimi Bölümü, Siirt  
(ORCID: 0000-0002-7698-0709)*

---

### Öz

Bu makalede, hiperbolik denklem içeren optimal kontrol problemlerinin bir sınıfını çözmek için bir nümerik algoritma sunulmaktadır. Bir regüler uzayda optimal çözümün var ve tek olduğu gösterilmektedir. Eşlenik problemi elde ettikten ve amaç fonksiyonelinin türevini hesapladıktan sonra, Gradyen metoduyla nümerik yaklaşımlar elde edilmektedir. Hesaplanan sonuçlar, önerilen metodun optimal kontrol problemleri için iyi nümerik yaklaşımlar üretebildiğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Optimal kontrol, hiperbolik denklemler, Frechet diferansiyellenebilirlik.

---

## On Numerical Solution of an Optimal Control Problem Including Hyperbolic Equation

---

### Abstract

In this study, a numerical algorithm for solving a class of optimal control problems with hyperbolic equation is offered. It has been showed that the optimal solution is exist and unique in a regular space. After obtaining adjoint problem and calculating derivative of the cost functional, numerical approximations are obtained via Gradient Method. Computational results show that the considered method is able to generate good numerical approximations for optimal control problems.

**Keywords:** Optimal control, hyperbolic equations, Frechet differentiability.

---

### 1. Introduction and Statement of the Problem

As it is known, hyperbolic partial differential equations state many physical phenomena like heat conduction, vibration, sound waves, diffusion and many more. However, studies related with optimal control problems including hyperbolic equation have been studied from various aspects by many researchers in recent years. When these studies are examined, it has been found too many researches where the control function can be the right hand side of equation, in the coefficient or on boundary for hyperbolic equation in literature [1-14].

In this study, we present numerical results in view of making the contribution on obtaining the initial control.

We consider the following initial boundary value problem defined on the domain  $\Omega = (0, l) \times (0, T)$

$$\psi_{tt} - \psi_{xx} + v(x)\psi = F(x, t), \quad (x, t) \in \Omega \quad (1)$$

$$\psi(x, 0) = \varphi_1(x), \quad \psi_t(x, 0) = \varphi_2(x), \quad x \in (0, l) \quad (2)$$

$$\psi(0, t) = 0, \quad \psi(l, t) = 0, \quad t \in (0, T). \quad (3)$$

---

\*Sorumlu yazar: [sedaaraz@siirt.edu.tr](mailto:sedaaraz@siirt.edu.tr)

Geliş Tarihi: 26.12.2019, Kabul Tarihi: 13.07.2020

For this problem, the function  $\psi(x, t)$  describes displacement of the string. The term  $v(x)\psi$  is known as the restoring force. Also, the function  $F(x, t)$  is the source function, the function  $\varphi_1(x)$  is the initial status which is our control function for this problem and the function  $\varphi_2(x)$  is the initial velocity.

The object of this study is to find the control function minimizing the cost functionals

$$J_\alpha(\varphi_1) = \iint_{\Omega} [\psi(x, t) - y_1(x, t)]^2 dxdt + \int_0^l [\psi_t(x, T) - y_2(x)]^2 dx + \alpha \|\varphi_1 - \kappa\|_{H^1(0, l)}^2 \tag{4}$$

on the set

$$V = \left\{ \varphi_1(x) : \varphi_1(x) \in H^1(0, l), \|\varphi_1\|_{H^1(0, l)}^2 \leq \tilde{\varphi} \right\}$$

which is closed, bounded and convex subset of  $H^1(0, l)$ . In other words, we deal with the problem of controlling the initial status under the conditions

$$F(x, t) \in H^1(\Omega), \varphi_1(x) \in H^1(0, l), \varphi_2(x) \in L_2(0, l)$$

In the cost functional  $J_\alpha(\varphi_1)$ ,  $y_1(x, t)$  and  $y_2(x)$  are the desired target functions to which must be close enough  $\psi(x, t)$  and  $\psi_t(x, T)$ , respectively.

The parameter  $\alpha$  is called regularization parameter and plays vital role in the minimization process.

Now, we give some properties that will be used in this work.

The space  $L_2(\Omega)$  describes space of square integrable functions. The space  $H^1(\Omega)$  consists of all elements  $L_2(\Omega)$  with generalized derivatives of first.

The norm and inner product on these spaces are given by

$$\langle \psi_1, \psi_2 \rangle_{L_2(\Omega)} = \iint_{\Omega} (\psi_1 \cdot \psi_2) dxdt,$$

$$\|\psi\|_{L_2(\Omega)} = \sqrt{\langle \psi, \psi \rangle_{L_2(\Omega)}}.$$

and

$$\langle \psi_1, \psi_2 \rangle_{H^1(\Omega)} = \iint_{\Omega} \left( \psi_1 \cdot \psi_2 + \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \cdot \frac{\partial \psi_2}{\partial x} + \frac{\partial \psi_1}{\partial t} \cdot \frac{\partial \psi_2}{\partial t} \right) dxdt,$$

$$\|\psi\|_{H^1(\Omega)} = \sqrt{\langle \psi, \psi \rangle_{H^1(\Omega)}}.$$

Organization of this study is presented as follows. Firstly, we introduce some definitions and preliminary results. Firstly we show that the weak solution and optimal solution is exist and unique. Then, we obtain the adjoint problem for the considered problem and calculate Frechet derivative of the functional. Later, we offer necessary optimality condition for the considered problem. Finally, we give two illustrations with regard to obtaining the control function.

## 2. Some Theoretical Properties

In this section, we present some theoretical properties in order to prove existence and uniqueness of the optimal solution. We show that the weak solution of the hyperbolic problem and optimal solution for optimal control problem is exist and unique. Also gradient of the functional is calculated by adjoint

problem. With these operations, we make sure that necessary optimality conditions are hold. One can find detailed information about these results in [15]. Thus we can say that we can investigate the control function minimizing our problem taking into account these conditions.

## 2.1. Weak solution

The weak solution of hyperbolic problem is the function which holds the following integral equality

$$\iint_{\Omega} [-\psi_t \zeta_t + \psi_x \zeta_x + v(x) \psi \zeta] dx dt = \iint_{\Omega} F(x, t) \zeta dx dt + \int_0^l \varphi_2(x) \zeta(x, 0) dx \quad (5)$$

for  $\forall \zeta \in \overset{\circ}{H}^1(\Omega)$ ,  $\zeta(x, T) = 0$ .

According to (Ladyzhenskaya, 1985), the weak solution is exist, unique and continuous dependence according to initial data under some conditions [16]. Namely the following priori is valid for this solution;

$$\|\psi\|_{H^1(\Omega)}^2 \leq c_0 \left( \|\varphi_1\|_{H^1(0,l)}^2 + \|\varphi_2\|_{L_2(0,l)}^2 + \|F\|_{L_2(0,l)}^2 \right). \quad (6)$$

## 2.2. Optimal solution

According to Goebel's theorem, we can say that optimal solution for minimization problem (1)-(4) is exist and unique [17].

Now, we will show that the conditions in the theorem are hold for our problem.

- The set  $V$  is a closed, bounded and convex subset of  $H^1(0, l)$  which is a uniformly convex Banach space [18].
- On the other hand, for the increment of the functional  $J(\varphi_1)$ , the following inequality is valid;
- 

$$|\delta J(\varphi_1)| \leq c_2 \left( \|\delta \varphi_1\|_{H^1(0,l)} + \|\delta \varphi_1\|_{H^1(0,l)}^2 \right). \quad (7)$$

This inequality can easily be obtained by giving increment  $\varphi_1 \in H^1(0, l)$  to the control function  $\varphi_1$  for the functional  $J(\varphi_1)$ . It follows that the functional  $J(\varphi_1)$  is also lower semi continuous and bounded from below on the set  $V$  from the inequality (7). Thus, optimal solution is exist.

- Finally, for our problem since we choose  $\omega = 2$ , then the optimal solution is unique.

## 2.3. Adjoint problem and derivative of the cost functional

Here, we aim to achieve an adjoint problem and the derivative of the functional  $J_{\alpha}(\varphi_1)$  by via of the adjoint problem on the set  $V$ . Later we will give a necessary optimality condition in variational form. To do this, we shall offer difference problem which plays an important role for obtaining adjoint problem and calculating the derivative of the functional. So, we give an increment  $\Delta \varphi_1 \in H^1(0, l)$  to the control function  $\varphi_1(x)$  such as  $\varphi_1 + \Delta \varphi_1 \in V$ .

The difference  $\Delta \psi = \Delta \psi(x, t) = \psi(x, t; \varphi_1 + \Delta \varphi_1) - \psi(x, t; \varphi_1)$  is the solution of the following difference initial-boundary value problem;

$$\Delta \psi_{tt} - \Delta \psi_{xx} + v(x) \Delta \psi = 0 \quad (8)$$

$$\Delta \psi(x, 0) = \Delta \varphi_1, \quad \Delta \psi_t(x, 0) = 0 \quad (9)$$



$$\Delta\psi(0,t)=0, \Delta\psi(l,t)=0. \tag{10}$$

Using the inequality (6), we have the following inequality;

$$\|\Delta\psi(\cdot,t)\|_{L_2(0,l)}^2 \leq c\|\Delta\varphi_1\|_{H^1(0,l)}^2. \tag{11}$$

Here the solution of above problem.

Now, we shall calculate the derivative of the functional to find the control function which is satisfy the following problem

$$\inf \tilde{J}_\alpha(\psi, \varphi_1, \eta) \tag{12}$$

where

$$\begin{aligned} \tilde{J}_\alpha(\psi, \varphi_1, \eta) = & \iint_{\Omega} [\psi(x,t) - y_1(x,t)]^2 dxdt + \int_0^l [\psi_t(x,T) - y_2(x)]^2 dxdt + \alpha \|\varphi - \kappa\|_{H^1(0,l)}^2 \\ & + \int_0^T \int_0^l [\psi_{tt} - \psi_{xx} + v(x)\psi - F(x,t)] \eta_t dxdt. \end{aligned} \tag{13}$$

Here  $\tilde{J}_\alpha(\psi, \varphi_1, \eta)$  is also known as augmented functional.

Giving an increment  $\Delta\varphi_1 \in H^1(0,l)$  to the augmented functional such as  $\varphi_1 + \Delta\varphi_1 \in V$ , the first variation of this functional is given by

$$\begin{aligned} \Delta\tilde{J}_\alpha(\varphi_1) = & \int_0^l (-\eta(x,0)\Delta\varphi_1 - \eta_x(x,0)\Delta\varphi_{1x} + 2\alpha(\varphi_1 - \kappa)\Delta\varphi_1 + 2\alpha(\varphi_1 - \kappa)\Delta\varphi_{1x}) dx + o\left(\|\delta\varphi_1\|_{H^1(0,l)}^2\right) \\ = & \langle -\eta(x,0) + 2\alpha(\varphi_1 - \kappa), \Delta\varphi_1 \rangle_{H^1(0,l)} + o\left(\|\delta\varphi_1\|_{H^1(0,l)}^2\right) \end{aligned} \tag{14}$$

where  $\Delta\tilde{J}_\alpha(\varphi_1) = \tilde{J}_\alpha(\varphi_1 + \Delta\varphi_1) - \tilde{J}_\alpha(\varphi_1)$ .

To obtain derivative of the functional, we achieve the following problem

$$\eta_{tt} - \eta_{xx} + v(x)\eta = 2[\psi(x,t) - y_1(x,t)] \tag{15}$$

$$\eta_x(x,T) = 0, \eta_t(x,T) = 2[\psi_t(x,T) - y_2(x)] \tag{16}$$

$$\eta(0,t) = 0, \eta(l,t) = 0. \tag{17}$$

Thus the gradient of the cost functional is in the form of;

$$\tilde{J}'_\alpha(\varphi_1) = -\eta(x,0) + 2\alpha(\varphi_1 - \kappa). \tag{18}$$

#### 2.4. Necessary condition for optimal solution

Calculating the gradient of the functional, it can be seen that the derivative  $\tilde{J}'_\alpha(\varphi_1)$  is continuous on the set  $V$ . The fact that the functional  $\tilde{J}'_\alpha(\varphi_1)$  is continuously differentiable on the set  $V$  and the set  $V$  is convex, in that case the following inequality is valid according to theorem given by (Vasilyev, 1981) in [19];

$$\langle \tilde{J}'_\alpha(\varphi_1^*), \varphi_1 - \varphi_1^* \rangle_{H^1(0,l)} \geq 0, \quad \forall \varphi_1 \in V. \tag{19}$$

Therefore, necessary condition for optimal solution is given by the following inequality;

$$\langle -\eta(x,0) + 2\alpha\varphi_1^*, \varphi_1 - \varphi_1^* \rangle_{H^1(0,l)} \geq 0, \quad \forall \varphi_1 \in V. \tag{20}$$

### 3. Results

In this section, we give main results about obtaining optimal solution for our problem. To do this, we use well-known Galerkin method for solving the considered problem. Also we will benefit from Gradient method to get the optimal solution.

#### 3.1. Numerical approximation: Galerkin method

Now, we will use the Galerkin method for solving hyperbolic problem. Galerkin method is useful and efficient to solve various types of hyperbolic equations. In literature, there have been many researches about Galerkin method which is an important tool in for numerical solution of hyperbolic problems [20, 21].

Now we give the following approximate solution of our problem;

$$\psi^N(x,t) = \sum_{s=1}^N c_s^N(t) \lambda_s(x) \tag{21}$$

where the coefficients  $c_s^N(t)$  are the functions such that

$$c_s^N(t) = \langle \psi^N(x,t), \lambda_s(x) \rangle_{L_2(0,l)} \tag{22}$$

for  $s = 1, 2, \dots, N$ . Also, the functions  $\lambda_s(x)$  are basis functions and they are given by

$$\langle \lambda_s(x), \lambda_t(x) \rangle_{L_2(0,l)} = \delta_s^t \tag{23}$$

where  $\delta_s^t$  states Kronecker delta.

To obtain the coefficients  $c_s^N(t)$ , we replace the approximate solution  $\psi^N(x,t)$  into our equation,

$$\sum_{s=1}^N \frac{d^2 c_s^N(t)}{dt^2} \lambda_s(x) - \sum_{s=1}^N c_s^N(t) \frac{d^2 \lambda_s(x)}{dx^2} + v(x) \sum_{s=1}^N c_s^N(t) \lambda_s(x) = F(x,t). \tag{24}$$

Later, we integrate on the domain  $(0,l)$  after multiplying the equation with the function  $\lambda_t(x)$ . Thus we have the following,

$$\int_0^l \left[ \sum_{s=1}^N \frac{d^2 c_s^N(t)}{dt^2} \lambda_s(x) - \sum_{s=1}^N c_s^N(t) \frac{d^2 \lambda_s(x)}{dx^2} + v(x) \sum_{s=1}^N c_s^N(t) \lambda_s(x) \right] \lambda_t(x) dx = \int_0^l F(x,t) \lambda_t(x) dx \tag{25}$$

where  $\langle \lambda_s(x), \lambda_t(x) \rangle_{L_2(0,l)} = 0$  and  $\langle \Delta \lambda_s(x), \lambda_t(x) \rangle_{L_2(0,l)} = 0$  as  $k \neq l$ .

The equality (25) can be written in the matrix form of

$$\frac{d^2 C^N(t)}{dt^2} + D(t) C^N(t) = F(t) \tag{26}$$

$$C^N(0) = E, \frac{dC^N(0)}{dt} = G.$$

Here  $C^N(t) = [c_1^N(t), c_2^N(t), \dots, c_N^N(t)]^T$  is the matrix of searched functions. Also

$$F(t) = \int_0^l F(x,t) \lambda_t(x) dx, E = \int_0^l \varphi_1(x) \lambda_t(x) dx, G = \int_0^l \varphi_2(x) \lambda_t(x) dx \quad (27)$$

From system of second order ODE, we calculate the coefficients  $c_s^N(t)$  and we achieve the approximate solution  $\psi^N(x,t)$ . Similarly, we have the approximate solution  $\eta^N(x,t)$  of the adjoint problem (15)-(17).

### 3.2. Minimization process: Gradient method

In this section, we search the optimal solution of the optimization problem for which we use Gradient Method. In optimal control theory, this method is the most common optimization algorithm which utilizes from the first derivative. So, we will use the gradient of the functional given by

$$(\tilde{J}'_{\alpha})'((\varphi_1)_s) = -\eta^N(x,0) + 2\alpha((\varphi_1)_s - \kappa). \quad (28)$$

The sequence  $\{(\varphi_1)_s\}$  is known as the minimizing sequence. Selecting an initial element  $(\varphi_1)_0 \in V$  and using the following algorithm,

$$(\varphi_1)_{s+1} = (\varphi_1)_s - \varepsilon_s (\tilde{J}'_{\alpha})'((\varphi_1)_s), s = 0, 1, 2, \dots \quad (29)$$

we find the optimal solution. Here the parameter  $\varepsilon_s > 0$  is the size of the step. Although the parameter  $\varepsilon_s$  is arbitrary, too small  $\varepsilon_s$  may cause slow convergence and too large  $\varepsilon_s$  could cause overshoot the minima and diverge. So, it is highly important to choose the parameter  $\varepsilon_s$  such that  $\tilde{J}_{\alpha}((\varphi_1)_{s+1}) < \tilde{J}_{\alpha}((\varphi_1)_s)$ . For small enough, we have

$$\tilde{J}_{\alpha}((\varphi_1)_{s+1}) - \tilde{J}_{\alpha}((\varphi_1)_s) = \varepsilon_s \left( -\|\tilde{J}'_{\alpha}((\varphi_1)_s)\|^2 + \frac{o(\varepsilon_s)}{\varepsilon_s} \right) < 0 \quad (30)$$

where  $(\varphi_1)_s$  is a stationary point of the minimization problem. If  $\tilde{J}'_{\alpha}((\varphi_1)_s) = 0$ , we stop the iteration and the point  $(\varphi_1)_s$  is a solution of the minimization problem.

The numerical algorithm to solve optimal control problem is outlined as follows. We constitute minimizing sequence  $\{(\varphi_1)_s\}$ . We will have the optimal solution by the following iteration.

1. Choose an control  $(\varphi_1)_0 \in V$ .
2. From the problem (1)-(3), get the function  $\psi_s$ .
3. Using the function  $\psi_s$ , get the function  $\eta_s$ .
4. Using  $\psi_s$  and  $\eta_s$ , calculate  $\tilde{J}'_{\alpha}(\varphi_1)$  given by (18).
5. Choose an appropriate parameter  $\varepsilon_s$  such that

$$\tilde{J}_{\alpha}((\varphi_1)_{s+1}) < \tilde{J}_{\alpha}((\varphi_1)_s).$$

We will stop the iterations with the criteria of  $\tilde{J}_{\alpha}((\varphi_1)_{s+1}) - \tilde{J}_{\alpha}((\varphi_1)_s) < \sigma$  for small enough  $\sigma$ . The parameter  $\varepsilon_s$  will be shortened until the condition holds for each value of  $s$ .

### 3.3. Numerical simulation

The following numerical tests are performed for two examples.

**Example 1** Consider the minimization problem

$$J_\alpha(\varphi_1) = \iint_\Omega [\psi(x,t) - \cos 3\pi t \sin \pi x]^2 dxdt + \int_0^l [\psi_t(x,1) - 0]^2 dx + \alpha \|\varphi_1 - \kappa\|_{H^1(0,l)}^2$$

governed by the following hyperbolic problem defined on the domain  $\Omega = (0,1) \times (0,1)$  ;

$$\psi_{tt} - \psi_{xx} + 5\psi = -\cos 3\pi t \sin \pi x (8\pi^2 - 5), \quad (x,t) \in \Omega$$

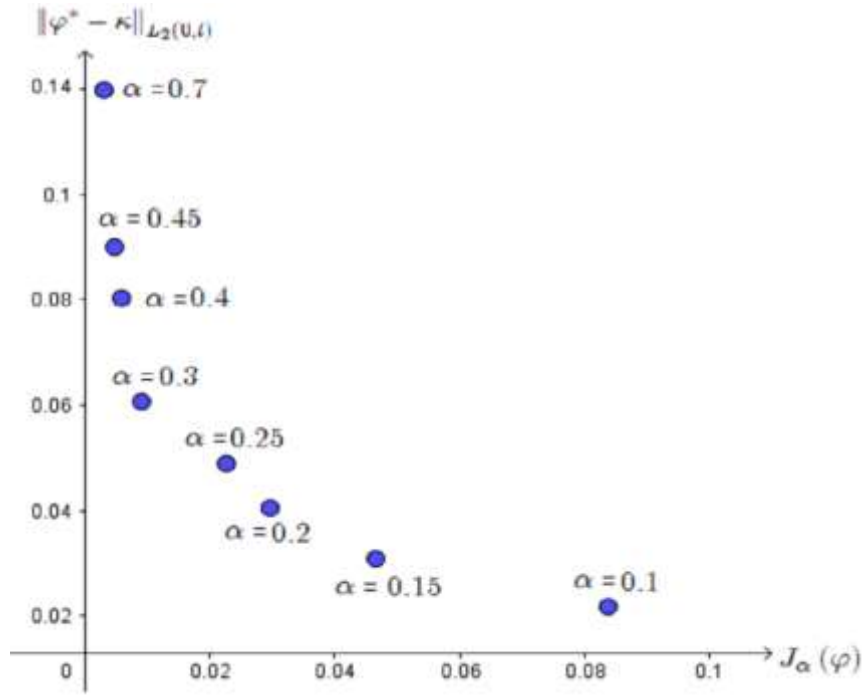
$$\psi(x,0) = \varphi_1(x), \quad \psi_t(x,0) = 0, \quad x \in (0,l)$$

$$\psi(0,t) = 0, \quad \psi(l,t) = 0, \quad t \in (0,T)$$

For this problem, if we take the initial element as  $(\varphi_1)_0 = 10$  and  $\kappa = 0.1$ ; we obtain the following optimal controls. Here the stopping criteria is  $\tilde{J}_\alpha((\varphi_1)_{s+1}) - \tilde{J}_\alpha((\varphi_1)_s) < 0.001$  and the functional  $\tilde{J}_\alpha(\varphi_1)$  values are calculated via the control functions.

**Table 1.** Optimal controls, cost functional values and the norm  $\|\varphi_1^* - \kappa\|_{L_2(0,l)}^2$  for different  $\alpha$  values.

$\alpha$	$\varphi_1^*$	$\ \varphi_1^* - \kappa\ _{L_2(0,l)}^2$	$\tilde{J}_\alpha(\varphi_1)$
0.1	$0.28370637 - 0.30634135 \times 10^{-8} \sin \pi x$ $+ 0.19637542 \times 10^{-19} I \sin \pi x$ $+ 0.16952105 \times 10^{-18} \sin 2\pi x$ $+ 0.28708092 \times 10^{-28} I \sin 2\pi x$	0.083706	0.021681
0.15	$0.246522803 - 0.17044938 \times 10^{-8} \sin \pi x$ $- 0.33314723 \times 10^{-18} I \sin \pi x$ $+ 0.87458425 \times 10^{-19} \sin 2\pi x$ $+ 0.47461819 \times 10^{-29} I \sin 2\pi x$	0.046528	0.030801
0.3	$0.20903746 - 0.65367567 \times 10^{-9} \sin \pi x$ $- 0.51037812 \times 10^{-22} I \sin \pi x$ $+ 0.2665707 \times 10^{-19} \sin 2\pi x$ $- 0.20450360 \times 10^{-28} I \sin 2\pi x$	0.009037	0.060061
0.45	$0.20242657 - 0.38101656 \times 10^{-9} \sin \pi x$ $- 0.33177510 \times 10^{-22} I \sin \pi x$ $+ 0.15212996 \times 10^{-19} \sin 2\pi x$ $+ 0.77164621 \times 10^{-29} I \sin 2\pi x$	0.002426	0.090006
0.7	$0.20302737 - 0.13356239 \times 10^{-9} \sin \pi x$ $+ 0.30247963 \times 10^{-22} I \sin \pi x$ $+ 0.45312092 \times 10^{-20} \sin 2\pi x$ $+ 0.55025682 \times 10^{-29} I \sin 2\pi x$	0.003027	0.140016



**Figure 1.** Numerical simulation of the functional  $\tilde{J}_\alpha(\varphi_1)$  and the norm  $\|\varphi_1^* - \kappa\|_{L_2(0,t)}^2$ .

In addition to, we have mentioned from importance of the parameter  $\alpha$  above. In this example, if we take  $\alpha = 0$ , then the norm  $\|\varphi_1^* - \kappa\|_{L_2(0,t)}^2$  is calculated as 9.99997. Namely, the parameter  $\alpha$  enables to avoid too large controls.

**Example 2** On the domain  $\Omega = (0,1) \times (0,2)$ , let us consider an example where the optimal control problem is governed by

$$\begin{aligned} \psi_{tt} - \psi_{xx} + 10\psi &= e^{-t}(11x^2 - 11x - 2), \quad (x,t) \in \Omega \\ \psi(x,0) &= \varphi_1(x), \quad \psi_t(x,0) = -x(x-1), \quad x \in (0,1) \\ \psi(0,t) &= 0, \quad \psi(1,t) = 0, \quad t \in (0,T) \end{aligned}$$

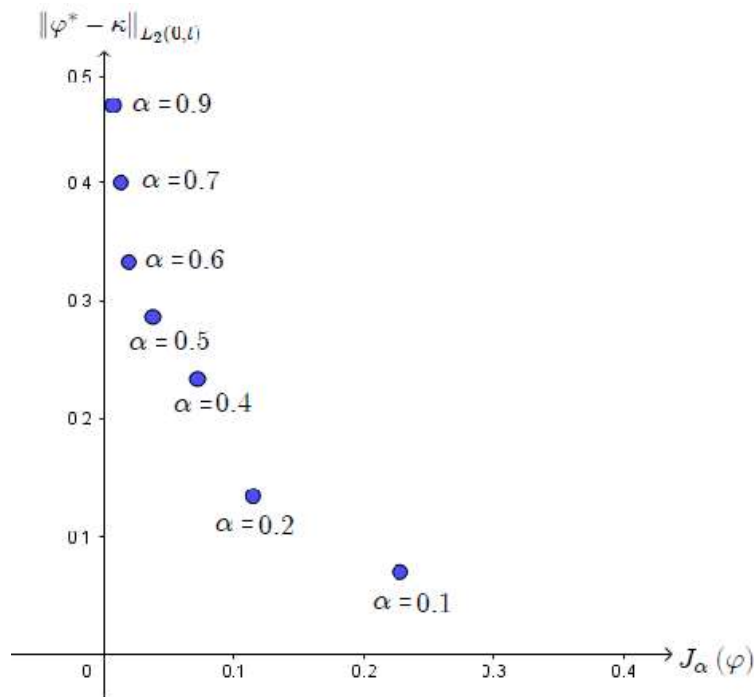
by the cost functional

$$J_\alpha(\varphi_1) = \iint_{\Omega} [\psi(x,t) - e^{-t}x(x-1)]^2 dxdt + \int_0^1 [\psi_t(x,1) - e^{-1}x(1-x)]^2 dx + \alpha \|\varphi_1 - \kappa\|_{H^1(0,1)}^2$$

For this problem, if we take the initial element as  $(\varphi_1)_0 = x + 10$  and  $\kappa = x - 0.1$ ; we obtain the following optimal controls by the stopping criteria  $\tilde{J}_\alpha((\varphi_1)_{s+1}) - \tilde{J}_\alpha((\varphi_1)_s) < 0.001$  and the functional  $\tilde{J}_\alpha(\varphi_1)$  values are calculated via the control functions.

**Table 1.** Optimal controls, cost functional values and the norm  $\|\varphi_1^* - \kappa\|_{L_2(0,t)}^2$  for different  $\alpha$  values.

$\alpha$	$\varphi_1^*$	$\ \varphi_1^* - \kappa\ _{L_2(0,t)}^2$	$\tilde{J}_\alpha(\varphi_1)$
0.1	$x + 0.11817326 - 0.20912775 \times 10^{-10} \sin \pi x$ $+ 0.29741453 \times 10^{-21} I \sin \pi x$ $+ 0.20367523 \times 10^{-11} \sin 2\pi x$ $- 0.13122581 \times 10^{-22} I \sin 2\pi x$	0.218173	0.070091
0.2	$x - 0.00490614 - 0.16330348 \times 10^{-10} \sin \pi x$ $+ 0.11072268 \times 10^{-23} I \sin \pi x$ $+ 0.74076935 \times 10^{-12} \sin 2\pi x$ $- 0.13849588 \times 10^{-22} I \sin 2\pi x$	0.095093	0.134542
0.5	$x - 0.083452 - 0.861038 \times 10^{-11} \sin \pi x$ $+ 0.12492278 \times 10^{-22} I \sin \pi x$ $+ 0.19513422 \times 10^{-12} \sin 2\pi x$ $+ 0.11463954 \times 10^{-22} I \sin 2\pi x$	0.016547	0.333043
0.7	$x - 0.093380 - 0.643049 \times 10^{-11} \sin \pi x$ $- 0.235643 \times 10^{-24} I \sin \pi x$ $+ 0.130700 \times 10^{-12} \sin 2\pi x$ $+ 0.58650264 \times 10^{-23} I \sin 2\pi x$	0.006619	0.466130
0.9	$x - 0.099586 - 0.54190903 \times 10^{-11} \sin \pi x$ $- 0.848498 \times 10^{-21} I \sin \pi x$ $+ 0.75648327 \times 10^{-13} \sin 2\pi x$ $+ 0.36167663 \times 10^{-22} I \sin 2\pi x$	0.000413	0.599274



**Figure 2.** Numerical simulation of the functional  $\tilde{J}_\alpha(\varphi_1)$  and the norm  $\|\varphi_1^* - \kappa\|_{L_2(0,t)}^2$ .

#### 4. Conclusion

This study presents numerical results about optimal control problem including hyperbolic equation. For this problem, the initial status has been chosen as control function. We obtain an adjoint problem which is helpful for obtaining the derivative of the cost functional. It is obtained the gradient of the functional which is highly important for obtaining an optimal solution on the space  $H^1(0,l)$ . To find the desired optimal control, we construct an iterative algorithm. Numerical results are tested with two examples. It is easily seen that the method is efficient and helpful.

#### Authors' Contributions

Seda İğret Araz has performed all theoretical results and numerical calculations with final version of the study as the only author of the paper.

#### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

#### Statement of Research and Publication Ethics

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

#### References

- [1] Deiveegan A., Prakash P., Nieto P.P. 2017. Optimization Method for Identifying the Source Term in an Inverse Wave Equation. *Electronic Journal of Differential Equations*, 2017: 1-15.
- [2] Tagiyev R.K. 2012. On Optimal Control of the Hyperbolic Equation Coefficients. *Automation and Remote Control*, 1145-1155.
- [3] Kröner A. 2011. Adaptive Finite Element Methods for Optimal Control of Second Order Hyperbolic Equations. *Computational Methods in Applied Mathematics*, 214-240.
- [4] Bahaa G.M. 2012. Boundary Control Problem of Infinite Order Distributed Hyperbolic Systems Involving Time Lags. *Intelligent Control and Automation*, 3: 211-221.
- [5] Ju E.Y., Jeong J.M., 2013. Optimal control problems for hyperbolic equations with damping terms involving p-Laplacian. *Journal of Inequalities and Applications*, 92.
- [6] Hwang J., Nakagiri S. 2006. Optimal control problems for the equation of motion of membrane with strong viscosity. *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, 321 (1): 327-342.
- [7] Lions J.L. 1971. *Optimal Control of Systems Governed by Partial Differential Equations*. Springer, Berlin, 273-291.
- [8] Subaşı M., İğret Araz S. 2019. Numerical Regularization of Optimal Control for the Coefficient Function in a Wave Equation. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions A: Science*, 2019: 1-9.
- [9] Bahaa G.M., Tharwat M.M. 2011. Optimal control problem for infinite variables hyperbolic systems with time lags. *Archives of Control Sciences*, 21 (4): 373-393.
- [10] Mordukhovich B.S., Raymond J.P., 2004. Dirichlet boundary control of hyperbolic equations in the presence of state constraints, *Appl. Math. Optim.* 2004; 49, 145.157.
- [11] Lagnese J.E., Leugering G. 2003. Time-domain decomposition of optimal control problems for the wave equation. *Systems Control Lett.*, 48: 229.242.
- [12] Barbu V., Pavel N.H. 1997. Determining the acoustic impedance in the 1-D wave equation via an optimal control problem. *SIAM. J. Control. Optim.*, 35: 1544.1556.
- [13] Liang M. 1999. Bilinear optimal control for a wave equation. *Math. Models Methods Appl. Sci.*, 9, 45.68.
- [14] Ton B.A. 2003. An inverse source problem for the wave equation. *Nonlinear Anal.*, 55: 269.284.
- [15] İğret Araz S. 2018. On optimal control of the initial status in a hyperbolic system. *Gümüşhane University Journal of Science and Technology*, 94-98.

- [16] Ladyzhenskaya O.A. 1985. Boundary Value Problems in Mathematical Physics. Springer-Verlag, New York, 1-322.
- [17] Goebel M. 1979. On Existence of Optimal Control. Math. Nachr., 93: 67-73.
- [18] Yosida K., 1980. Functional Analysis. Springer-Verlag, New York, 1-624.
- [19] Vasilyev F.P. 1981. Ekstremal problemlerin çözüm metotları. Nauka, 1-400.
- [20] Subaşı M. 2004. A Variational method of optimal control problems for nonlinear Schrödinger equation. Numerical Methods for Partial Differential Equations, 20 (1): 82-89.
- [21] Li Q.H., Wang J. 2013. Weak Galerkin Finite Element methods for parabolic equations, Numerical Methods for Partial Differential Equations, 29: 2004-2024.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Nuclear Shell Model Calculations for Ca Isotopes

Serkan AKKOYUN<sup>1\*</sup>, Yasemin AYHAN<sup>1</sup>, Tuncay BAYRAM<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sivas Cumhuriyet University, Physics Department, Sivas, Turkey

<sup>2</sup>Karadeniz Technical University, Physics Department, Trabzon, Turkey

(ORCID: 0000-0002-8996-3385) (ORCID: 0000-0002-9193-2668) (ORCID: 0000-0003-3704-0818)

---

### Abstract

Energies of nuclear excited states of nuclei, nuclear spin/parity and transition probabilities between nuclear levels can be calculated in the scope of nuclear shell model. The nuclei having magic numbers are used as inert core in the calculations. It is assumed that the nucleons in the inert core do not move outside from the core. Only valance nucleons out of the core are considered in the shell model calculations. In this study, the nuclear energy levels of even-even <sup>42-56</sup>Ca isotopes have been calculated by the nuclear shell model using KShell computer code. This code enables us to perform nuclear shell-model calculations with M-scheme representation. In the calculations, doubly magic <sup>40</sup>Ca isotope was taken as core. For the neutrons, 0f<sub>7/2</sub>, 1p<sub>3/2</sub>, 0f<sub>5/2</sub> and 1p<sub>1/2</sub> orbits are considered as model space. Excited nuclear level spins, parities and energies have been obtained for Ca isotopes. The results have been compared with the available experimental values in the literature.

**Keywords:** Shell Model, energy levels, spin/parity, electromagnetic transitions, Ca.

---

## Ca İzotopları için Nükleer Kabuk Modeli Hesaplamaları

---

### Öz

Nükleer uyarılmış durum enerjileri, nükleer enerji/parite ve nükleer seviyeler arasındaki geçiş olasılıkları nükleer kabuk modeli kapsamında teorik olarak hesaplanabilir. Sihirli sayıları olan çekirdekler, hesaplamalarda kor çekirdek olarak kullanılır. Kor çekirdekteki nükleonların çekirdek dışına çıkmadığı varsayılmaktadır. Kabuk modeli hesaplamalarında sadece değerlik nükleonları dikkate alınır. Bu çalışmada, çift-çift <sup>42-56</sup>Ca izotoplarının enerji seviyeleri, KShell bilgisayar kodu kullanılarak nükleer kabuk modeli kapsamında hesaplanmıştır. Bu kod, M şema gösterimi ile nükleer kabuk modeli hesaplamaları yapmaya olanak sağlar. Hesaplamalarda, çift sihirli <sup>40</sup>Ca izotopu kor çekirdek olarak alındı. Nötronlar için 0f<sub>7/2</sub>, 1p<sub>3/2</sub>, 0f<sub>5/2</sub> and 1p<sub>1/2</sub> yörüngeleri model uzay olarak kabul edildi. Ca izotopları için uyarılmış nükleer seviye spinleri, pariteleri ve enerjileri elde edildi. Sonuçlar literatürdeki mevcut deneysel değerlerle karşılaştırıldı.

**Anahtar kelimeler:** Kabuk Modeli, enerji seviyeleri, spin/parite, elektromanyetik geçişler, Ca.

---

### 1. Introduction

In order to understand structure of the atomic nuclei, nuclear shell model is one of the best methods. The fp-shell nuclei lying between 20 to 50 atomic numbers are one of the interesting region in nuclear physics studies. Determinations of the energy levels, spin and parities of nuclei are important for nuclear properties of nuclei. By this purpose, usage of different nuclear models serves us to understanding of nuclear structure containing many physical properties of the nuclei. Among them, nuclear shell-model (SM) is one of the most featured and successful nuclear models. It is similar to the electronic shell model for atoms. Analogously, valance nucleons (protons or neutrons) in a nucleus play a role for the determination of nuclear properties. The valance nucleons are located out of closed nuclear shells. Generally double magic nuclei are considered as inert core which are closed nuclei. As is known, nuclei with magic numbers are most stable and have completely different properties comparing with their neighbors [1-7].

---

\*Sorumlu yazar: [sakkoyun@cumhuriyet.edu.tr](mailto:sakkoyun@cumhuriyet.edu.tr)

Geliş Tarihi: 27.12.2019, Kabul Tarihi: 09.06.2020

Calcium element has 20 proton numbers which is one of the nuclear magic numbers. The doubly-magic  $^{40}\text{Ca}$  isotope is very stable and taken into account in the calculations as an inert core. By considering additional neutrons above this core, nuclear structure studies have been performed. In the scope of the nuclear shell model, many investigations for Ca isotopes have been performed existing in the literature [8-11]. In this paper, first three excited level energies of even-even Ca isotopes have been calculated by using Kshell shell model computer code [12]. This code enables us to perform nuclear shell-model calculations with M-scheme representation with the thick-restart Lanczos method. The code is easily used on a Linux PC with a many-core CPU and OpenMP library. It is also used on a state-of-the-art massive parallel computer with hybrid MPI+OpenMP parallel programming. It can compute energy levels, spin, isospin, magnetic and quadrupole moments, E2/M1 transition probabilities, and one-particle spectroscopic factors. Up to tens of billions M-scheme dimension is capable, if enough memory is available on the computers. By using this code, several calculations have been performed by our group in pf shell [13, 14].

## 2. Material and Method

For the calculation of the first three ( $2^+$ ,  $4^+$ ,  $6^+$ ) excited energy levels of even-even Ca isotopes, nuclear shell model has been taken into account. For this task, Kshell computer code [12] has been used. There are many useful open codes in the literature which is written for the nuclear shell model calculations such as NuShell [15], Redstick [16], Bigstick [17], Antoine [18], Oxbash [19], etc. This model space consists of  $0f_{7/2}$ ,  $1p_{3/2}$ ,  $0f_{5/2}$ ,  $1p_{1/2}$  and  $0g_{9/2}$  valence orbitals. In the study,  $0f_{7/2}$ ,  $1p_{3/2}$ ,  $0f_{5/2}$  and  $1p_{1/2}$  orbits for the neutrons are considered as model space. We have considered double magic  $^{40}\text{Ca}$  isotope as a core. The nucleons in the core with  $J=0$  do not move from the core. Valance nucleons move in a finite number of j-orbits and their Hamiltonian of the valance nucleons is given by Eq. (1).

$$H = E_0 + \sum_l \varepsilon_l a_l^\dagger a_l + 1/2 \sum_{ijkl} \langle ij|V|kl \rangle a_l^\dagger a_j^\dagger a_i a_k \quad (1)$$

where  $E_0$  is the energy of the inert core,  $\varepsilon_i$  is single particle energies (SPE) of the valance orbits and  $\langle ij|V|kl \rangle$  term is two-body matrix elements (TBME) of residual interaction amongst the valance particles. In this work, different interactions for fp shells (fpd6, gxpfla and kb3g) have been taken in the calculations, separately. The SPE's for these different interactions are given in Table 1. Each interaction Hamiltonians consist of 518 elements. No truncation has been performed in the calculations. In the investigation of nuclear shapes, reduced electric quadrupole transition probability (B(E2)) and quadrupole deformation parameter ( $\beta_2$ ) are the indicators. The  $\beta_2$  showing the deformation of the nuclei can be calculated by Eq.2. The neutron and proton effective charges have been taken as  $e_n = 0.5e$  and  $e_p = 1.5e$ , respectively.

$$\beta_2 = \frac{4\pi}{3ZR_0^2} [B(E2)/e^2]^{1/2} \quad (2)$$

**Table 1.** Single particle energies for fpd6, gxpfla and kb3g interactions

	Single Particle Energies		
	Fpd6	Gxpfla	Kb3g
1	-8.3876	-8.6240	-8.6000
2	-6.49520	-5.6793	-6.6000
3	-1.89660	-1.3829	-2.1000
4	-4.47830	-4.1370	-4.6000

## 3. Results and Discussion

The nucleons of the core for the calculations are 20 protons and 20 neutrons with  $J=0$ ,  $T=0$  ground state configuration of  $^{40}\text{Ca}$  nucleus. The additional neutrons are distributed over all possible combinations of the  $0f_{7/2}$ ,  $1p_{3/2}$ ,  $0f_{5/2}$  and  $1p_{1/2}$  orbitals for Ca isotopes. For all isotopes, ground state spins have been calculated in accordance with the experimental values. For even-even  $^{40-56}\text{Ca}$  isotopes, we have shown

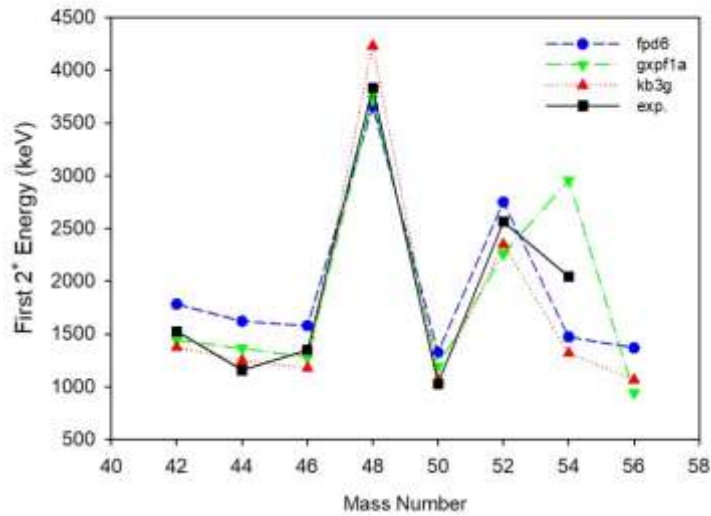
first there (or two) experimental [20] and shell model calculated energies in Table 2. As can be clearly seen in the tables that one of the calculated excited level energies are closer to the experimental values.

For  $^{42}\text{Ca}$  isotope, the results from gxpfla interaction for  $2^+$  level and fpd6 interaction for  $4^+$  and  $6^+$  levels are closer to the experimental values. For  $^{44}\text{Ca}$  isotope, the results from kb3g interaction for  $2^+$  level, gxpfla interaction for  $4^+$  level and fpd6 interaction for  $6^+$  level are closer to the experimental values. For  $^{46}\text{Ca}$  isotope, the results from gxpfla interaction for  $2^+$  level and fpd6 interaction for  $4^+$  and  $6^+$  levels are closer to the experimental values. For  $^{48}\text{Ca}$  isotope, only first two levels have been calculated. The results from gxpfla interaction for  $2^+$  and for  $4^+$  levels are closer to the experimental values. In the calculation of kb3g interaction, the level order is interchanged. For  $^{50}\text{Ca}$  isotope, again only first two levels have been calculated. The kb3g interaction for  $2^+$  and gxpfla interaction for  $4^+$  levels give closer results to the experimental values. For this isotope, there is unambiguity in  $4^+$  level spin in the experimental value. For  $^{52}\text{Ca}$  isotope, only first level experimental energy value exists in the literature. We have calculated first two and fpd6 interaction gives closer result to the experimental value. For  $^{54}\text{Ca}$  isotope, only first level experimental energy value exists in the literature and also there is unambiguity in the spin value. We have calculated first two levels and fpd6 interaction gives closer result to the experimental value. For  $^{56}\text{Ca}$  isotope, no experimental energy value exists in the literature. We have calculated first two levels by using different interactions.

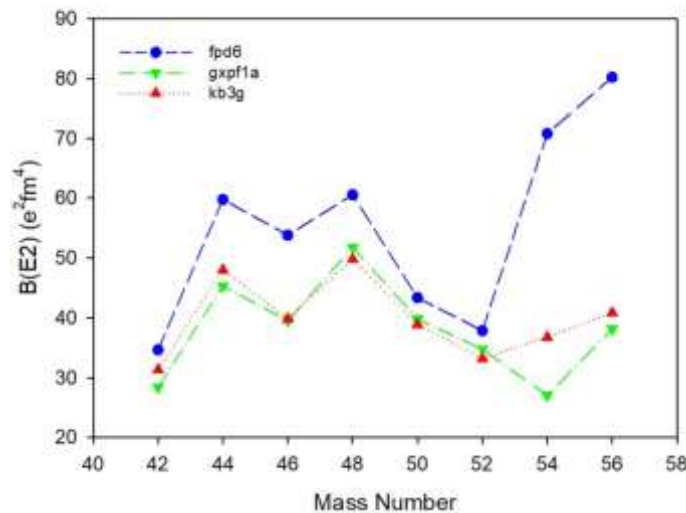
**Table 2.** Experimental and Shell Model calculated first three energy levels for  $^{42-56}\text{Ca}$  isotope

	$^{42}\text{Ca}$			
	Fpd6	Gxpfla	Kb3g	exp
$2^+$	1781	<b>1438</b>	1370	1525
$4^+$	<b>2709</b>	2269	2365	2572
$6^+$	<b>3145</b>	2711	2782	3189
	$^{44}\text{Ca}$			
	Fpd6	Gxpfla	Kb3g	exp
$2^+$	1619	1361	<b>1248</b>	1157
$4^+$	2552	<b>2105</b>	2033	2283
$6^+$	<b>3187</b>	2694	2715	3285
	$^{46}\text{Ca}$			
	Fpd6	Gxpfla	Kb3g	exp
$2^+$	1576	<b>1279</b>	1177	1346
$4^+$	<b>2757</b>	2236	2229	2575
$6^+$	<b>3119</b>	2631	2610	2974
	$^{48}\text{Ca}$			
	Fpd6	Gxpfla	Kb3g	exp
$2^+$	3658	<b>3735</b>	4231 ( $4^+$ )	3832
$4^+$	4134	<b>4264</b>	4238 ( $2^+$ )	4503
	$^{50}\text{Ca}$			
	Fpd6	Gxpfla	Kb3g	exp
$2^+$	1325	1192	<b>1060</b>	1027
$4^+$	3748	<b>4459</b>	4143	( $4^+$ ) 4515
	$^{52}\text{Ca}$			
	Fpd6	Gxpfla	Kb3g	exp
$2^+$	<b>2749</b>	2258	2349	2563
$4^+$	3242	5014	3901	-
	$^{54}\text{Ca}$			
	Fpd6	Gxpfla	Kb3g	exp
$2^+$	1470	2957	1317	( $2^+$ ) 2043
$4^+$	2404	5326	2851	-
	$^{56}\text{Ca}$			
	Fpd6	Gxpfla	Kb3g	exp
$2^+$	1366	942	1064	-
$4^+$	2456	1252	1574	-

We have plotted first  $2^+$  excited level energies for Ca isotopic chain according to the mass number (Figure 1). As is seen in the figures that  $N=28$  shell closure is observed for all calculations since  $^{48}\text{Ca}$  isotope is doubly-magic. The  $N=32$  subshell closure is also seen but  $N=34$  closure is enhanced in *gxpfla* interaction. The results from *gxpfla* interaction,  $N=34$  subshell closure in  $^{54}\text{Ca}$  is confirmed. This appears because the neutron  $f_{5/2}$  orbital lies relatively high above the  $p_{1/2}$  orbital in this interaction. No significant  $N=34$  subshell closure is predicted by *kb3g* and *fpd6* effective interactions. We have also calculated reduced electric transition probability from the ground state to the first  $2^+$  state  $B(E2)$  which is shown in Figure 2. *Gxpfla* and *kb3g* interactions give similar results to each other, whereas results from *fpd6* is a bit larger. Also, according to results from *fpd6* interaction, higher collectivity is seen for  $^{56}\text{Ca}$  isotope. The quadrupole deformation parameters ( $\beta$ ) for Ca isotopes have been calculated theoretically for Ca isotopic chain. All Ca isotopes are almost spherical in shape to the shell-model calculations. The values are in the order of  $1 \times 10^{-1}$ .



**Figure 1.** First  $2^+$  excited levels of even-even Ca isotopes from experiments, *fpd6*, *gxpfla* and *kb3g* interactions



**Figure 2.**  $B(E2)$  values of even-even Ca isotopes from *fpd6*, *gxpfla* and *kb3g* interactions

#### 4. Conclusion

In this work, ground state and excited states energy levels of even-even Ca isotopes have been calculated by using Kshell computer code in the scope of nuclear shell model. It has been seen that the results from different interaction Hamiltonians are close to the experimental values which are available in the literature in some cases. For  $^{48-50}\text{Ca}$  isotopes there are no experimental values in the literature for  $6^+$

energy levels. For  $^{52-54}\text{Ca}$  isotopes there are no experimental values in the literature for both  $4^+$  and  $6^+$  energy levels. For very neutron rich  $^{56}\text{Ca}$  isotope, there are no experimental values in the literature for the excited energy levels. We have also calculated these missing values by using the nuclear shell model. According to the  $B(E2)$  calculations with  $fpd6$  interaction, the  $^{56}\text{Ca}$  isotopes are the most collective among the others having the higher  $B(E2)$  value.

### Acknowledgement

This work is supported by the scientific research project fund of Sivas Cumhuriyet University under the project number F-616.

### Authors' Contributions

Yasemin Ayhan performed the theoretical calculations with the computer code. The results were interpreted by all authors and the article was written.

### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

### Statement of Research and Publication Ethics

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

### References

- [1] Mayer M.G. 1949. On Closed Shells in Nuclei. II. Phys. Rev., 75: 1969.
- [2] Haxel O., Hans J., Jensen D., Suess H.E. 1949. On the "Magic Numbers" in Nuclear Structure. Phys. Rev., 75: 1766.
- [3] Mayer M.G. 1948. On Closed Shells in Nuclei. Phys. Rev., 74: 235.
- [4] Mayer M.G. 1950. Nuclear Configurations in the Spin-Orbit Coupling Model. I. Empirical Evidence. Phys. Rev., 78: 16.
- [5] Talmi I. 2005. 55 years of the shell model: a challenge to nuclear many-body theory. Int. J. Mod. Phys. E, 14: 821.
- [6] Caurier E., Martinez-Pinedo G., Nowacki F., Poves A., Zuker A.P. 2005. The shell model as a unified view of nuclear structure. Rev. Mod. Phys., 77: 427.
- [7] Brown B.A. 2001. The Nuclear Shell Model Towards the Drip Lines. Prog. Part. Nucl. Phys. 47: 517.
- [8] Mitler H.E. 1961. Shell-Model Analysis of Calcium Isotopes. Nucl. Phys., 23: 200.
- [9] Engeland T., Osnes E. 1966. Shell Model Calculations in the Calcium Isotopes. Phys. Lett., 20: 424.
- [10] Bhoj B., Srivastava P.C., Kaneko K. 2020. Shell model results for  $^{47-58}\text{Ca}$  isotopes in the  $fp$ ,  $fp_{g_{9/2}}$  and  $fp_{g_{9/2}d_{5/2}}$  model spaces. Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics, 47: 065105.
- [11] Hussain F.M., Khudhur M. 2013. Shell Model Calculations for Even-Even  $^{42,44,46}\text{Ca}$  Nuclei. Journal of Information Engineering and Applications, 3: 46.
- [12] Shimizu N. 2013. Nuclear shell-model code for massive parallel computation. KSHELL, arXiv:1310.5431 [nucl-th].
- [13] Akkoyun S., Bayram T., Böyükata M. 2019. Shell Model Calculations for some pf Shell Nuclei. ALKÜ, NSP2018 Special Issue, 18.
- [14] Akkoyun S., Bayram T. 2019. Shell Model Calculations for Proton-rich Zn Isotopes via New Generated Effective Interaction by Artificial Neural Networks. Cumhuriyet Sci. J., 40: 570.
- [15] Brown B.A., Rae W.D.M. 2014. The Shell-Model Code NuShellX@MSU. Nucl. Data Sheets, 120: 115.
- [16] REDSTICK, <http://www.phys.lsu.edu/faculty/cjohnson/redstick.html>. (Access date: 01.10.2019).

- [17] Jhonson C.W., Ormand W.E., McElvain K.S., Shan H. 2018. BIGSTICK: A flexible configuration-interaction shell-model code. arXiv:1801.08432v1 [physics.comp-ph].
- [18] ANTOINE, [http://www.iphc.cnrs.fr/nutheo/code\\_antoine/menu.html](http://www.iphc.cnrs.fr/nutheo/code_antoine/menu.html) (Access date: 01.10.2019).
- [19] Brown B.A., Oxbash for Windows, MSU\_NSCL report number 1289.
- [20] Kinsey, R.R., Dunford C.L., Tuli J.K. Burrows T.W. 2019. The NUDAT/PCNUDAT Program for Nuclear Data, paper submitted to the 9th International Symposium of Capture Gamma-Ray Spectroscopy and Related Topics, Budapest, Hungary, October 1996. Data extracted from the NUDAT database, 2.8 (01.July.2019).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## A Note on Finsler Version of Ambrose Theorem

Yasemin SOYLU\*

*Giresun University, Department of Mathematics, Giresun  
(ORCID: 0000-0001-9009-1214)*

---

### Abstract

Let  $(\mathfrak{N}, F)$  be a forward complete and connected Finsler manifold of dimensional  $n \geq 2$ . In this study, we extend Ambrose's compactness theorem in Riemannian manifolds to Finsler manifolds by using the weighted Ricci curvature. We use the Bochner Weitzenböck formula and suitable sequence choices for the proofs of the desired results.

**Keywords:** Finsler manifold, S-curvature, weighted Ricci curvature.

---

## Ambrose Teoreminin Finsler Versiyonu Üzerine Bir Not

---

### Öz

$(\mathfrak{N}, F)$  manifoldu forward tam, bağlantılı ve  $n \geq 2$  boyutlu bir Finsler manifold olsun. Bu çalışmada, Riemann manifoldlarında elde edilen Ambrose kompaktlık teoremi, ağırlıklı Ricci eğriliği kullanılarak Finsler manifoldlara genişletilmiştir. İstenilen sonuçların kanıtları için Bochner Weitzenböck formülü ve uygun dizi seçimleri kullanılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Finsler manifold, S-eğriliği, ağırlıklı Ricci eğriliği.

---

### 1. Introduction

Finsler geometry includes analogues for many of the natural objects in Riemannian geometry. The recent works have shown that some well-known results in Riemannian geometry have been extended to the Finsler setting. For examples in this scope, the reader is referred to [1-3] and references therein.

In the Riemannian case, Ambrose [4] proved a compactness theorem by a condition on the integral of Ricci tensor along geodesics. Later, this theorem was generalized to the Finsler manifolds by Anastasiei (see, [5]). Besides, Kim [6] has established the Finsler version of Galloway's compactness theorem [7] by using Ricci scalar.

In this work, we will obtain the corresponding Zhang's theorem (see Theorem 1.4 in [8]) and Cavalcante-Oliveira-Santos's theorem (see Theorem 2.1 in [9]), which are the generalizations of Ambrose compactness theorem, for the weighted Ricci curvature  $Ric_\infty$  and  $Ric_N$  on Finsler manifolds, respectively. In particular, we will use Zhang's approach to give proofs of the following results.

**Theorem 1.** *Let  $\mathfrak{N}$  be a forward complete and connected  $n$ -dimensional Finsler manifold. Assume every geodesic  $\gamma(t)$  issuing from point  $p \in \mathfrak{N}$  satisfies*

$$\int_0^\infty Ric_\infty(\gamma'(t))dt = \infty, \quad (1)$$

*and the S-curvature  $|S(\gamma'(t))| \leq H/r$ , where  $r(x) = d(x, p)$  is the distance function from  $p \in \mathfrak{N}$ , then manifold is compact.*

Next we obtain a compactness theorem for weighted Ricci tensor  $Ric_N$ .

---

\*Sorumlu yazar: [yasemin.soylu@giresun.edu.tr](mailto:yasemin.soylu@giresun.edu.tr)

Geliş Tarihi: 31.12.2019, Kabul Tarihi: 10.05.2020

**Theorem 2.** Let  $\mathfrak{N}$  be a forward complete and connected  $n$ -dimensional Finsler manifold. Assume every geodesic  $\gamma(t)$  issuing from point  $p \in \mathfrak{N}$  satisfies

$$\int_0^\infty Ric_N(\gamma'(t))dt = \infty, \tag{2}$$

then manifold is compact.

The above theorems are not require the weighted Ricci tensor  $Ric_\infty$  and  $Ric_N$  to be everywhere non-negative.

Now, we review below basic informations of the Finsler geometry to be used in the proofs of main theorems.

## 2. Finsler Geometry

Let  $(\mathfrak{N}, F)$  be a Finsler  $n$ -manifold equipped by Finsler metric  $F: T\mathfrak{N} \rightarrow [0, \infty)$ . Let  $(x, y)$  be a point of  $T\mathfrak{N}$  such that  $x \in \mathfrak{N}$  and  $y \in T_x\mathfrak{N}$  and  $\Omega: T\mathfrak{N} \rightarrow \mathfrak{N}$  be the natural projection. A Finsler metric is a  $C^\infty$ -Finsler structure of  $\mathfrak{N}$  satisfying the following statements:

1. (Regularity)  $F$  is smooth on  $T\mathfrak{N} \setminus 0$ ,
2. (Positive homogeneity)  $F(u, \mu v) = \mu F(u, v)$  for all  $\mu > 0$ ,
3. (Strong convexity) The  $n \times n$  matrix (fundamental quadratic form)

$$g_{ij} := \frac{1}{2} [F^2]_{v^i v^j} \tag{3}$$

is positively definite at each point of  $T\mathfrak{N} \setminus 0$ .

The Chern curvature  $R^V$  for vectors fields  $X, Y, Z \in T_x\mathfrak{N} \setminus 0$  is defined by

$$R^V(U, V)Z := \nabla_U^V \nabla_V^V Z - \nabla_V^V \nabla_U^V Z - \nabla_{[U, V]}^V Z, \tag{4}$$

and for given linearly independent vectors  $V, W \in T_x\mathfrak{N} \setminus 0$ , the flag curvature is defined as follows:

$$K(W, V) := \frac{g_V(R^V(W, V)V, W)}{g_V(W, W)g_V(V, V) - g_V(W, V)^2} \tag{5}$$

Then the Ricci curvature of  $V$  is defined as

$$Ric(V) := \sum_{i=1}^{n-1} K(V, E_i), \tag{6}$$

where  $\{e_1, e_2, \dots, e_{n-1}, V/F(V)\}$  is an orthonormal basis of  $T_x\mathfrak{N}$  with respect to  $g_V$ .

Let  $d\mu = \sigma_F(x) dx^1 dx^2 \dots dx^n$  be the volume form on  $\mathfrak{N}$ . A vector  $W \in T_x\mathfrak{N} \setminus 0$ ,

$$\tau(x, W) := \ln \frac{\sqrt{\det(g_{ij}(x, W))}}{\sigma_F(x)} \tag{7}$$

is a scalar function on  $T_x\mathfrak{N} \setminus 0$  and called the distortion of  $(\mathfrak{N}, F, d\mu)$ .

Setting

$$S(x, W) := \frac{d}{dt} (\tau(\gamma(t), \dot{\gamma}(t)))|_{t=0}, \tag{8}$$

where  $\gamma$  is the geodesic with  $\gamma(0) = x, \dot{\gamma}(0) = W$ .  $S(x, \lambda W) = \lambda S(x, W)$  for all  $\lambda > 0$ .  $S$  is a scalar function on  $T_x\mathfrak{N} \setminus 0$  and called the  $S$ -curvature.  $S$ -curvature measures the change rate of the distortion along geodesics in the direction  $W \in T_x\mathfrak{N}$ .



For all  $N \in (n, \infty)$ , we define the *weighted Ricci curvature* of  $(\mathfrak{X}, F, d\mu)$  as follows (see [1]):

$$\begin{cases} Ric_N(W) := Ric(W) + \dot{S}(W) - \frac{S(W)^2}{N - n}, \\ Ric_\infty(W) := Ric(W) + \dot{S}(W), \\ Ric_n(W) := \begin{cases} Ric + \dot{S}(W), & \text{if } S(W) = 0 \\ -\infty & \text{otherwise.} \end{cases} \end{cases}$$

Also  $Ric_N(kW) := k^2 Ric_N(W)$  for  $k > 0$ .

A Finsler manifold  $(\mathfrak{X}, F)$  is *forward complete* if every geodesic  $\sigma: [0, L] \rightarrow \mathfrak{X}$ , can be expanded to a geodesic on  $[0, \infty)$ . According to the Hopf-Rinow theorem, every pair of points  $p, q \in \mathfrak{X}$  can be joined by a minimal geodesic.

The *Legendre transformation*  $\mathcal{L}: T\mathfrak{X} \rightarrow T^*\mathfrak{X}$  is defined as

$$\mathcal{L}(W) := \begin{cases} g_W(W, \cdot), & W \neq 0, \\ 0 & W = 0. \end{cases}$$

Let  $\mu: \mathfrak{X} \rightarrow R$  be a smooth function, the *gradient* of  $\mu$  at  $y \in \mathfrak{X}$  is defined as  $\nabla\mu(y) := \mathcal{L}^{-1}(d\mu)$ .

The *divergence* of a vector field  $Z = Z^i \partial/\partial x^i$  on  $\mathfrak{X}$  is given as

$$divZ := \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial Z^i}{\partial x^i} + Z^i \frac{\partial \varphi}{\partial x^i} \right). \tag{9}$$

for an arbitrary volume form  $d\mu = e^\varphi dx^1 dx^2 \dots dx^n$ . Then we define the *Finsler-Laplacian* of  $\mu$  by  $\Delta\mu := div(\nabla\mu) = div(\mathcal{L}^{-1}(d\mu))$ .

The following lemma will be very helpful in the proofs of main results (see [10]).

**Lemma 3.** *Let  $(\mathfrak{X}, F, d\mu)$  be a Finsler  $n$ -manifold, and  $h: \mathfrak{X} \rightarrow R$  a smooth function on  $\mathfrak{X}$ . Then on  $\mathcal{U} = \{x \in \mathfrak{X} : \nabla h|_x \neq 0\}$  we have*

$$\Delta h = \sum_i H(h)(E_i, E_i) - S(\nabla h) := tr_{\nabla h} H(h) - S(\nabla h), \tag{10}$$

where  $E_1, E_2, \dots, E_n$  is a local  $g_{\nabla h}$ -orthonormal frame on  $\mathcal{U}$ .

Finally, the *reversibility*  $\lambda$  of  $\mathfrak{X}$  is defined as

$$\lambda_F := \sup_{x \in M, y \in TM \setminus \{0\}} \frac{F(x, -y)}{F(x, y)}. \tag{11}$$

Clearly,  $\lambda_F \in [1, \infty]$ , and  $(\mathfrak{X}, F)$  is reversible if  $\lambda_F = 1$ .

### 3. Proofs of the Theorems

Given  $(\mathfrak{X}, F, d\mu)$  Finsler manifold of dimensional  $n$  and  $r(x) = d(x, q)$  distance function with respect to a fixed point  $q \in \mathfrak{X}$ . The distance function  $r$  is only smooth on  $\mathfrak{X} - (C_q \cup \{q\})$  where  $C_q$  is the cut locus of the point  $q \in \mathfrak{X}$ . Let  $\gamma$  be a minimal unit speed geodesic segment. We have  $\nabla r = \gamma'(t)$  and  $F(\nabla r) = 1$  (see [11]). Besides, we obtain a weighted Riemannian metric  $g_{\nabla r}$  by using the Finsler metric. Thus we can apply Riemannian calculation for  $g_{\nabla r}$  (on  $\mathfrak{X} - (C_q \cup \{q\})$ ).

Firstly we shall achieve the proof of Theorem 1.

**Proof of Theorem 1.** Assume by contradiction that  $\mathfrak{X}$  is non-compact Finsler manifold and let  $\gamma(t)$  be a unit speed ray starting from  $p \in \mathfrak{X}$ . For every  $t > 0$ , denote by  $\eta(t) := (\Delta r)(\gamma(t))$  the Finsler-Laplacian of distance function. In the Finsler case, by Lemma 3, the Bochner Weitzenböck formula [12] says

$$0 \geq Ric_{\infty}(\gamma'(t)) + \eta'(t) + \frac{1}{n-1} (\eta(t) + S(\gamma'(t)))^2. \tag{12}$$

By the inequality  $(x + y)^2 \geq \frac{1}{\alpha+1} x^2 - \frac{1}{\alpha} y^2$ ,  $\alpha > 0$ , we have

$$0 \geq Ric_{\infty}(\gamma'(t)) + \eta'(t) + \frac{\eta(t)^2}{(n-1)(\alpha+1)} - \frac{S(\gamma'(t))^2}{(n-1)\alpha}. \tag{13}$$

Let us the modified Finsler-Laplacian denote by  $\tilde{\eta}(t) := \eta(t) + h(t)$ , where  $h(t)$  is a smooth function. Then from (13) and the assumption given in Theorem 1, we get

$$\begin{aligned} 0 &\geq Ric_{\infty}(\gamma'(t)) + (\tilde{\eta}(t) - h(t))' + \frac{(\tilde{\eta}(t) - h(t))^2}{(n-1)(\alpha+1)} - \frac{S(\gamma'(t))^2}{(n-1)\alpha} \\ &\geq Ric_{\infty}(\gamma'(t)) + \tilde{\eta}'(t) + \frac{\tilde{\eta}(t)^2}{(n-1)(\alpha+1)(\beta+1)} \\ &\quad - h'(t) - \frac{h(t)^2}{(n-1)(\alpha+1)\beta} - \frac{H^2}{(n-1)\alpha r^2} \end{aligned} \tag{14}$$

for every  $\beta > 0$ . Taking  $(n-1)(\alpha+1)\beta = k > 0$  and  $(n-1)\alpha = l > 0$ , we have

$$0 \geq Ric_{\infty}(\gamma'(t)) + \tilde{\eta}'(t) + \frac{\tilde{\eta}(t)^2}{l+k+n-1} - h'(t) - \frac{h(t)^2}{k} - \frac{H^2}{lr^2} \tag{15}$$

Here, if  $h(t)$  and  $l$  are chosen to be  $h(t) = k/2r$  and  $l = 4H^2/k$ , then the term  $-h'(t) - \frac{h(t)^2}{k} - \frac{H^2}{lr^2}$  in (15) equals to zero. Therefore we have

$$Ric_{\infty}(\gamma'(t)) \leq -\tilde{\eta}'(t) - \frac{k\tilde{\eta}(t)^2}{4H^2+k^2+(n-1)k} \tag{16}$$

Integrating both sides of the inequality (16) from 1 to  $t$ , we obtain

$$\int_1^t Ric_{\infty}(\gamma'(s))ds \leq -\tilde{\eta}(t) + \tilde{\eta}(1) - \int_1^t \frac{k\tilde{\eta}(s)^2}{4H^2+k^2+(n-1)k} ds. \tag{17}$$

On the other hand, under the assumption

$$\int_0^{\infty} Ric_{\infty}(\gamma'(t))dt = \infty, \tag{18}$$

given in Theorem 1, we have

$$\lim_{t \rightarrow \infty} -\tilde{\eta}(t) - \int_1^t \frac{k\tilde{\eta}(s)^2}{4H^2+k^2+(n-1)k} ds = \infty. \tag{19}$$

Here, multiplying by  $\frac{k}{4H^2+k^2+(n-1)k}$  on both sides then yields

$$\lim_{t \rightarrow \infty} -\frac{k\tilde{\eta}(t)}{4H^2+k^2+(n-1)k} - \int_1^t \left(\frac{k\tilde{\eta}(s)}{4H^2+k^2+(n-1)k}\right)^2 ds = \infty. \tag{20}$$

Therefore, given  $\vartheta > 1$  there exists  $t_1 > 1$  such that

$$-\frac{k\tilde{\eta}(t)}{4H^2+k^2+(n-1)k} - \int_1^t \left(\frac{k\tilde{\eta}(s)}{4H^2+k^2+(n-1)k}\right)^2 ds \geq \vartheta \tag{21}$$

for all  $t \geq t_1$ .

Let us set

$$t_{\ell+1} = t_\ell + \vartheta^{1-\ell} \quad \text{for } \ell \geq 1. \tag{22}$$

The one that seems  $\{t_\ell\}$  is an increasing sequence and it converges to  $Y := t_1 + \frac{\vartheta}{\vartheta-1}$  as  $\ell \rightarrow \infty$ .

We claim the fact that

$$-\tilde{\eta}(t) \geq \frac{4H^2+k^2+(n-1)k}{k} \vartheta^\ell \quad \text{for all } t \geq t_\ell. \tag{23}$$

To prove the claim, we use induction argument. It is trivial from inequality (21) for  $\ell = 1$ . By induction, we get the claim for  $\ell$ . Then we must prove that  $-\tilde{\eta}(t) \geq \frac{4H^2+k^2+(n-1)k}{k} \vartheta^{\ell+1}$  for all  $t \geq t_{\ell+1}$ . By means of the inequality (21), we obtain

$$\begin{aligned} -\tilde{\eta}(t) &\geq \frac{4H^2+k^2+(n-1)k}{k} \vartheta + \frac{k}{4H^2+k^2+(n-1)k} \int_1^t \tilde{\eta}(s)^2 ds \\ &\geq \frac{k}{4H^2+k^2+(n-1)k} \int_1^{t_\ell} \tilde{\eta}(s)^2 ds + \frac{k}{4H^2+k^2+(n-1)k} \int_{t_\ell}^t \tilde{\eta}(s)^2 ds \\ &\geq \frac{k}{4H^2+k^2+(n-1)k} \int_{t_\ell}^t \tilde{\eta}(s)^2 ds \\ &\geq \frac{4H^2+k^2+(n-1)k}{k} \vartheta^{2\ell} (t-t_\ell) \\ &\geq \frac{4H^2+k^2+(n-1)k}{k} \vartheta^{2\ell} (t_{\ell+1}-t_\ell) = \frac{4H^2+k^2+(n-1)k}{k} \vartheta^{\ell+1}. \end{aligned} \tag{24}$$

This proves the above claim.

From hence, we have

$$\lim_{\ell \rightarrow \infty} -\tilde{\eta}(t_\ell) = -\tilde{\eta}(Y) \geq \lim_{\ell \rightarrow \infty} \frac{4H^2+k^2+(n-1)k}{k} \vartheta^\ell. \tag{25}$$

However, this result contradicts with the smoothness of  $\tilde{\eta}(t)$ . Namely,  $\lim_{t \rightarrow Y^-} -\tilde{\eta}(t) = \infty$ . Thus the proof of Theorem 1 is satisfied.

Now we hold with the proof of Theorem 2.

**Proof of Theorem 2.** In a similar way of that is made to prove Theorem 1, via the Bochner Weitzenböck formula for  $Ric_N$  weighted Ricci curvature [12], we have that

$$Ric_N(\gamma'(t)) \leq -\eta'(t) + \frac{\eta(t)^2}{N}, \tag{26}$$

where  $\eta(t) := (\Delta r)(\gamma(t))$ . Integrating both sides of (26) and taking the limit as  $t \rightarrow \infty$ , we get

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \int_1^t Ric_N(\gamma'(s)) ds \leq \lim_{t \rightarrow \infty} (-\eta(t) + \eta(1) - \int_1^t \frac{\eta(s)^2}{N} ds). \tag{27}$$

Under the assumption (2) given in Theorem 2, we have

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (-\eta(t) - \int_1^t \frac{\eta(s)^2}{N} ds) = \infty. \tag{28}$$

Multiplying  $1/N$  by (28), yields

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left( -\frac{\eta(t)}{N} - \int_1^t \left( \frac{\eta(s)}{N} \right)^2 ds \right) = \infty. \tag{29}$$

From the above equation, given  $C > 1$  there exists  $t_1 > 1$  such that

$$-\frac{\eta(t)}{N} - \int_1^t \left( \frac{\eta(s)}{N} \right)^2 ds \geq C \tag{30}$$

for all  $t \geq t_1$ .

We consider an increasing sequence  $\{t_\ell\}$  defined by

$$t_{\ell+1} = t_\ell + C^{1-\ell} \quad \text{for } \ell \geq 1, \tag{31}$$

such that  $\{t_\ell\}$  converges to  $T := t_1 + \frac{C}{C-1}$  as  $\ell \rightarrow \infty$ .

The claim that  $-\eta(t) \geq NC^\ell$  for all  $t \geq t_\ell$ . By induction, similar computations as in Theorem 1 yields  $-\eta(t) \geq NC^{\ell+1}$  for all  $t \geq t_{\ell+1}$ . Indeed, we have that

$$\begin{aligned} -\eta(t) &\geq NC + \frac{1}{N} \int_1^t \eta(s)^2 ds \\ &\geq \frac{1}{N} \int_1^{t_\ell} \eta(s)^2 ds + \frac{1}{N} \int_{t_\ell}^t \eta(s)^2 ds \\ &\geq \frac{1}{N} \int_{t_\ell}^t \eta(s)^2 ds \\ &\geq NC^{2\ell}(t - t_\ell) \\ &\geq NC^{2\ell}(t_{\ell+1} - t_\ell) = NC^{\ell+1}. \end{aligned} \tag{32}$$

Consequently, because of the same reasons in Theorem 1, we contradict with the smoothness of  $\eta(t)$ . Thus the proof of Theorem 2 is satisfied.

### Authors' Contributions

All contributions (the original theoretical results and applicational calculations, analysis, literature search and writing manuscript) belongs to the author.

### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

### Statement of Research and Publication Ethics

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

### References

- [1] Ohta S. 2009. Finsler interpolation inequalities. *Calc. Var. Partial Differ. Equ.*, 36: 211-249.
- [2] Wu B. 2013. A note on the generalized Myers theorem for Finsler manifolds. *Bull. Korean Math. Soc.*, 50: 833-837.
- [3] Yin S. 2017. Two compactness theorems on Finsler manifolds with positive weighted Ricci curvature. *Results Math.*, 72: 319-327.
- [4] Ambrose W. 1957. A theorem of Myers. *Duke Math. J.*, 24: 345-348.
- [5] Anastasiei M. 2015. Galloway's compactness theorem on Finsler manifolds. *Balkan J. Geom. Appl.*, 20: 1-8.
- [6] Kim C.-W. 2017. On Existence and Distribution of Conjugate Points in Finsler Geometry. *J. Chungcheong Math. Soc.*, 30: 369-379.

- [7] Galloway G. J. 1982. Compactness criteria for Riemannian manifolds. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 84: 106-110.
- [8] Zhang S. 2014. A theorem of Ambrose for Bakry-Emery Ricci tensor. *Ann. Glob. Anal. Geom.*, 45: 233-238.
- [9] Cavalcante M.P., Oliveira J.Q., Santos M.S. 2015. Compactness in weighted manifolds and applications. *Results Math.*, 68: 143-156.
- [10] Wu B., Xin Y. 2007. Comparison theorems in Finsler geometry and their applications. *Math. Ann.*, 337: 177-196.
- [11] Shen Z. 2001. *Lectures on Finsler Geometry*. World Scientific, Singapore.
- [12] Ohta S., Sturm K.-T. 2014. Bochner-Weitzenböck formula and Li-Yau estimates on Finsler manifolds. *Adv. Math.*, 252: 429-448.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Soil radon gas emission on the Sivrice (Elazığ, Turkey) fault zone between 2007-2008 years**

Sultan ŞAHİN BAL<sup>1\*</sup>, Mahmut DOĞRU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Bitlis Eren, Department of Physics, Bitlis

<sup>2</sup>University of Fırat, Department of Physics, Elazığ  
(0000-0001-7896-0771) (0000-0002-0015-0629)

---

### **Abstract**

Soil radon gas measurements were made via a sensing system embedded in soil at radon monitoring station, which was established in Sivrice Fault Zone of Eastern Anatolia Fault Systems (DAFS) being one of the active fault system of Turkey. The occurrence times and magnitude of earthquakes at this zone were compared with the radon gas diffusion obtained online from the mentioned station and the results were interpreted in the light of data in the literature. In this study, it was seen that there is a relationship between the changes in soil radon gas emission and earthquakes. Additionally, according to the analyses on graphs which present the changes in soil radon gas emission taken from station and earthquake lists taken from AFAD (Republic of Turkey Prime Ministry Disaster and Emergency Management Presidency), it was seen that almost all of the earthquakes occur in a decreasing period following the increase in radon emission.

**Keywords:** Radon, statistics, fault zone.

---

## **2007-2008 Yılları Arasında Sivrice (Elazığ, Türkiye) Fay Bölgesinde Toprak Radon Gazı Emisyonu**

---

### **Öz**

Toprak radon gazı ölçümleri, Türkiye'nin aktif fay sistemlerinden biri olan Doğu Anadolu Fay Sistemleri (DAFS)'nin Sivrice Fay Zonunda kurulan radon izleme istasyonunda toprağa gömülü bir algılama sistemi ile yapılmıştır. Bu bölgedeki depremlerin meydana gelme süreleri ve büyüklükleri, söz konusu istasyondan çevrimiçi olarak elde edilen radon gazı difüzyonu ile karşılaştırılmış ve sonuçlar literatürdeki veriler ışığında yorumlanmıştır. Bu çalışmada, toprak radon gazı emisyonundaki değişiklikler ile depremler arasında bir ilişki olduğu görülmüştür. AFAD'dan temin edilen deprem listelerine ve istasyondan alınan toprak radon gazı çıkışlarındaki değişim grafiklerine bakıldığında yapılan analizlerde, radon yayılımındaki artış izleyen dönemdeki radon yayılımının azalmaya başladığı dönemlerde; depremlerin neredeyse bütününe meydana geldiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Radon, istatistik, fay zonu.

---

### **1. Introduction**

One of the natural disasters which have affected, and scared societies for centuries through the human history earthquakes with different magnitudes. Therefore, anticipation of earthquakes has always been an item on the agenda for people. One of the seismic belts of the world begins from the Alps, passes through the Himalaya Mountains; Turkey takes place in the middle of this active seismic belt [1]. Being the most active earthquake zone of the world, Turkey has experienced earthquakes which lead to loss of property and lives.

Some very long-life radio nuclei such as <sup>238</sup>U (half-life  $t_{1/2} = 4.47 \times 10^9$  year and isotopic abundance = 0.9927) naturally exist in the world. <sup>238</sup>U decay chain has 15 elements consisting of a rare

---

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

Geliş Tarihi: 20.01.2020, Kabul Tarihi: 08.05.2020

gas named  $^{222}\text{Rn}$  which can skip out of pores in the soil and can be scattered in the atmosphere. Disequilibrium in the  $^{238}\text{U}/^{226}\text{Ra}$  chain is the result of  $^{222}\text{Rn}$  losses. The radon nucleus emerges from alpha particle emission of  $^{226}\text{Ra}$  radium isotope with 86 keV reaction energy [2].

Radon is the single radioactive noble gas in the nature. It is generally mentioned with  $^{222}\text{Rn}$ , a half-life, of which is 3.825 days. Radon has two more isotopes having a less half-life  $^{220}\text{Rn}$  (54.5 sec) and  $^{219}\text{Rn}$  (3.92 sec).  $^{222}\text{Rn}$  is a motionless element of Uranium ( $^{238}\text{U}$ ) decay series, which directly emerges from radioactive decay of  $^{226}\text{Ra}$  and emits alpha particles. Before radon does decay to  $^{210}\text{Pb}$  with a long half-life, it decays to radioisotopes such as  $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Pb}$ ,  $^{214}\text{Bi}$  and  $^{214}\text{Po}$ . To conclude, three alphas, two betas, and many gamma rays are emitted through the radioactive disintegration of radon. The measurement of one of these rays (alpha, beta and gamma) is used to measure radon [3].

Radon sensors do not actually measure the concentration of this gas, but the number of  $\alpha$  particles or the amount of the radiation emitted by radon and its daughter isotopes. The proportionality factor between the emissions detected by the sensors and the actual concentration of radon depends on the instrument, the radioactive equilibrium factor, as well as on the environmental and physical conditions at the monitoring site [4].

Since the initial observations in the 1960s and 1970s that radon anomalies could occur in groundwater and soils, prior to earthquakes, many attempts to have been made to use both as earthquake predictors [5-9]. However, whilst earthquake-related radon anomalies have been detected at distances on the order of hundreds of kilometers from the epicenter, so far these have proved to be unreliable as earthquake predictors [6, 10].

The reason for the high radon diffusion at fault zones is the fact that underground waters in this region could easily rise to the surface, and thus, uranium, or its cores dissolving in underground waters tend to accumulate in places closer to the earth [3].

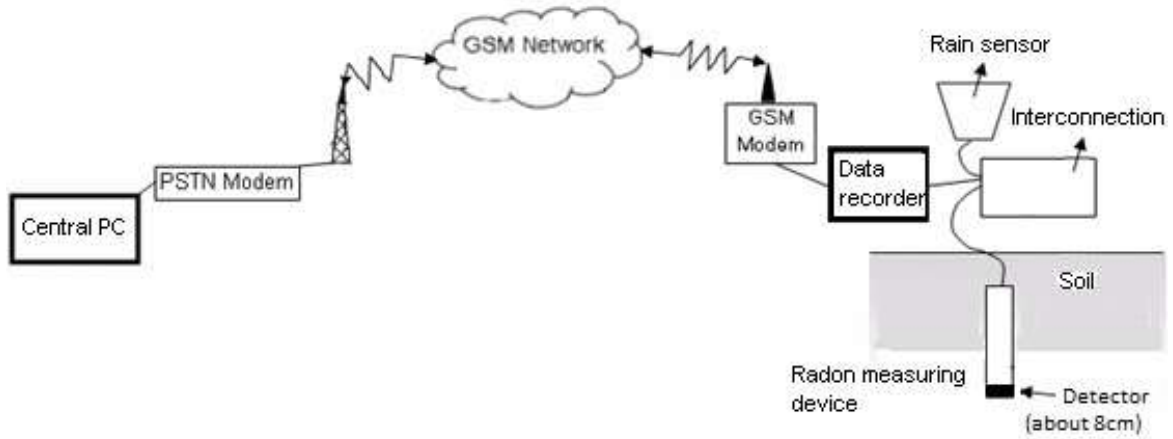
An earthquake is a short-term instant movement of the earth's crust, which occurs as quaking, shaking, collapsing or moving of the earth. Movements related to the structure of the earth result in energy (stretching) accumulation in certain areas as a consequence of certain rules. When the accumulated energy abrades the resistance of rocks in the region, fracture occurs. The energy which discharges instantly due to the fracture diffuses as earthquake waves, also named as energy seismic waves and leads to quakes on the earth's crust during this diffusion process [11].

## 2. Material and Methods

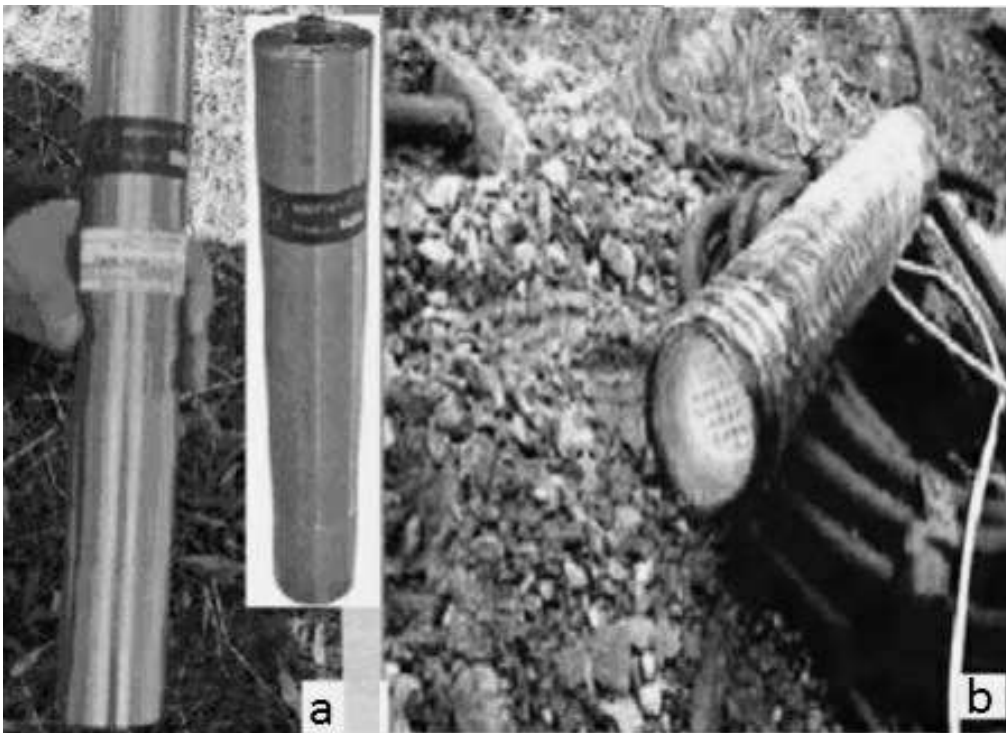
The soil radon gas monitoring was conducted by the method of continuous measurement system and the measurements were made with a sensing system which consists of a Nuclear Spectroscopic System embedded in the soil of a certain place on the mentioned fault zone. The system consisted of a Si semiconductor detector, and it was established in the Fault Zone. Radon gas activity was determined based on Nuclear Spectroscopic Method in consideration of the radioactive characteristics of radon. The radon gas measurement was recorded once in fifteen minutes by means of suitable software and stored in the system. The values stored in the system could be transferred to laboratory online through GSM or fixed telephone line by means of remote data transfer systems where necessary. The system was equipped with a cylindrical pipe that is approximately 0.3 m long and with a 0.05 m radius. The detector was mounted about 0.08 m below the end of the pipe (see Figure 1). At the top of the space at the bottom of the device (AlphaMeter 611, Figure 2), there was a silicon (diffused junction) detector located within steel tube that had a measuring range of  $4 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ , and it was sensitive to energy greater than 1.5 MeV. The alpha particles emitted to the medium from the decomposition of radon gas was relatively determined by the detector, and it was recorded to a built-in memory at 15 minute intervals with date information [12, 13].

The data recorded by the AlphaMeter appear more stable and sudden changes does not record. This indicates that the AlphaMeter sensors' performance for long-term continuous monitoring of soil radon data is more satisfactory [12].

The data collected by AlphaMeter 611 sensors are given in counts per 15 minutes' integration time. Calibration by the manufacturer provides for the conversion (calibration factor= $2 \text{ kBq}/(\text{m}^3 \times \text{counts})$ ) of the count rates into radon activity. For example, 10 counts per 15 minutes of integration time recorded by the AlphaMeter equals to about  $20 \text{ kBq}/\text{m}^3$  soil gas [12].



**Figure 1.** Active radon measuring system.

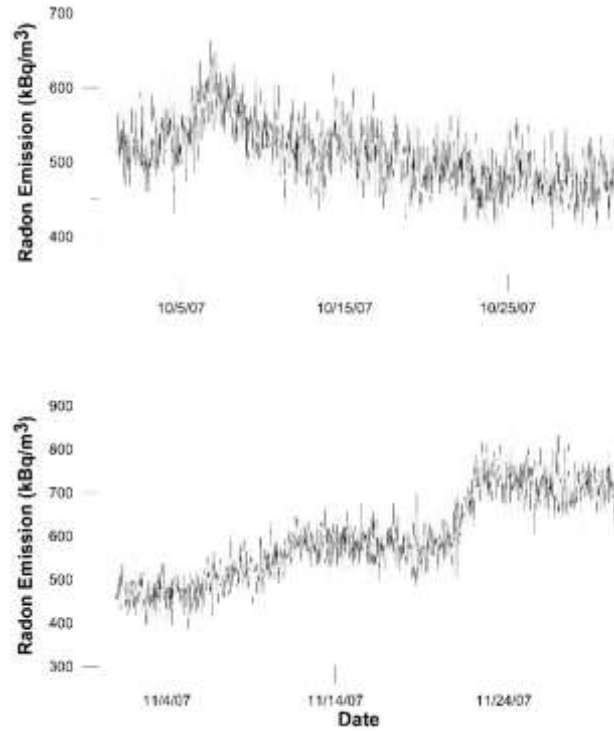


**Figure 2.** (a) Alphascan 611 model, (b) Prepared to bury the Alphascan probe.

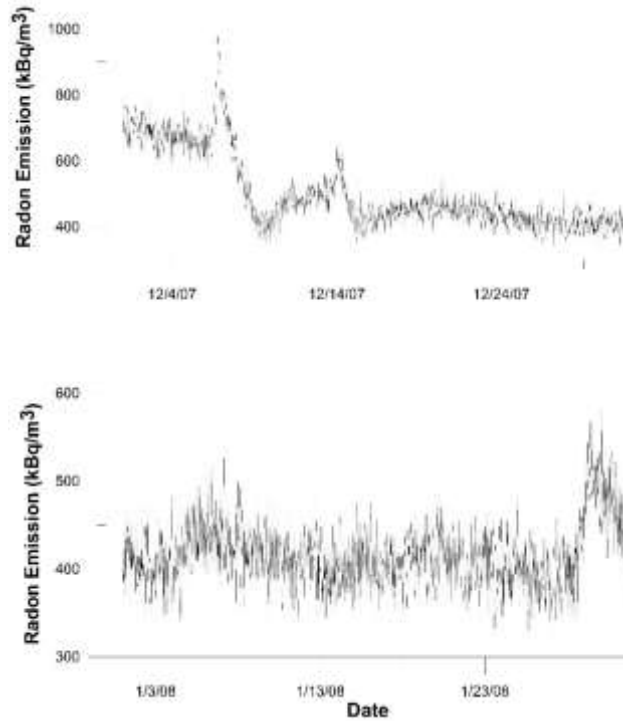
### 3. Results and Discussion

The monthly variation in the radon gas taken from the Soğukpınar station at Sivrice Fault Zone for a year is presented in Figure 3-Figure 6, respectively. When examined monthly changes of radon data received from the station; approximately  $500 \text{ kBq/m}^3$  of which radon emission in September had been starting to increase in October. The emission of radon starting from November until mid-April had been gradually decreasing. The radon emission had been beginning to increase again after the first of June. In the July and August; maximum emission values from measurements taken from one year appears as peaks (approximately  $1100\text{-}1200 \text{ kBq/m}^3$ ) and emission values of radon was averagely falling to  $600\text{-}650 \text{ kBq/m}^3$  in September.

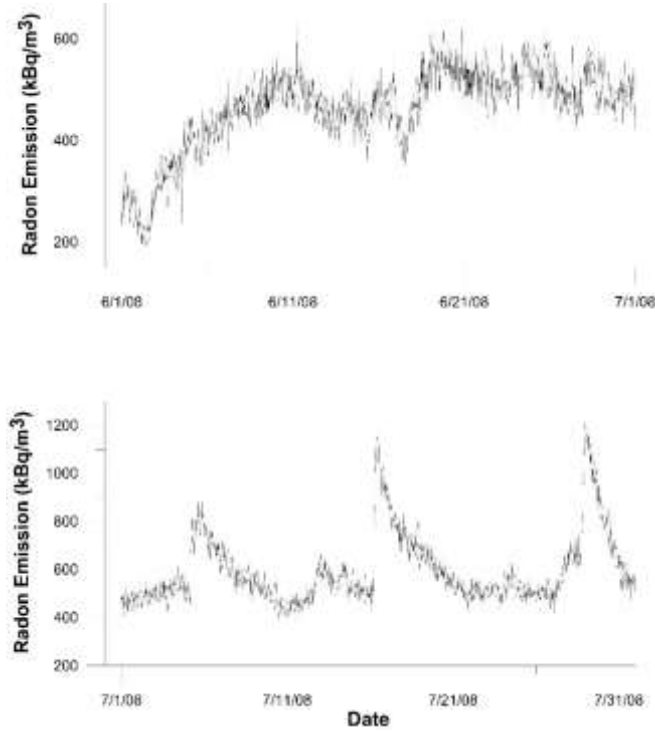




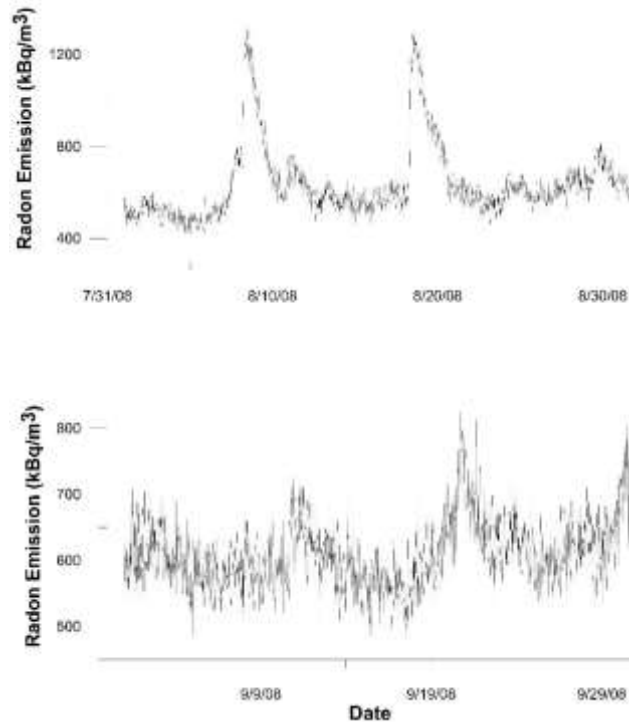
**Figure 3.** Assessment of the data obtained from Soğukpınar station on October 2007 and November 2007



**Figure 4.** Assessment of the data obtained from Soğukpınar station on December 2007 and January 2008

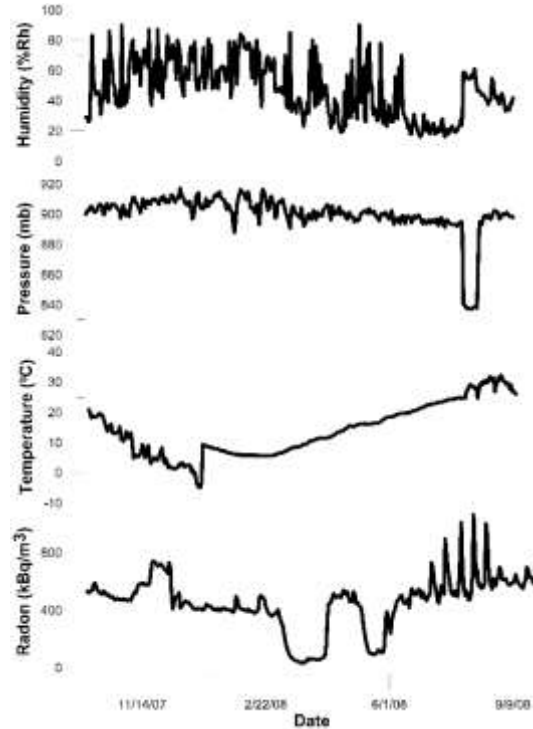


**Figure 5.** Assessment of the data obtained from Soğukpınar station on June 2008 and July 2008



**Figure 6.** Assessment of the data obtained from the Soğukpınar station on August 2008 and September 2008

Along with active fault zones, deformations in the earth's crust and depending on secondary fractures and cracks in rocks, shaping the earth crust increase, and this increase accelerate the radon expansion. In periods when earthquakes occur within short ranges, the increase in soil radon gas expansion is less compared to earthquakes occurring within long ranges. This case indicates that the fractures, and cracks in rocks within region before the earthquake are controlled by the fault movement [14].



**Figure 7.** Radon concentration in soil, air temperature, barometric pressure and humidity versus time.

When Figure 7 is examined, it has been seen that temperature, humidity and pressure parameters also have a little effect on radon expansion. Changes of radon gas with especially pressure and humidity has been seen to be not parallel. The pressure causes atmospheric pumping in the soil near the surface, so that it increases the expansion of soil radon gas. The humidity increases binding to the carrier (groundwater, other gases, etc.) of soil radon gas. Thus, the humidity provides an enhancement to the radon gas expansion. The temperature also increases the diffusion of radon gas like the other gases [3].

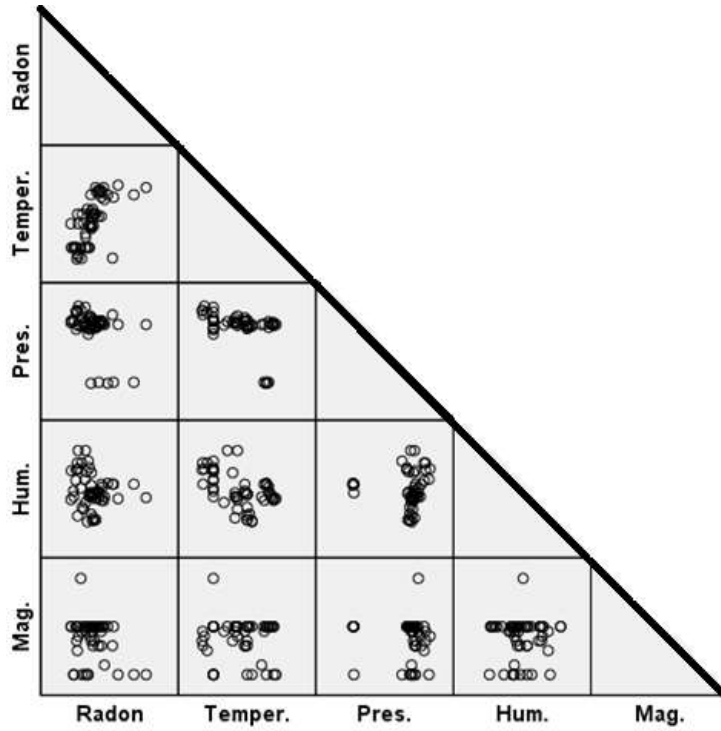
Statistical variations of the Soğukpınar station whose radon concentration, temperature, pressure, humidity, and earthquake magnitude were determined in Table 1.

**Table 1.** The relevant information with earthquakes that occurred within a radius of 150 km centered Sivrice at March - May 2008.

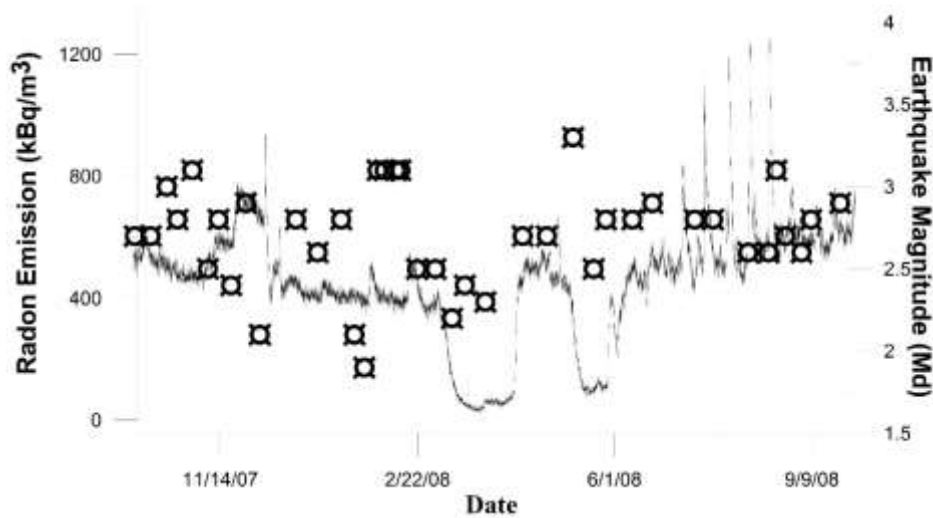
Parameters	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Radon (kBq/m <sup>3</sup> )	366	34.2	1063	455.4	185.4
Temperature (°C)	346	-4.9	32.0	13.9	8.7
Pressure (mb)	346	837.0	917.1	900.0	13.2
Humidity (%Rh)	346	16.0	90.0	47.5	18.6
Magnitude (Md)	61	2.0	4.0	2.8	0.4

For more clearly understood of Figure 7 and to an examination of the relationships among the radon concentration, meteorological parameters (temperature, pressure and humidity) and earthquake magnitude; the matrix scatter chart of radon concentration, meteorological parameters (temperature, pressure and humidity) and earthquake magnitude are given in Figure 8. The relationships among radon, temperature, humidity and pressure in Figure 7 are more clearly seen.

When Figure 8 is examined, it can be seen that the connection among radon, earthquake magnitude and pressure are more regular than the relationship between other parameters. However, the link between radon-pressure can be seen much more regular than the link between radon- earthquake magnitude. Relationship with other parameters of pressure was found to be separately regulated. Moreover, it can be seen that the relation with only pressure among other parameters of temperature are to be regular. Regularity between parameters, the parameter indicates the relationship with each other.



**Figure 8.** Matrix scatter chart of radon concentration (kBq/m<sup>3</sup>), air temperature (°C), barometric pressure (mb), humidity (%Rh) and earthquake magnitude (Md)



**Figure 9.** The relationship between radon diffusions recorded in Soğukpınar station and the earthquakes

According to Figure 9 which presents the relationship between radon diffusion and earthquakes, it can be seen that in periods when the changes (increase/decrease) in soil radon gas outlets, earthquakes generally occur as well.

#### 4. Conclusion

It was concluded that the change in soil radon gas could be used as a significant parameter to predict earthquake on condition that it is observed regularly and continuously in consideration of fault character, rock and soil type across the fault zone.

While earthquakes are occurring, an increase or decrease can be seen in the expansion of radon gas accumulated under soil due to the movement, collapse or elevation of rocks. The data recorded in this study showed that changes occurred in soil radon gas expansion and according to the comparison with data obtained from AFAD, it is observed that these changes are generally parallel with earthquakes

even though they have low magnitude [3, 15]. There was a relationship between the changes in soil radon gas expansion and earthquakes, but it was also found that other parameters (temperature, humidity and pressure) were effective on radon expansion as well. Therefore, it is considered that changes in soil radon gas expansion can be used as a useful parameter in the prediction of earthquakes.

According to the analyses on graphs which presented the changes in soil radon gas expansion taken from station and earthquake lists taken from AFAD, it was seen that almost all of the earthquakes occurred in a decreasing period following the increase in radon expansion. This case can be explained by the increase in secondary cracks which increase the permeability of rocks as a result of the deformations that cause energy accumulation across the fault zone before the earthquake. After the stretching accumulation reaches the highest value, the increase in radon expansion stops, and in the following decrease period, an earthquake occurs [3].

### **Acknowledgements**

The author would like to thank to Professor Soner ÖZGEN, Department of Physics, Faculty of Arts δ Science and Professor Ercan AKSOY, Faculty of Engineering, Department of Geological Engineering for helping to define the geological features of the studied area. This work was supported by TUBITAK with project number is 104Y158 and FUBAP with project number is 1404.

### **Author's Contributions**

All authors contributed equally to the study.

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

There is no conflict of interest among the authors.

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

The rules of research and publication ethics were followed in the research.

### **References**

- [1] Dizer M. 1991. Earthquake. Boğaziçi University, İstanbul.
- [2] Denagbe S.J. 2000. Radon-222 concentration in subsoils and its exhalation rate from a soil sample. *Radiat Meas* 32: 27-34.
- [3] Şahin S. 2009. Radon Emission on Sivrice Fault Zone and Natural Radioactivity. PhD. Thesis, Fırat University, Elazığ.
- [4] Vinas R., Eff-Darwich A., Soler V., Castro-Almazan J.A., Martin-Luis M.C., Coello J., Quesada M.L., de la Nuez J. 2004. Comparative analysis of continuous radon sensors in underground environments. *Environ Geol.*, 46: 1108-1117.
- [5] Zmazek B., Vaupotič J., Živčić M., Premru U., Kobal I. 2000. Radon monitoring for earthquake prediction in Slovenia. *Fizika B.*, 9: 111-118.
- [6] Crockett R.G.M., Gillmore G.K., Phillips P.S., Denman A.R., Groves-Kirkby C.J. 2006. Radon anomalies preceding earthquakes which occurred in the UK, in summer and autumn 2002. *Sci Total Environ.*, 364: 138-148.
- [7] Finkelstein M., Brenner S., Eppelbaum L., Ne'eman E. 1998. Identification of anomalous radon concentrations due to geodynamic processes by elimination of Rn variations caused by other factors. *Geophys J Int.*, 133: 407-412.
- [8] Planinić J.R., Dominika V.Č. 2000. Searching for an Earthquake Precursor: Temporal Variations of Radon in Soil and Water. *Fizika B.*, 9: 75-82.
- [9] Plastino W., Bella F., Catalano P.G., Di Giovambattista R. 2002. Radon groundwater anomalies related to the Umbria-Marche September 26, 1997, earthquakes. *Geofisica Internacional*, 41: 369-375.

- [10] Wakita, H. 1996. Geochemical challenge to earthquake prediction. P Natl Acad Sci, USA, 93: 3781-3786.
- [11] Bolt B.A. 1993. Earthquake and Geological Discovery. W.H. Freeman and Company, New York.
- [12] Inan S., Akgul T., Seyis C., Saatçilar R., Baykut S., Ergintav S., Bas M. 2008. Geochemical monitoring in the Marmara region (NW Turkey): A search for precursors of seismic activity. J Geophys Res-Sol Ea, 113.
- [13] Thomas D.M., Cotter J.M., Holford D. 1992. Experimental-Design for Soil Gas Radon Monitoring. J Radioan Nucl Ch Ar., 161: 313-323.
- [14] Yeniçay F. 1971. Nuclear Physics. İstanbul University, İstanbul.
- [15] Disaster and Emergency Management Directorate Earthquake Department Directorate (AFAD). [www.deprem.gov.tr](http://www.deprem.gov.tr) (Access date: 14.04.2008).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Tiyosemikarbazit ve bis-1,2,4-triazol Türevlerinin Antikanser, Apoptotik ve Antibakteriyel Etkileri**

Gül den KOÇAK<sup>1\*</sup>, Emine AKDEMİR<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Bingöl  
<sup>2</sup>Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Bingöl  
(ORCID: 0000-0002-3890-0579) (ORCID: 0000-0003-1905-8344)

---

### **Öz**

Bu çalışmada, çıkış maddesi piridin-2,5-dikarbohidrazin (2) ile tiyosemikarbazit türevleri [2,2'-(piridin-2,5-diildikarbonil-bis(N-etilhidrazinkarbotiyoamid) (3B) ve 2,2'-(piridin-2,5-diildikarbonil)-bis(N-(p-metoksifenil)hidrazinkarbotiyoamid) (3C)] ve bu bileşiklerin halkalaşmasından oluşan bis-1,2,4-triazol türevlerinin [5,5'-piridin-2,5-diilbis(4-etil-4H-1,2,4-triazol-3-tiyol) (4B) ve 5,5'-piridin-2,5-diilbis[4-(4-metoksifenil)-4H-1,2,4-triazol-3-tiyol)] (4C)] *in vitro* ortamda prostat kanser hücre hattı (PC-3) üzerindeki antikanser ve apoptotik etkileri ile bazı gram pozitif ve gram negatif bakteriler üzerindeki antibakteriyel etkileri belirlenmiştir. Antikanser etki sonuçlarına göre tüm maddelerin artan konsantrasyonlara bağlı olarak canlı kanser hücre sayısında azalma tespit edilmiştir. Tüm uygulanan maddelerde en yüksek sitotoksik etkinin 500 µM konsantrasyonda olduğu belirlenmiştir. Tüm maddelerin apoptozu tetiklediği belirlenmiş olup apoptotik indeks oranlarına bakıldığında en düşük apoptotik indeks oranı 4B maddesi uygulandığında, en yüksek apoptotik indeks oranı ise 3C maddesi uygulandığında tespit edilmiştir. Antibakteriyel çalışmada tüm bileşiklerin gram pozitif bakteriler üzerinde gram negatiflere nazaran daha fazla etkili olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** PC-3, tiyosemikarbazit, triazol, antikanser, apoptotik etki, antibakteriyel etki.

---

## **Anticancer, Apoptotic and Antibacterial, Effects of Thiosemicarbazid and bis-1,2,4-Triazole Derivatives**

---

### **Abstract**

In this study *in vitro* anticancer and apoptotic activities on the prostate cell line (PC-3) and antibacterial effects on some gram positive and gram negative bacteria of pyridine-2,5-dicarbohydrazine and synthesized thiosemicarbazide derivatives [2,2'-(pyridine-2,5-diylldicarbonyl)-bis(N-ethylhydrazinecarbothioamide) (3B) and [2,2'-(pyridine-2,5-diylldicarbonyl)-bis[N-(p-methoxyphenyl)hydrazinecarbothioamide] (3C)] and bis-1,2,4-triazole-3-thiol derivatives [5,5'-pyridine-2,5-diylbis(4-ethyl-4H-1,2,4-triazole3-thiol) (4B) and 5,5'-pyridine-2,5-diylbis(4-(4-methoxy-phenyl)-4H1,2,4-triazole-3-thiol) (4C)] were determined. According to the results of cytotoxic studies cell numbers decreased by the concentration increase of all compounds. The maximum cytotoxic effects were found on 500 µM concentration. As a result of apoptotic activity it is found out that all of the compounds triggered the apoptosis and the lowest index was on 4B and the highest index was on 3C compounds. Antibacterial tests showed that all compounds used in this study were more effective on gram positive bacteria than gram negative bacteria.

**Keywords:** PC-3, thiosemicarbazid, triazole, anticancer, apoptotic effects, antibacterial effects.

---

### **1. Giriş**

Prostat kanseri dünya genelinde ve ülkemizde erkeklerde en sık görülen kanser tiplerinden birisidir. 2018 yılı küresel kanser istatistik verilerine göre prostat kanseri dünyada erkekler arasında en sık ikinci görülen kanser tipi iken kansere bağlı ölümlerde beşinci sırada bulunmaktadır [1]. Endojen risk faktörleri arasında aile geçmişi, hormonlar, ırk, yaş ve oksidatif stres, eksojen risk faktörleri arasında ise

---

\*Sorumlu yazar: [gkocak@bingol.edu.tr](mailto:gkocak@bingol.edu.tr)

Geliş Tarihi: 23.01.2020, Kabul Tarihi: 28.04.2020

diyet, çevresel ajanlar ve meslek seçimi sayılabilir [2]. Yaşa bağlı olarak görülme sıklığı değişmekte olup 0-39 yaş erkeklerde rastlanma olasılığı %0.01, 40-59 yaş erkeklerde %2.58 ve 60-79 yaş erkeklerde %14.7 olarak tespit edilmiştir [3].

Günümüzde, polifonksiyonel ve heteroatom ihtiva eden halkalı bileşiklerinden antioksidan, antimikrobiyal ve antikanser özelliklerine sahip olanların sentezi önemli olup; biyokimya, tıp ve eczacılık gibi çok önemli disiplinlerde kullanım alanı bulabilmektedir [4, 5]. Triazoller eşsiz yapı ve özelliklerinden dolayı tıp ve tarımsal kimya gibi birçok bilim dalının dikkatini çekmektedir [6]. Son yıllarda 1,2,4-triazollerin heterosiklik türevleri üzerindeki çalışmalar sentetik ve biyolojik öneminden dolayı giderek artmaktadır [4]. Bugüne kadar yapılan çeşitli çalışmalarda antifungal, antikolsüvan, anti-tüberküloz, antioksidan, anti-enflamatuar, antikanser ve antimikrobiyal aktivitelerinin olduğu rapor edilmiştir [7-12] Aynı zamanda korozyon önleyici [13], pestisit [14], boya [15], asit baz indikatörü [16] ve endüstriyel kimyasallar [17] olarak diğer kullanım alanları da mevcuttur.

Antimikrobiyal ilaç olarak sıkça kullanılan azol grubu triazoller arasında flukonazol, itrakonazol, terkonazol, posakonazol ve vorikonazol sayılabilir. Bununla beraber diğer triazol ilaçlar arasında sayılabilecekler şu şekildedir; vorozole, letrozol ve anastrozol kanser tedavisinde non-steroidal ilaçlar olarak kullanılmaktadırlar; ribavirin bir nükleosit olmaya ters transkriptaz inhibitörüdür ve çok etkili bir antiviral ajan olup DNA ve RNA virüslerinde çok ciddi etkiler gösterir; rizatriptan, antimigren ajanıdır, trazodon antidepresan olarak trapidil hipotansif; benatradin, diüretik ve etoperidon antidepresan olarak kullanılmaktadır [4, 18].

İlk defa bu çalışma ile piridin-2,5-dikarbohidrazin çıkış bileşiği (2) ile tiyosemikarbazit türevleri [2,2'-(piridin-2,5-diildikarbonil-bis(N-etilhidrazinkarbotiyoamit) (3B) ve 2,2'-(piridin-2,5-diildikarbonil)bis(N-(p-metoksifenil)hidrazinkarbotiyoamit (3C)] ve bu bileşiklerin halkalaşmasında oluşan bis-1,2,4-triazol türevlerinin [5,5-piridin-2,5-diilbis(4-etil-4H-1,2,4-triazol-3-tiyol) (4B) ve 5,5'-piridin-2,5-diilbis[4-(4-metoksifenil)-4H-1,2,4-triazol-3-tiyol] (4C) ] *in vitro* ortamda prostat kanser hücre hattı PC-3 üzerindeki antikanser ve apoptotik aktivitesi ile bazı gram pozitif ve gram negatif bakteriler üzerindeki antibakteriyel etkilerinin belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. PC-3 hücre kültürü

PC-3 hücre kültürü büyüme ortamı hazırlamak için 89 mL RPMI 1640 (%1 L-glutamin, %1 sodyum pirüvat ve sodyum bikarbonat içeren), 10 mL fetal calf serumu ve 1 mL penisillin-streptomisin [penisilin (100 U/mL), streptomisin (100 µg/mL)] medium kabında karıştırıldı. Her kullanımdan önce taze hazırlandı.

### 2.2. Bakteri Büyüme Ortamı

Antimikrobiyal testte kullanılacak bakteri kültürlerini hazırlamak için, 34 gr Müller Hinton agar distile su ile 1000 mL'ye tamamlandı. Magnetik karıştırıcı ile homojen hale getirildi. Daha sonra otoklavda 120°C'de 15 dk boyunca steril hale getirilen besiyeri steril petri kaplarına döküldü. Steril ortamda soğumaları beklendi ve +4°C'de saklandı.

### 2.3. Hücre Hatları

Hazırlanan maddelerin *in-vitro* antikanser aktivite potansiyellerini belirlemek amacıyla deneylerimizde prostat kanser hücre hattı olan PC-3 kullanıldı. PC-3 hücre hatları ODTÜ Biyoloji bölümünden temin edilmiştir. Bingöl Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvar Hücre Kültürü Laboratuvarında sıvı nitrojende saklanmaktadır.

### 2.4. Tiyosemikarbazit ve 1,2,4-triazol türevleri

Bu çalışmada kullanılan tiyosemikarbazit ve 1,2,4-triazol türevleri, Bingöl Üniversitesi Kimya Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Ahmet Çetin tarafından sentez edilmiştir. 2 numaralı çıkış bileşiğinin hidrazit uçları etil izotiyosiyanat grubu ile türevlendirilerek 3B bileşiği elde edilmiştir. Sonra bileşiğin her iki



hidrazit ucuda p-metilizotiyosiyanat grubu ile türevlendirilerek 3C bileşiği elde edilmiştir. Oluşan bu alkil (3B) ve ariltiyosinat (3C) grubu bileşikleri hidrolize edilerek 1,2,4-triazol-3-tiyol gruplarına halkalaşmaları sonucu 3B bileşiği 4B'ye, 3C bileşiği de 4C'ye dönüşmüştür. Sonuç olarak 2 numaralı piridin-2,5-dikarbahidrazit bileşiğinin fonksiyonel uçları alkil ve aril grupları ile modifiye edilmiştir. Sonrasında bu modifiye bileşiklerin 1,2,-4 triazol halkasına dönüşümleri sağlanmıştır [5, 19].

## 2.5. Bakteri Suşları

Bu çalışmada kullanılan bakteri suşları (*Bacillus subtilis* ATCC 6337, *Brevibacillus brevis*, *Bacillus megaterium* DSM 32, *Bacillus subtilis* IM 622, *Bacillus cereus* EMC 19, *Staphylococcus aureus* 6538P, *Listeria monocytogenes* NCTC 5348, *Salmonella typhimurium* NRRLE 4413, *Pseudomonas fluorescens*, *Enterobacter aerogenes* CCM 2531, *Klebsiella pneumoniae* EMCS, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Proteus vulgaris* FMC II, *Proteus vulgaris Salmonella enterica* ATTC 13311) Bingöl Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü Doç. Dr. Fethi Ahmet Özdemir'den temin edilmiştir. Bakteri suşları Bingöl Üniversitesi Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü Laboratuvarında saklanmaktadır.

## 2.6. Madde Ekstraktlarının PC-3 İçeren Plaklara Ekilmesi

PC-3 hücreleri %5 CO<sub>2</sub>'li inkübatörde 37°C'de 25 cm<sup>2</sup>'lik hücre kültür flasklarında yeterli sayıda çoğaltıldı, sonra her flasktan eski büyüme ortamı 5 mL' lik serolojik pipet kullanılarak otomatik pipetle tamamen çekilerek uzaklaştırıldı. Ölü hücreleri flasktan uzaklaştırabilmek için her flaska 1 mL PBS eklendi ve hücrelerin PBS ile tamamen yıkanması sağlandı. Eklenen PBS tekrar çekilerek uzaklaştırıldı. Hücreleri kaldırmak için her flaska 1 mL tripsin-EDTA enzimi eklenerek %5 CO<sub>2</sub> atmosferli inkübatörde 3 dk inkübe edildi. Daha sonra her flaska 1 mL RPMI-1640 büyüme ortamı eklenerek tripsin enziminin etkisi giderildi. Her flaskdan tamamı otomatik pipetle çekilerek 15 mL falkon tüpüne aktarıldı. Falkon tüpteki hücreler 500 rpm'de 2 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatant kısmı uzaklaştırıldı. Hücrelerin üzerine 1 mL RPMI 1640 büyüme ortamı eklendi ve hücrelerin büyüme ortamıyla iyice karışması sağlandı. Hücre sayımı için falkon tüpten mikropipet kullanılarak 10 µL örnek alındı ve endoporf tüpe konulup üzerine 10 µL tripan blue eklendi ve iyice karışması sağlandı.

## 2.7. WST-1 Hücre Canlılık Testi

Hücre canlılık testi WST-1 hücre canlılık kiti protokolüne göre yapıldı. Hemositometre ile yaşayan hücreler sayıldı. 96 kuyucuklu plakalara hücre ekimi yapılacağı için her kuyucukta yaklaşık 2x10<sup>4</sup> hücre olacak şekilde kullanıldı. Hücre ve büyüme ortamı miktarı hesaplandı. Büyüme ortamı eklenerek 15 mL falkon tüp içinde hazırlandı. Her kuyucuğa 100 µL hücre konduktan sonra hücreler %5 CO<sub>2</sub>'li inkübatörde çoğalmaları için 24 saat inkübe edildi. Örneklerden, 10, 25, 50, 100, 250, 500 µM tartıldı ve 1.5 mL endoporf tüp içerisinde 20 mL DMSO içinde çözünerek istenen konsantrasyon hazırlandı. Üzerine 1000 µM lara tamamlayacak kadar RPMI 1640 besiyeri eklendi ve 1000 µM stok çözelti hazırlandı. Hazırlanan konsantrasyon sonikatörle iyice karıştırıldı, karışan bu maddelerin besiyeri içerisinde homejen olarak dağılması sağlandı. Tüm kuyucuklardaki besiyeri hücrelere zarar vermeyecek şekilde mikro pipetle çekildi ve ortamdan uzaklaştırıldı. PC-3 hücreleri, 5-100 µg/mL olacak konsantrasyonlarda madde ekstraktına sahip olan besiyeri ile %5 CO<sub>2</sub>'li inkübatörde 24 saat inkübe edildi ve örneklerin hücrelere etki etmesi beklendi. Kontrol grubu olarak kuyucuklara sadece 100 µM RPMI 1640 besiyeri ilave edildi. 24 saat inkübasyon sonunda her bir kuyucuğa 15 µL WST-1 maddesi eklendi. Hücreler %5 CO<sub>2</sub>'li inkübatörde 37°C'de 4 saat inkübe edildi. 4 saat inkübasyondan sonra 96 gözlü plak ELISA reader cihazına yerleştirildi ve her bir kuyucuğun 450-630 nm deki absorbans değerleri alındı ve kaydedildi.

## 2.8. Apoptaz Kaspaz 3 Assay Kit[C]

Hücreler kültür ortamında çoğaltıldı. Üzerine 500 µM lik konsantrasyonlarda hazırlanan 2, 3B, 3C, 4B ve 4C maddelerinden her bir kuyucuğa 100 µM eklendi. 24 saat inkübe edildi. 2X reaksiyon bufferden 50 µL alındı. Toplamda 750 µL 2X bufferdan 7,5 µL DDT den alındı ve karıştırıldı. Her bir kuyucuğa

50 µL Cell Lysis bufferdan konuldu. Hücreler 10 dakika boyunca buz üzerinde inkübe edildi. Her bir örneği mikrosantrifüjde [10.000Xg] 1 dakika santrifüj edildi. Süpernatantı alındı ve direk buza konuldu. Her bir örnekten 50 µL alındı ve üzerine 50 µL 2X reaksiyon bufferdan ve 5 µL DEVP PNA' dan konuldu. 37 °C'de 1-2 saat bekletildi. 400-405 nm deki absorbands değerleri ölçüldü.

## 2.9. Antimikrobiyal Etkinin İncelenmesi

Çalışmada maddelerin antimikrobiyal etkinlikleri disk difüzyon yöntemi kullanılarak belirlendi [20]. Bir gece önceden sıvı besi ortamında inkübasyona bırakılan bakteri kültürlerinden steril ve tek kullanımlık petriyer içerisine McFarland standardına göre ayarlanan  $10^6$  hücre/mL bakteri süspansiyonu bırakıldı ve 15 mL'lik Müeller Hinton Agar üzerine ekildi. Drigalski çubuğu ile iyice yayıldı. DMSO içinde çözünerek hazırlanan 1000 µM lik 2, 3B, 3C, 4B ve 4C maddelerinden 20 µL madde alınarak disklere emdirildi. Diskler steril pens ile besiyerine yerleştirildi. 1 saat +4°C'deki buzdolabında bekletildi. Daha sonra 37°C'lik inkübatörde 24 saat inkübe edildi. Zon çapları ölçüldü [21]. Sonuçlar kaydedildi. Her deney 3 set halinde kontrol örnekle birlikte tekrarlandı.

## 2.10. İstatistiksel Analizler

Tüm verilerin istatistiksel analizi Graphpad Prism 5.0 programı Student's two-tailed t-testine göre yapıldı. Tüm sonuçlar ortalama ve ± standart sapma olarak verildi ve %95 güven aralığında 0,05'in altındaki p değerleri, istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

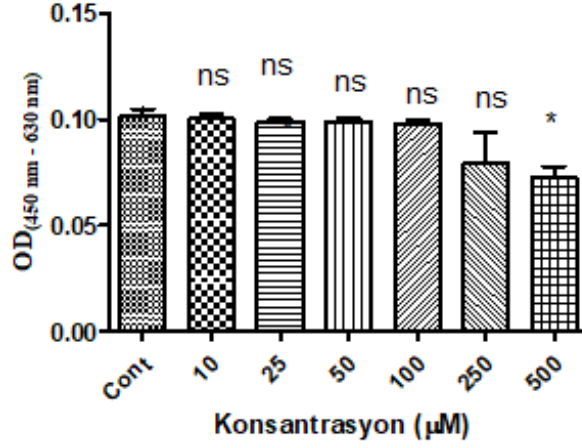
## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Antikanser Çalışmaları

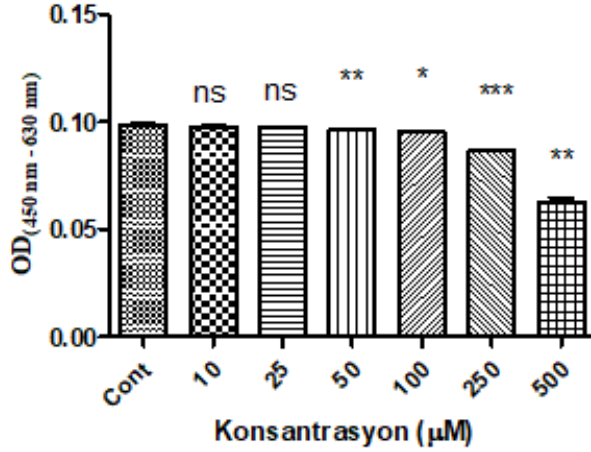
Çalışmamızda tiyosemikarbazit ve 1,2,4-triazol türevlerinin ön denemeler sonucunda belirlenen konsantrasyon değerlerine göre PC-3 hücre kültürlerinde WST-1 yöntemi kullanılarak sitotoksik aktivite değerleri ortaya konulmuştur. Sitotoksik etkileri araştırılan maddelerin farklı konsantrasyonlarının 24 saatlik inkübasyon sonrası değerleri ölçülmüştür. 2 ve 3B maddelerinde artan konsantrasyonuna bağlı olarak hücre sayısının 10 µM, 25 µM, 50 µM, 100 µM konsantrasyonlarda kontrole yakın olduğu görülmüştür (Şekil 1, Şekil 2). 250 µM de hücre sayısında azalma görülmekle beraber en yüksek sitotoksik etkinin 500 µM konsantrasyonda olduğu belirlenmiştir. 3C, 4B ve 4C maddelerinin artan konsantrasyonuna bağlı olarak canlı kanser hücre sayısının giderek azaldığı görülmüştür. En yüksek sitotoksik etkinin 500 µM konsantrasyonda olduğu belirlenmiştir (Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5).

Triazol ilaçlar günümüzde çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; vorozole, letrozol ve anastrozol kanser tedavisinde non-steroidal ilaçlar olarak kullanılmaktadırlar [4]. 4-fluoro-3-phenoxyphenyl ve 2,4-dichloro-5-fluorophenyl içeren 1,2,4- triazol[3,4-b]thiadiazol ve 1,3,4-oxadiazol türevlerinden bazılarının, lösemi, kolon kanseri, akciğer kanseri, renal kanser, prostat kanseri ve göğüs kanseri hücre hatları üzerinde oldukça yüksek antikanser özellikleri olduğu rapor edilmiştir [22]. 1,2,4,-triazollerin türevlerinin özellikle lösemi, yumurtalık ve renal kanser hücre hatları üzerindeki etkilerine olduğu saptanmıştır [23]. Başka bir çalışmada bu tür türevlerden bazılarının MCF7, NCI-H460 ve CNS (SF-268) hücreleri üzerindeki antikanser özellikleri olduğu belirtilmiştir [24]. Yine, bazı 1,2,4- triazol türevlerinin antikanser özellikleri kolon adenokarsinoma hücre hattı (LS180) üzerinde çalışılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır [25].

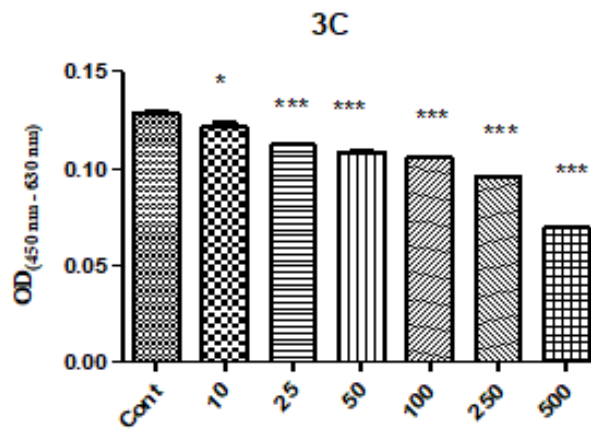
Bulut ve diğerleri [5] sentezledikleri 1,2,4-triazol (4B ve 4C) ve tiyosemikarbazit (3B ve 3C) maddelerinin biyolojik aktivite çalışmalarında, bileşiklerin başlangıç maddelerine nazaran daha yüksek antioksidan aktivite gösterdiği ve yine tiyosemikarbazit bileşiklerin yüksek indirgeme kapasiteleri olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ise tüm maddelerin PC-3 hücre hattı üzerinde WST-1 metodu ile sitotoksik etki gösterdiği tespit edilmiş ve uygulanan maddelerin konsantrasyonları arttıkça sitotoksik etkilerinin paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.



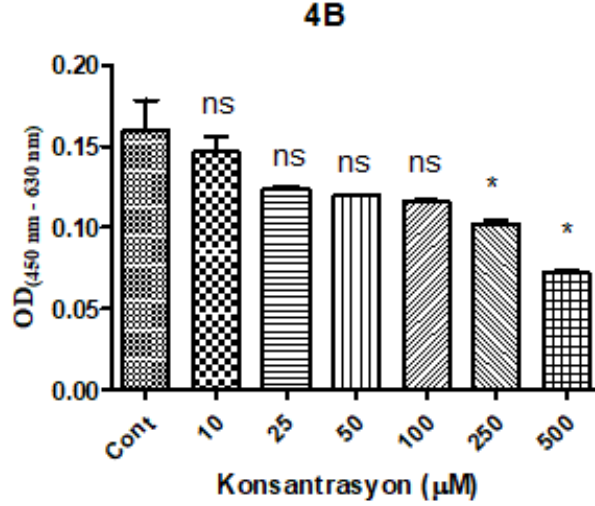
Şekil 1. PC-3 hücre hattında farklı konantrasyonlardaki 2 maddesinin sitotoksik değeri. Tüm veriler üç deneyin ortalaması ve  $\pm$  SEM olarak ifade edildi. Kontrolle karşı; \*  $P < 0,05$ , ns  $P > 0,05$  (Student's two-tailed t-test)



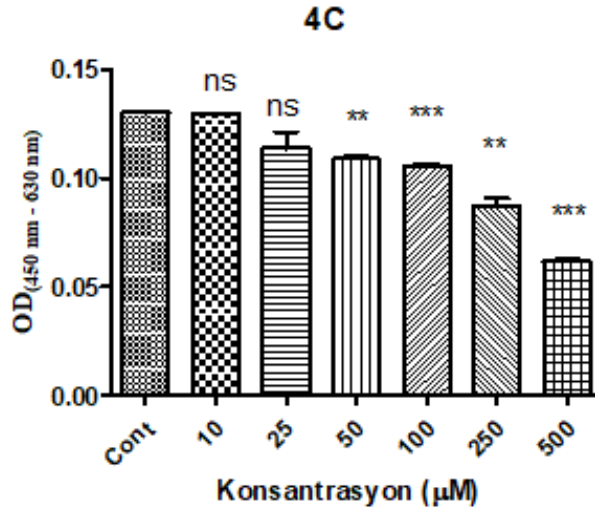
Şekil 2. PC-3 hücre hattında farklı konantrasyonlardaki 3B maddesinin sitotoksik değeri. Tüm veriler üç deneyin ortalaması ve  $\pm$  SEM olarak ifade edildi. Kontrolle karşı; \*\*\*  $P < 0,001$ , \*\*  $P < 0,01$ , \*  $P < 0,05$ , ns  $P > 0,05$  (Student's two-tailed t-test)



Şekil 3. PC-3 hücre hattında farklı konantrasyonlardaki 3C maddesinin sitotoksik değeri. Tüm veriler üç deneyin ortalaması ve  $\pm$  SEM olarak ifade edildi. Kontrolle karşı; \*\*\*  $P < 0,001$ , \*  $P < 0,05$ , ns  $P > 0,05$  (Student's two-tailed t-test)



**Şekil 4.** PC-3 hücre hattında farklı konsantrasyonlardaki 4B maddesinin sitotoksik değerleri. Tüm veriler üç deneyin ortalaması ve  $\pm$  SEM olarak ifade edildi. Kontrole karşı; \*  $P < 0,05$ , <sup>ns</sup>  $P > 0,05$  (Student's two-tailed t-test)

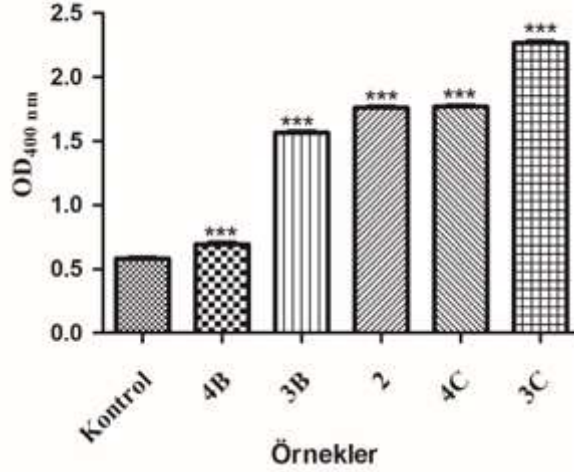


**Şekil 5.** PC-3 hücre hattında farklı konsantrasyonlardaki 4C maddesinin sitotoksik değerinin belirlenmesi. Tüm veriler üç deneyin ortalaması ve  $\pm$  SEM olarak ifade edildi. Kontrole karşı; \*\*\*  $P < 0,001$ , \*\*  $P < 0,01$ , <sup>ns</sup>  $P > 0,05$  (Student's two-tailed t-test)

### 3.2. Apoptoz-Kaspaz-3 Analizi

Kaspazlar olarak adlandırılan proteinler, programlanmış hücre ölümünün (apoptoz) en önemli kritik anahtarıdır. Kaspazlar arasında, kaspaz-3, apoptozda birçok önemli hücre proteininin özel bölgelerinden parçalanmasını katalizleyen ve böylelikle hücre ölümü aktive eden bir ölüm proteazıdır. Kaspaz-3 bazı tipik apoptoz belirteçleri için de gereklidir ve incelenen tüm hücre tiplerinde apoptotik kromatin yoğunlaşması ve DNA fragmentasyonu için vazgeçilmezdir. Bu nedenle kaspaz-3, hücrenin sökülmesi ve apoptotik cisimlerin oluşumu ile bağlantılı bazı işlemler için şarttır [26].

Bu çalışmada PC-3 hücrelerine uygulanan ve sitotoksik etkisi daha önceden tespit edilen tiyosemikarbazit ve 1,2,4-triazol türevlerinin 500  $\mu\text{M}$ 'lık konsantrasyonları ile oluşan kaspaz-3 miktarları kolorimetrik yöntemler ile ölçülmüş ve sonuçlar apoptotik indeks oranlarına göre değerlendirilmiştir. Buna göre Şekil 6'da görüldüğü üzere 2, 3B, 3C, 4B ve 4C maddeleri arasında apoptotik indeks oranı 4B maddesi uygulandığında en düşük, 3C maddesi uygulandığında ise en yüksek değer aldığı tespit edilmiştir.



Şekil 6. PC-3 hücre hattında 4B, 4C, 3B ve 3C maddelerinin apoptotik etkilerinin belirlenmesi. Tüm veriler üç deneyin ortalaması ve  $\pm$  SEM olarak ifade edildi. Kontrolle karşı; \*\*\* P < 0,001, (Student's two-tailed t-test)

### 3.3. Antimikrobiyal Etkinin İncelenmesi

Antimikrobiyal etki çalışmalarının sonuçları Tablo 1'de gösterilmektedir. Buna göre, 2 numaralı madde uygulandığında en fazla etkinin *Listeria monocytogenes* NCTC 5348'de (zon çapı 9 mm) görüldüğü; en az etkinin ise *Pseudomonas aeruginosa* DSM 50070 ve *Proteus vulgaris* FMC II (zon çapı 1 mm) suşlarında görüldüğü tespit edilmiştir. *Proteus vulgaris* test suşunda ise herhangi bir antimikrobiyal etki kaydedilmemiştir. 3B maddesi en fazla gram pozitif bir bakteri olan *Bacillus megaterium* DSM 32 üzerinde etki göstermiştir ve inhibisyon çapı 20 mm olarak ölçülmüştür. En az inhibisyon çapı ise *Salmonella enterica* ATTC 13311 üzerinde 8 mm olarak tespit edilmiştir. 3C maddesi uygulandığında en fazla etkinin *Staphylococcus aureus* 6538P üzerinde olduğu ölçülmüş olup inhibisyon çapı zon çapı 12 mm olarak belirlenmiştir. En az etki 4 mm inhibisyon çapı ile *Pseudomonas aeruginosa* DSM 50070 üzerinde ölçülmüştür. 4B maddesi ile yapılan deney sonuçlarına göre en fazla etki *Brevibacillus brevis* ve *Staphylococcus aureus* 6538P suşlarında görülmüştür ve bu bakterilerin her ikisi de gram pozitif bakteridir ve inhibisyon zon çapları 10 mm olarak ölçülmüştür. En az etkinin ise gram negatif bakterileri olan *Enterobacter aerogenes* CCM 2531 ve *Proteus vulgaris* FMC II suşlarında görülmüştür, inhibisyon zon çapları her ikisinde de 4 mm olarak ölçülmüştür. Bununla beraber *Proteus vulgaris* suşu üzerine ise herhangi bir inhibisyon etkisi olmamıştır. Disk difüzyon yöntemi sonuçlarına göre 4C maddesi, gram pozitifler üzerinde 6-8 mm arasında; gram negatifler üzerinde ise 2-5 mm arasında inhibisyon zonları oluşturarak antimikrobiyal aktivite gösterdiği tespit edilmiştir. Gram negatifler üzerinde ise 2-5 mm arasında inhibisyon zonları oluşturmuştur. Ayrıca en fazla etki *Brevibacillus brevis*, *Bacillus megaterium* DSM 32 ve *Listeria monocytogenes* NCTC 5348 suşlarında olup zon çapları 8 mm olarak, en az etki ise gram negatif bakteri olan *Pseudomonas aeruginosa* DSM 50070 suşunda olup zon çapı 2 mm olarak ölçülmüştür.

1,2,4-triazol3-benzilsulfanil türevleri ile yapılan *in vitro* çalışmalarda *Mycobacterium tuberculosis*, *M. avium*, ve *M. kansasii* üzerinde antibakteriyel özellikleri olduğu yayınlanmıştır [27]. Başka bir çalışmada bazı sentezlenmiş 1,2,4-triazole türevlerinin gram negatif bakteriler (*S. aureus* ve *B. subtilis*) ve gram pozitif bakteriler (*P. aeruginosa* ve *E. coli*) üzerinde etkinlikleri olumlu sonuçlar alınmıştır [28]. Çalışmamızda yapılan antibakteriyel ölçümlerde genel olarak tüm maddeler gram pozitifler üzerinde daha etkili olduğu tespit edilmiş, 3B ve 3C maddeleriyle gerçekleştirilen disk difüzyon testinde en yüksek zon çapları ölçülmüştür.

**Tablo1.** Maddelerin farklı bakteri türlerine karşı disk difüzyon duyarlılık testi sonuçları

		Maddelerin zon çapları (mm)				
		2	3b	3c	4b	4c
<b>Mikroorganizma</b>						
<b>Gram pozitif bakteriler</b>	<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6337	8	13	11	9	7
	<i>Brevibacillus brevis</i>	6	15	12	10	8
	<i>Bacillus megaterium</i> DSM 32	8	20	11	9	8
	<i>Bacillus subtilis</i> IM 622	7	14	9	8	7
	<i>Bacillus cereus</i> EMC 19	6	16	10	9	7
	<i>Staphylococcus aureus</i> 6538P	7	17	13	10	6
	<i>Listeria monocytogenes</i> NCTC 5348	9	14	11	9	8
<b>Gram negatif bakteriler</b>	<i>Salmonella typhimurium</i> NRRLE 4413	3	12	9	5	4
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	4	9	8	6	5
	<i>Enterobacter aerogenes</i> CCM 2531	3	12	8	4	3
	<i>Klebsiella pneumoniae</i> EMCS	3	11	5	5	4
	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	2	11	6	6	5
	<i>Proteus vulgaris</i> FMC II	1	12	6	4	3
	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> DSM 50070	1	9	4	5	2
	<i>Proteus vulgaris</i>	0	10	6	0	3
	<i>Salmonella enterica</i> ATTC 13311	2	8	7	6	3
DMSO	0	0	0	0	0	

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde en çok ölümlerle sonuçlanan hastalıklardan biri olan kanserin tedavisi için de bugüne kadar değişik yöntemler geliştirilmiş ve bu bağlamda değişik yapılara sahip bileşikler tedavi edilme amaçlarıyla sentez edilmiştir. Yine pek çok bileşiğin antibakteriyel özellikleri tıbbi alanda kullanımlar için araştırılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan maddelerin daha önceki çalışmada gösterildiği üzere yüksek antioksidan kapasiteye sahip olmaları aynı zamanda antikanser, antimikrobiyal ve apoptotik etkilerinin tespiti kanser başta olmak üzere pek çok hastalığın tedavisinde kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca *in vivo* analizler ile daha detaylı araştırmalar yapılması ön görülmektedir.

#### Teşekkür

Bu araştırma Bingöl Üniversitesi BÜBAP (proje numarası BAP-712-297-2015) tarafından desteklenmiştir. Kimyasal bileşiklerin teminini sağlayan Prof. Dr. Ahmet ÇETİN'e ve bakteriyel suşların teminini sağlayan Doç. Dr. Fethi Ahmet ÖZDEMİR'e teşekkür ederiz.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmada 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] Bray F., Ferlay J., Soerjomataram I., Siegel R.L., Torre L.A., Jemal A. 2018. Global Cancer Statistics 2018 GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. CA: Cancer Journal of Clinicians, 68: 394-424.

- [2] Bostwick D.G., Burke H.B., Djakiew D., Euling S., Ho S.M., Landolph J., Morrison H., Sonawane B., Shifflett T., Waters D.J., Timms B. 2004. Human prostate cancer risk factors. *Cancer*, 101 (10): 2371-2490.
- [3] Jemal A., Murray T., Ward E., Samuels A., Tiwari R.C., Ghafoor A., Thun M.J. 2005. Cancer statistics, 2005. *CA: Cancer Journal for Clinicians*, 55: 10-30.
- [4] Banerjee S., Ganguly S., Sen K.K. 2013. A Review on 1, 2, 4 –Triazoles. *Journal of Advanced Pharmacy Education & Research*, 3 (3): 102-115.
- [5] Bulut N., Kocyigit U.M., Gecibesler I.H., Dastan T., Karci H., Taslimi P., Dastan S.D., Gulcin I., Cetin A. 2018. Synthesis of some novel pyridine compounds containing bis-1,2,4-triazole/thiosemicarbazidemoiety and investigation of their antioxidant properties, carbonic anhydrase, and acetylcholinesterase enzymes inhibition profiles. *Journal of Biochemical Molecular Toxicology*, DOI: 10.1002/jbt.22006, 1-10.
- [6] Mothes-Wagner U., Reitze H.K., Seitz K.A. 1990. Environmental actions of agrochemicals 1. Side-effects of the herbicide 3-amino-1,2,4-triazole on a laboratory acarine/host-plant interaction (*Tetranychus urticae/Phaseolus vulgaris*) as revealed by electron microscopy. *Experimental and Applied Acarology*, 8 (2): 27-40.
- [7] Taj T., Kamble R.R., Gireesh T., Badami B.V. 2011. An expendeditious green synthesis of bases and azetidiones derivatised with 1,2,4-triazoles. *Journal of Chemical Sciences*, 123 (5): 657-666.
- [8] Hassan F.A., Younus K.W. 2012. Biological evaluation of some azole derivatives in cooling fluids (Lubricant Oils). *Research Journal of Biological Sciences*, 7 (1): 48-51.
- [9] Abdullah H.M., Jassim I.K., Safi M.N. 2012. Synthesis and characterization of new heterocyclic compounds with studying its biological activity. *Kerbala Journal of Pharmaceutical Sciences*, 4: 119-135.
- [10] Jabar A., Al-Mufgeiy S.S. 2012. Synthesis and antibacterial activities of new 3-amino-2-methylquinazolin-4(3h)-one derivatives. *American Journal of Chemistry*, 2 (3): 150-156.
- [11] Pardeshi S.P., Patil S.V., Patil R., Bobade V.D. 2014. Synthesis and antimicrobial activities of some 1,2,4- triazolo[3,4-b][1,3,4]thiadiazoles and 1,2,4-triazolo [3,4-b][1,3,4]thiadiazines bearing bistrifluoromethyl phenyl moiety. *Journal of Chemical Pharmaceutical Research*, 6 (4): 675-681.
- [12] Bekircan O., Mentşe E., Ülker S., Kucuk C. 2014. synthesis of some new 1,2,4-triazole derivatives starting from 3-(4-chlorophenyl)-5-(4-methoxybenzyl)-4h-1,2,4-triazol with anti-lipase and anti-urease activities. *Archiv der Pharmazie Chemistry Life Sciences*, 347: 387-397.
- [13] Sripriya S., Subha C., Selvaraj A. 2013. The inhibition chemistry of 2-amino, 5-phenyl 1, 3, 4-triazole for aluminium in hydrochloric acid solution. *IOSR-Journal of Applied Chemistry*, 6 (2): 25-29.
- [14] Sengupta A.K., Garg M. 1988. Studies on potential pesticides-part xiv synthesis and biological activities of some new thiosemicarbazide and triazole derivatives. *Definition of Science*, 31 (2): 91-96.
- [15] Er J.C., Tang M.K., Chia C.G., Liew H., Vendrell M., Chang Y.T. 2014. Megastokes BODIPY-triazoles as environmentally sensitive turn-on fluorescent dyes. *Journal of Chemical Sciences*, 4: 2168-2176.
- [16] Bulut V.N., Duran C., Gundogdu A., Soylak M., Yildirim N., Tufekci M. 2010. A triazole derivatives as a new acid-base indicator. *Bulletin of the Chemical Society Ethiopia*, 24 (3): 457-460.
- [17] Cassani S., Kovarich S., Roy P.P., Van der Wal L., Gramatica P. 2013. Daphnia and fish toxicity of (benzo) triazoles: validated qsar models, and interspecies quantitative activity-activity modeling. *Journal of Hazardous Materials*, 258-259: 50-60.
- [18] Kisgen J. 2015. Lippincott Illustrated Reviews: Pharmacology 6<sup>th</sup> edition, Wolters Kluwer, Hong Kong.
- [19] Karci H. 2013. Yeni bis-1,2,4-triazol türevlerinin antioksidan aktivitelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bingöl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bingöl.
- [20] Benedict R.G., Brady L.R. 1972. Antimicrobial activity of mushroom metabolites. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 61 (11): 1820-1822.
- [21] Biemer J.J. 1973. Antimicrobial susceptibility testing by the kirby-bauer disc diffusion method. *Annals of Clinical Laboratory Science*, 3 (2): 135-140.

- [22] Subrahmanya B.K., Boja P., Jagadeesh P.D., Prashantha N., Shivarama H.B. 2009. Synthesis and antitumor activity studies of some new fused 1,2,4-triazole derivatives carrying 2,4-dichloro-5-fluorophenyl moiety. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 44: 5066-5070.
- [23] Al-Soud Y.A., Al-Dweri M.N., Al-Masoudi N.A. 2004. Synthesis, antitumor and antiviral properties of some 1,2,4-triazole derivatives. *Farmaco*, 59 (10): 775-783.
- [24] Demirbas N., Ugurluoglu R., Demirbas A. 2002. Synthesis of 3-Alkyl(Aryl)-4-alkylidenamino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones and 3-Alkyl-4-alkylamino-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-ones as Antitumor Agents. *Bioorganic and Medicinal Chemistry*, 10: 3717-3723.
- [25] Sztanke K., Tuzimski T., Rzymowska J., Pasternak K., Kandefer-Szerszen M. 2008. Synthesis, determination of the lipophilicity, anticancer and antimicrobial properties of some fused 1,2,4-triazole derivatives. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 43: 404-409.
- [26] Porter A.G., Jänicke R.U. 1999. Emerging roles of caspase-3 in apoptosis. *Cell Death and Differentiation*, 6: 99-145.
- [27] Klimešová V., Zahajská L., Waissner K., Kaustová J., Möllman U. 2004. Synthesis and antimycobacterial activity of 1,2,4-triazole 3-benzylsulfanyl derivatives. *Farmaco*, 59 (4): 279-288.
- [28] Jain R.K., Mishra V.K., Kashaw V. 2017. Synthesis and antimicrobial activity of some new 1,2,4-triazoles. *Asian Journal of Chemistry*, 29 (6):1317-1322.



*Araştırma Makalesi / Research Article*

***Saccharomyces cerevisiae*'de Hidrojen Peroksit ile Oluşturulan Oksidatif Hasara Karşı Karadut (*Morus nigra* L.) ve Kızılcık (*Cornus mas* L.)'ın Bazı Moleküler Biyolojik ve Biyokimyasal Parametreler Üzerine Etkisi**

Seda BEYAZ<sup>1</sup>, Lütfiye KADIOĞLU DALKILIÇ<sup>1</sup>, Özlem GÖK<sup>1</sup>, Abdullah ASLAN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölüm, Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Moleküler Biyoloji ve Genetik Programı, Elazığ, Türkiye  
(ORCID:0000-0003-0436-8112) (ORCID: 0000-0002-6791-3811)  
(ORCID:0000-0001-8521-6369) (ORCID:0000-0002-6243-4221)

**Öz**

Eski çağlardan beri hastalıkların önlenmesinde ve tedavi edilmesinde birçok bitki türünde yararlanılmıştır. Son yıllarda yapılan epidemiyolojik çalışmalar, karadut ve kızılcık meyvelerinin sağlığın korunması açısından oldukça önemli rollerinin olduğunu ortaya koymuştur. Karadut, antioksidan ve serbest radikalleri yakalama özelliği sayesinde güçlü terapötik etkiye sahiptir. Kızılcık (*Cornus mas* L.) meyvesinin fizikokimyasal ve antioksidan özelliklerinin yanı sıra yüksek oranda antosiyanin, fenolik bileşik ve askorbik asit içeriğine de sahip olduğu bilinmektedir. Ayrıca, antienflamatuar, antihistaminik, antialerjik ve antimikrobiyal gibi özellikleri bulunmaktadır. Bu çalışmada, karadut (*Morus nigra* L.) ve kızılcık (*Cornus mas* L.) meyvelerinin koruyucu etkisinin moleküler biyolojik ve biyokimyasal parametreler yönünden karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada 6 grup oluşturulmuştur. Gruplar: (i) Kontrol grubu; (ii) Karadut grubu; (iii) Kızılcık grubu; (iv) Karadut + Kızılcık grubu (v) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> grubu; (vi) Karadut + Kızılcık + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> grubu. *Saccharomyces cerevisiae* kültürleri 1 saat, 3 saat, 5 saat ve 24 saat boyunca 30 °C'de geliştirildi. Hücre gelişimi ve lipid peroksidasyonu MDA (malondialdehit) analizleri spektrofotometre ile belirlendi. Total protein değişiklikleri SDS-PAGE elektroforezi ile tespit edildi ve Bradford metodu ile hesaplandı. Elde edilen sonuçlara göre; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> grubu ile kıyaslandığında, Karadut + Kızılcık + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> grubunda (1, 3, 5 ve 24 saat) hücre gelişimi ve total protein sentezi artarken, MDA düzeyi azalış göstermiştir. Sonuç olarak karadut ve kızılcık *Saccharomyces cerevisiae* kültüründe oksidatif hasarı azaltmasının yanı sıra, hücre büyümesini ve total protein sentezini teşvik edici bir role sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Karadut, Kızılcık, Oksidatif Hasar, *Saccharomyces cerevisiae*, SDS-PAGE.

**Effect of Black Mulberry (*Morus nigra* L.) and Cranberry (*Cornus mas* L.) on Some Molecular Biological and Biochemical Parameters Against Oxidative Damage Caused by Hydrogen Peroxide in *Saccharomyces cerevisiae***

**Abstract**

Since ancient times, many plant species have been used in the prevention and treatment of diseases. Epidemiological studies in recent years have revealed that black mulberry and cranberry berries have a very important role in health protection. Black mulberry has a strong therapeutic effect thanks to its ability to capture antioxidants and free radicals. It is known that cranberry (*Cornus mas* L.) has high levels of anthocyanin, phenolic compound and ascorbic acid as well as physicochemical and antioxidant properties. In addition, it has properties such as antihistamine, antiallergic, antimicrobial and antimalarial. In this study, it was aimed to compare the protective effect of blackberry (*Morus nigra* L.) and cranberry (*Cornus mas* L.) fruits in terms of molecular biological and biochemical parameters. In this study 6 groups were formed. Groups: (i) Control group; (ii) Black mulberry extract group; (iii) Cranberry extract group; (iv) Black mulberry extract + Cranberry extract group; (v) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> group; (iv) Black mulberry extract + Cranberry extract group + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> group. *Saccharomyces cerevisiae* cultures were developed at 30 °C for 1 hour, 3 hours, 5 hours and 24 hours. Cell development and lipid peroxidation MDA (malondialdehyde) analyzes were determined by spectrophotometer. Total protein changes were determined by SDS-PAGE electrophoresis and calculated by the Bradford method. According to the results, cell development

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

Geliş Tarihi: 24.01.2020, Kabul Tarihi: 11.05.2020

and total protein synthesis increased in the Black mulberry extract + Cranberry extract group + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> group (1, 3, 5 and 24 hours) and MDA level decreased compared to the H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> group. As a result, black mulberry and cranberry extract has a role in promoting cell growth and total protein synthesis as well as reducing oxidative damage in *Saccharomyces cerevisiae* culture.

**Keywords:** H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Black mulberry, Cranberry, Oxidative Damage, *Saccharomyces cerevisiae*, SDS-PAGE.

## 1. Giriş

Son zamanlarda birçok meyvenin yüksek vitamin ve antioksidan içeriği nedeniyle hastalıkların önlenmesi ve tedavi edilmesinde oldukça fazla kullanıldığı tespit edilmiştir [1]. Karadut ve kıvılcık meyveleri zengin fenolik bileşik kaynağı olup yüksek antioksidan etkiye sahiptir [2]. Fenolik bileşikler, antiaterjenik, antiaterojenik, antienflamatuar, antimikrobiyal, antioksidan, antitrombotik, kalp hastalığı ve kanser gibi dejeneratif hastalıklara karşı koruma sağlamaktadır [1]. Özellikle son yıllarda literatürde yapılan çalışmalar, karadutun (*Morus nigra* L.) besleyici özellikleri yanında sağlığın korunması ve hastalıkların önlenmesinde oldukça etkili bir role sahip olduğu belirlenmiştir [3]. Genellikle karadut olarak bilinen *Morus* cinsi, 10-16 tür içerir ve Moraceae familyasına aittir. Bunlardan, *Morus alba*, *Morus rubra* ve *Morus nigra* en yaygın *Morus* türleri olarak bilinmektedir. *Morus nigra* Batı Asya'ya özgüdür ve Avrupa'da oldukça yaygın olup geleneksel tıpta sıkça kullanılmaktadır [4]. Karadut (*Morus nigra* L.) antioksidan, antienflamatuar, antikanser, antimikrobiyal, antifungal, cilt beyazlatma, antidiyabetik, antihiperlipidemik, antiaterosklerotik, antiobezite, kardiyoprotektif, kognitif arttırıcı, hepatoprotektif, antitrombosit, antioksidan, antidepresan, immünomodülatör aktiviteler ve diş eti hastalıklarına kadar bilinen pek çok hastalığın oluşma riskini azaltmakla birlikte yaşlanmayı geciktirici etkisinin olduğu belirlenmiştir [5]. Kıvılcık (*Cornus mas* L.) Cornaceae familyasına ait olup, çoğunlukla ağaç ve çalı formundaki çok yıllık bitkilerden oluşmaktadır. Özellikle Avrupa, Asya, Amerika ve Afrika ülkelerine yaygın bir şekilde yayılış göstermişlerdir [6]. Kıvılcık (*Cornus mas* L.) birçok mineral ve C vitamini bakımından oldukça zengindir. Çiçek, yaprak, meyve, çekirdek, kabuk ve kökleri antiseptik özelliği sayesinde yaraların tedavisinde mikroplara karşı ilaç olarak kullanılmaktadır [7]. Kıvılcık, diyabet, diyare, gastrointestinal bozukluklar, ateş, romatizmal ağrı, cilt ve idrar yolu enfeksiyonları, böbrek ve karaciğer hastalıkları gibi çeşitli hastalıkların önlenmesi ve tedavisi için fayda sağladığı tespit edilmiştir [6].

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Araştırma Grupları

Bu çalışmada, *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*)'de hidrojen peroksit ile oluşturulan hasara karşı, karadut ve kıvılcık meyvelerinin koruyucu etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 6 grup oluşturulmuştur. Gruplarımız; (i) Kontrol grubu; (ii) Karadut grubu (%10); (iii) Kıvılcık grubu (%10); (iv) Karadut (%10) + Kıvılcık (%10) grubu (v) H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> grubu (15 mM); (vi) Karadut (%10) + Kıvılcık (%10) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (15 mM) grubu.

### 2.2. Kültüre Karadut, Kıvılcık ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Uygulanması

*S. cerevisiae*'nin gelişim ortamı: Mayaların geliştirilmesi ve çoğaltılması için YEPD (350 ml için; 10.5 g maya özütü, 10.5 g tripton, 10.5 g glukoz) hazırlandı. Daha sonra 7 erlen alındı ve erlenlerin her birine hazırlanan 350 ml'lik besiyerden 50 ml eklendi. Otoklavda 121 °C 1 saat bekletildikten sonra çıkarılarak soğutulma işlemi gerçekleştirildi. Bek alevi yanında her bir erlene 800 µl maya ekimi yapıldı. Etüvde 20 dk bekletildikten sonra kör ölçümü yapıldı. %10'luk karadut ekstraktının hazırlanması için; 10 g karadut örneği 100 ml distile suda çözündü. %10 kıvılcık meyve ekstraktının hazırlanması için; 10 g kıvılcık örneği 100 ml distile suda çözündü. Ardından etüvden çıkarılan diğer erlenlere bek alevi yanında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, karadut ve kıvılcık ekstraktı eklendi. Grupların içeriğine göre karadut ve kıvılcık ekstraktlarından 1 ml, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'den 300 µl eklenerek 30 °C'de geliştirildi [8].

### 2.3. Hücre Gelişimi Ölçümleri

Kültür örnekleri 1 saat, 3 saat, 5 saat ve 24 saat boyunca (gece boyunca) 30 °C'de geliştirildi ve 600 nm dalga boyunda spektrofotometre kullanılarak ölçümleri yapıldı [8].

### 2.4. SDS-PAGE için Protein İzolasyonu

Kültür örneğinden 1 ml alınıp 13000 rpm'de 5 dakika santrifüj edildikten sonra pelet kısmı alınarak 500 µl TE (pH: 7.5) içerisinde çözüldü. Hücreler, sonikatör (Bandelin Sonopuls, Almanya) ile güç 2'de iki defa 10 saniye parçalandıktan sonra 5 dakika buz içerisinde bekletildi. Ardından 13000 rpm'de 10 dakika santrifüj edildi ve süpernatant kısmı alındı. SDS-PAGE çalışmaları için eşit miktarda örnek boyama solüsyonuyla karıştırıldı ve elektroforez için kullanıma hazır hale getirildi [9].

### 2.5. SDS-PAGE (Sodyum Dodesil Sülfat–Poliakrilamid Jel Elektroforez) Analizi

*S. cerevisiae* kültürlerinin protein örnekleri kuyulara yüklenmeden önce eşit miktarda SDS-PAGE SAB boyası ilavesinden sonra 5 dakika kaynatıldı. Elektroforez için 1 X tank tamponu kullanıldı ve proteinlerin jeldeki hareketinin izlenmesini sağlayan boyaya (bromofenol mavisi) ait mavi bant, jelin sonuna gelinceye kadar 20 mA akım uygulandı. Elektroforez sonrası jel, oda sıcaklığında 30 dk ile 1 saat süreyle Coomassie mavisi ile boyandı. Daha sonra jeldeki protein bantları görünür hale gelinceye kadar boya uzaklaştırıcı solüsyon ile yıkandı ve jel görüntüleri alınarak gruplar arasındaki protein bantları incelendi [10].

### 2.6. Total Protein Yoğunluğu Ölçümleri (Bradford)

Total protein yoğunluğu, Bradford yöntemine göre 595 nm'de (OD<sub>595</sub>) bir spektrofotometre kullanılarak gerçekleştirildi. BSA (bowin serum albümin) proteini kullanılarak farklı konsantrasyonlarda BSA protein standartları elde edildi. Buna göre, bu standart değere karşılık gelen *S. cerevisiae* gruplarındaki toplam protein miktarı hesaplanmıştır [8].

### 2.7. MDA (Malondialdehit) Analizi

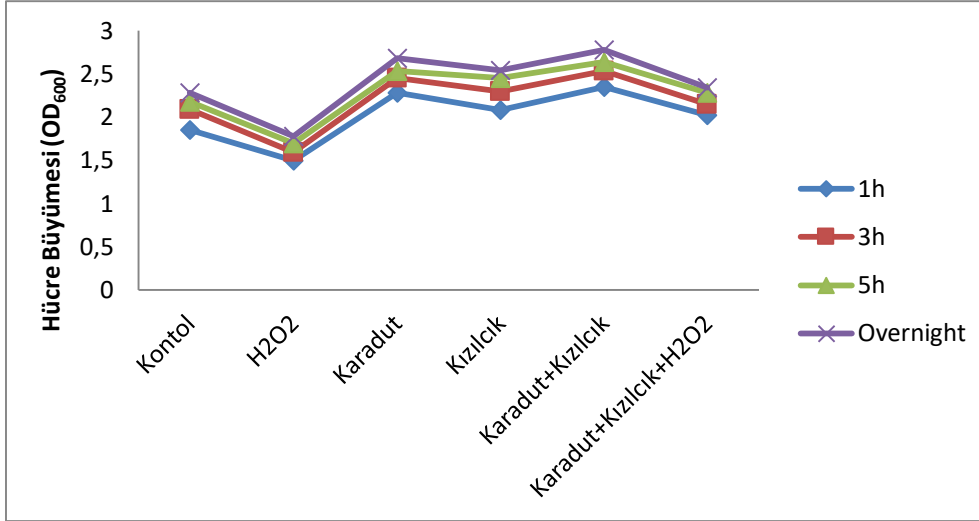
MDA analizinde, test deney tüpüne 0,5 µl örnek, kör tüpüne ise 0,5 ml saf su konulduktan sonra bütün deney tüplerine 2,5 ml % 20'lik TCA ve 1 ml TBA'dan eklenmiştir. Ardından 90 °C sıcaklıkta kaynar su banyosunda 30 dk beklendikten sonra soğutulmuştur. Üzerine 4 ml n-butanol-piridin karışımından eklenip vorteksledikten hemen sonra 3000 rpm'de 10 dakika santrifüj edilmiştir. Bu işlem sonunda üstteki faz kısmı alınarak spektrofotometrede 532 nm dalga ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar nmol/ml olarak kaydedilmiştir [11].

### 2.8. İstatistiksel Analizler

Çalışmalarımız sonucunda elde ettiğimiz verilerin istatistiksel analizleri SPSS 22 paket programında varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, gruplar içi farklılıkları belirlemek için One Way Anova *Post Hoc* Games- Howell ve LSD testleri uygulanmıştır. Çalışmalarımızın istatistiksel analizlerinin güvenilirliği açısından ölçümlerimiz 3 tekrar olacak şekilde yapılmıştır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmanın sonuçlarının gelecekte yapılacak olan diğer çalışmalara potansiyel bir kaynak olacağını umuyoruz. Şekil 1'e göre farklı gelişim zamanları olan gruplar arasında anlamlı bir fark olduğu gözlenmektedir ( $p < 0.05$ ). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> verilen gruplarda hasarın etkisiyle hücre büyümesinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak, kültür ortamına aktarılan karadut ve kızılılık ekstraktının, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in olumsuz etkisine karşı koruma sağlayarak hücre gelişimini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür.



Şekil 1. *S. cerevisiae*'nin karadut ve kıızılcık meyvelerinde farklı saatlerdeki hücre gelişimi

Tablo 1, Şekil 2 ve Şekil 3'de verilen pelet total protein yoğunluğu ve Bradford BSA (bowin serum albümin) standart eğrisi sonuçları ile Tablo 2 ve Şekil 4'de verilen süpernatant total protein yoğunluk sonuçları incelendiğinde, karadut ve kıızılcık'ın, *S. cerevisiae*'de protein sentezini teşvik ettiğini söyleyebiliriz. Özellikle H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> grubu ile kıyaslandığında Karadut (%10) + Kıızılcık (%10) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (15 mM) grubunda pelet total protein yoğunluğu ve süpernatant total protein yoğunluğunun yüksek oranda arttığı gözlemlenmiştir. Bu durum bize *S. cerevisiae*'de oluşan hasara karşı karadut ve kıızılcık meyvelerinin antioksidan özelliği sayesinde güçlü bir koruma sağladığını göstermiştir.

Tablo 1. Bradford pelet total protein yoğunlukları

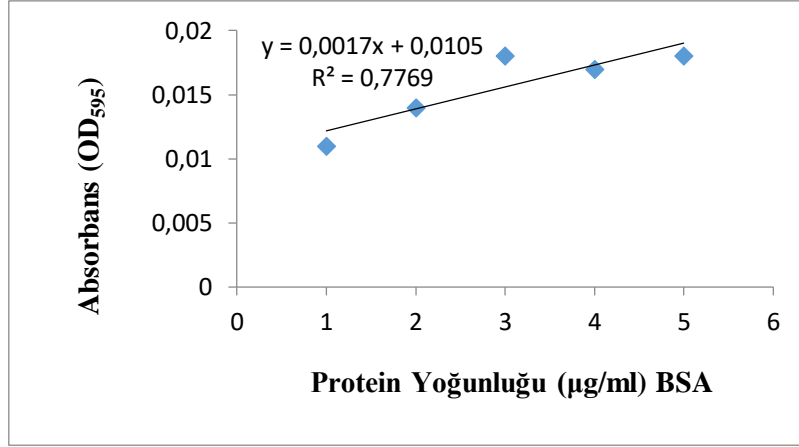
Gruplar (Pelet)	Total Protein Yoğunluğu (µg/ml)
Kontrol	73.45 ± 2.99 <sup>b</sup>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	26.70 ± 1.12 <sup>d</sup>
Karadut	80.86 ± 0.98 <sup>b</sup>
Kızılcık	70.51 ± 0.42 <sup>b</sup>
Karadut + Kıızılcık	129.73 ± 1.09 <sup>a</sup>
Karadut + Kıızılcık + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	64.59 ± 0.34 <sup>c</sup>

a-d: Sütunlarda farklı harfi taşıyan gruplar arası fark önemlidir (p < 0.05).  
One- Way ANOVA *Post Hoc* Games- Howell Testi.

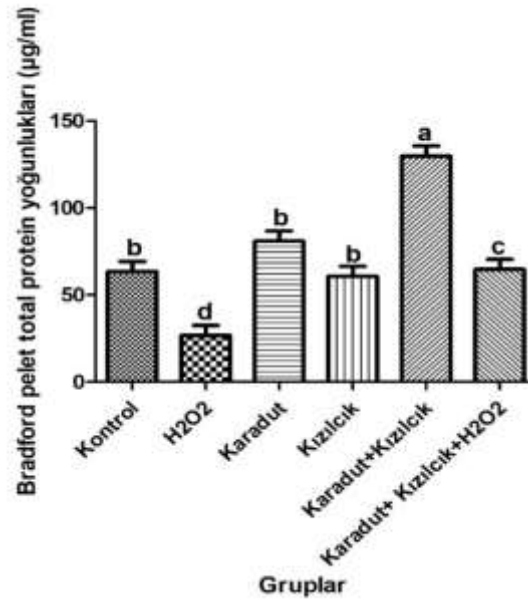
Tablo 2. Bradford süpernatant total protein yoğunlukları

Gruplar (Süpernatant)	Total Protein Yoğunluğu (µg/ml)
Kontrol	12.00 ± 1.99 <sup>b</sup>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	4.60 ± 0.36 <sup>d</sup>
Karadut	11.46 ± 0.06 <sup>b</sup>
Kızılcık	10.91 ± 0.10 <sup>b</sup>
Karadut + Kıızılcık	13.82 ± 0.03 <sup>a</sup>
Karadut + Kıızılcık + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	7.22 ± 0.04 <sup>c</sup>

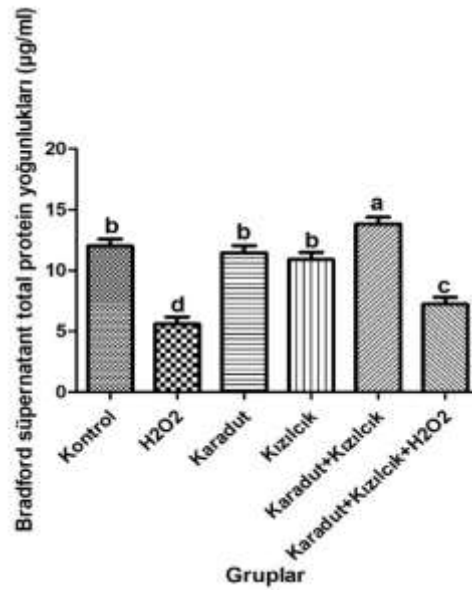
a-d: Sütunlarda farklı harfi taşıyan gruplar arası fark önemlidir (p < 0.05).  
One- Way ANOVA *Post Hoc* Games-Howell Testi.



Şekil 2. Bradford BSA (bowin serum albümin) standart eğrisi µg/ml

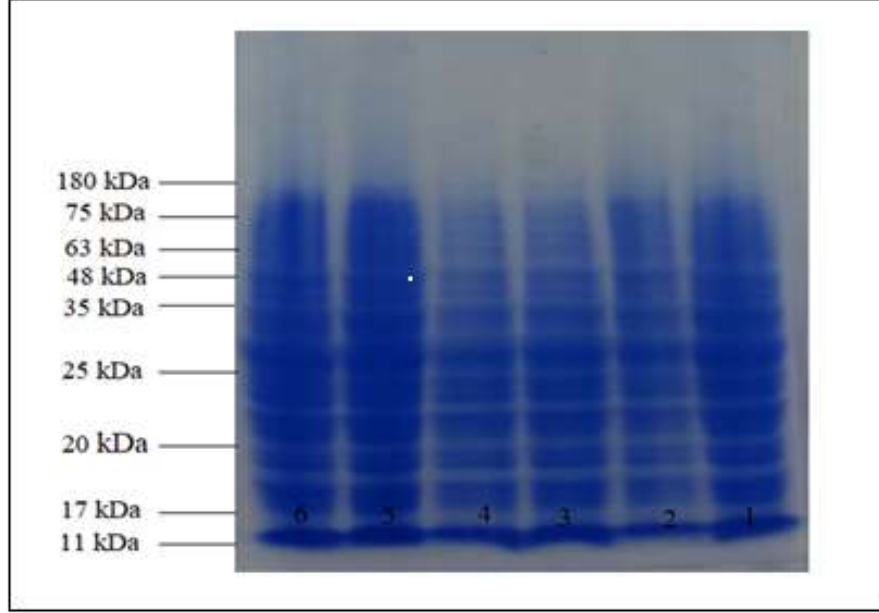


Şekil 3. Bradford pelet total protein yoğunlukları



Şekil 4. Bradford süpernatant total protein yoğunlukları

Şekil 5'teki SDS-PAGE jel görüntüsündeki bantların yoğunlukları incelendiğinde; protein yoğunluğunun, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> grubuna kıyasla Karadut (%10) + Kızılcık (%10) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (15 mM) grubunda yüksek oranda arttığı sonucuna varılmıştır. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in hasara yol açması nedeniyle H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> verilen grupta protein seviyelerinin azaldığı belirlenmiştir.



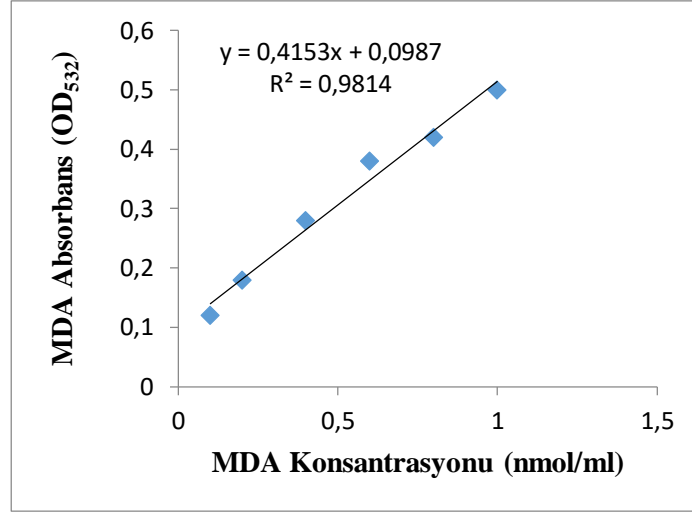
Şekil 5. SDS- PAGE Pelet Protein Bantları. Bantlar 1: Kontrol; 2: H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; 3: Karadut; 4: Kızılcık; 5: Karadut + Kızılcık; 6: Karadut + Kızılcık + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Tablo 3, Şekil 6 ve Şekil 7’de verilen MDA standart eğrisi ve MDA düzeylerini incelediğimizde; H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> grubundaki sonuçların en yüksek olduğu ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in MDA düzeyini arttırdığı gözlemlenmiştir. Tedavi grubu olarak belirlediğimiz Karadut (%10) + Kızılcık (%10) + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (15 mM) grubunda ise karadut ve kıızılcık meyvelerinin koruyucu etkisi nedeniyle MDA düzeyinin anlamlı bir şekilde azaldığı belirlenmiştir.

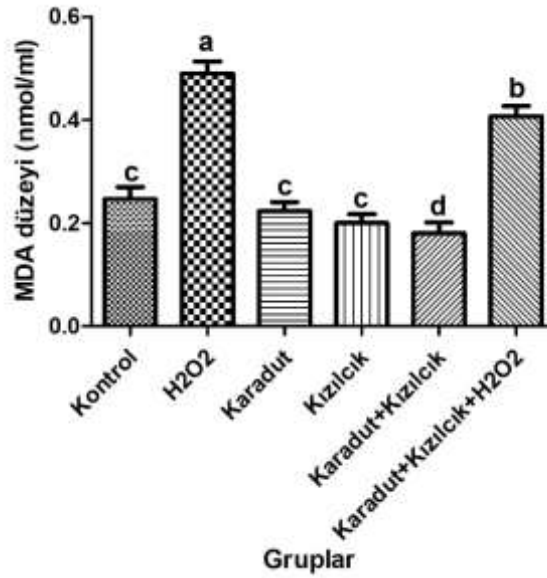
Tablo 3. Gruplar arası MDA düzeyi

Gruplar	MDA Düzeyi (nmol/ml)
Kontrol	0.24 ± 0.03 <sup>c</sup>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.49 ± 0.04 <sup>a</sup>
Karadut	0.23 ± 0.03 <sup>c</sup>
Kızılcık	0.20 ± 0.02 <sup>c</sup>
Karadut + Kızılcık	0.17 ± 0.02 <sup>d</sup>
Karadut + Kızılcık + H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0.41 ± 0.03 <sup>b</sup>

a-d: Sütunlarda farklı harfi taşıyan gruplar arası fark önemlidir (p < 0.05).  
One- Way ANOVA *Post Hoc* LSD Testi



Şekil 6. MDA standart eğrisi



Şekil 7. Gruplar arasındaki MDA düzeyi

Bu çalışma sonucunda, karadut ve kızılçık ekstraktının H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin olumsuz etkilerine rağmen *S. cerevisiae*'nin gelişimini arttırdığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, antiinflamatuvar ve antioksidan özelliğe sahip bu iki meyvenin birlikte kullanılmasının sağlamış olduğu terapötik etkinin ayrı ayrı kullanılmasından daha fazla faydalı olduğu sonucuna varılmıştır. Literatür incelenmesi sonucunda, bu meyvelerin ayrı ayrı çalışıldığı birçok kaynağa rastlanmış ancak birlikte kullanıldığı herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle çalışmamız iki meyvenin birlikte sağlamış olduğu koruyucu etkinin belirlenmesi yönüyle özgünlüğünü korumaktadır. Dinda ve arkadaşları [6], kızılçık (*Cornus mas L.*) meyveleri ve yapraklarının diyabet, obezite, ateroskleroz ve cilt hastalıklarının tedavisine olumlu yanıtlar verdiğini tespit etmişlerdir. Popovic ve arkadaşları [12], antioksidan özelliğe sahip olan kızılçık (*Cornus mas L.*) meyvesinin lipid peroksidasyonunu ve oksidatif stresi inhibe ettiğini tespit etmişlerdir. Sozanski ve arkadaşları [13], kızılçık (*Cornus mas L.*) meyvelerinin hipertrigliseridemi ve ateroskleroz üzerine etkisini araştırmışlar ve kızılçık meyvelerinin oksidatif stresi azaltarak hipertrigliseridemi ve ateroskleroz üzerinde koruyucu etkilere sahip olduğunu belirtmişlerdir. Tubaş [14], kızılçık (*Cornus mas L.*) özütünün epilepsi hastalarındaki etkisini araştırmıştır. Kızılçık özütünün epilepsi hastalarında lipid peroksidasyonunu ve oksidatif stresi azalttığı sonucuna varmıştır. Temiz [15], ürostomili hastalarda idrar yolu infeksiyonlarında kızılçık'ın koruyucu rolünü araştırmış ve kızılçık'ın idrar yolu infeksiyonunu önleme ve tedavisinde oldukça etkili olduğu sonucuna varmıştır. Jayaprakasam ve

arkadaşları [16], kızılıçık (*Cornus mas* L.)'ın yüksek yağlı bir diyetle beslenen C57BL/6 fareler üzerindeki etkisini araştırmışlardır ve kızılıçık meyvesinin obezite ve insülin direncini iyileştirme oldukça etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Yiğit ve arkadaşları [17], karadut meyvelerinden elde edilen su ve metanol ekstraktlarının çeşitli klinik örneklerden izole edilen *Candida* türleri üzerinde antikandidal etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Aslan ve arkadaşları [8], kivi ekstraktının antioksidan özelliği sayesinde *S. cerevisiae*'de oksidatif hasarı azaltarak, hücre büyümesini arttırdığını belirtmişlerdir. Aslan ve arkadaşları [18], *S. cerevisiae*'de hidrojen peroksit ile oluşturulan oksidatif hasara karşı nar suyunun koruyucu bir role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Aslan [19], farklı meyve suları ve bunların kombinasyonlarının, *S. cerevisiae*'de oksidatif hasarı azaltma ve hücre büyümesini arttırmada koruyucu bir rolü olduğunu vurgulamıştır. Choudhary ve Mishra [20], bakla (*Vicia faba*) tohum ekstraktının *S. cerevisiae*'de oksidatif hasara karşı koruyucu bir role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Deniz [21], karbon tetraklorür (CCl<sub>4</sub>) ile indüklenen sıçan karaciğeri modeli üzerinde karadut (*Morus nigra* L.) etkilerini araştırmış; karadut'un oksidatif stresi önemli ölçüde azalttığını tespit etmiştir. Pérez-Gregorio ve arkadaşları [22] karadut (*Morus nigra* L.)'un serbest radikalleri önleyici etkisi ve taze ve fermente dut meyvelerinin antioksidan etkisi olduğunu belirtmişlerdir. Meral ve Doğan [23], yapmış oldukları çalışmalarında ekmeğin içeriğine eklenen karadut'un ekmeğin toplam fenolik madde konsantrasyonunu arttırdığını ve karadut'un oldukça yüksek antioksidan aktiviteye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Akmeşe [24], karadut'un antimikrobiyal ve antioksidan etkinliklerini araştırmış ve karadut'un antimikrobiyal ve antioksidan açısından oldukça yüksek kapasiteye sahip olduğunu belirtmiştir. Ergani [25], sıçanlarda karadut meyve (*Morus nigra* L.) ekstresinin, metotreksat ilişkili intestinal hasar üzerine koruyucu etkisini araştırmıştır. Elde edilen verilere göre, karadut'un lipid peroksidasyonunu engellediğini ve antioksidan özellik göstererek metotreksat ilişkili intestinal toksisitesine karşı koruyucu bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Aslan ve arkadaşları [26], domatesin *S. cerevisiae*'de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kaynaklı hasara karşı koruyucu rollerini araştırmışlardır ve domatesin antioksidan özelliği sayesinde koruyucu bir özelliğe sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Aslan ve arkadaşları [9], üzüm çekirdeğinin *S. cerevisiae*'de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in neden olduğu oksidatif stres hasarını azalttığı ve *S. cerevisiae* büyümesi üzerinde koruyucu bir role sahip olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gruplarında MDA düzeylerinin arttığını ortaya koymuşlardır. Aslan [27], *S. cerevisiae*'de dut suyunun protein sentezini arttıran ve oksidatif hasarı azaltmak için koruyucu bir role sahip olduğunu belirtmiştir. Beyaz ve arkadaşları [28], *S. cerevisiae*'de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kaynaklı oksidatif strese zencefil'in koruyucu etkilerini araştırmışlar ve zencefil'in oksidatif strese karşı oldukça güçlü bir terapötik etkiye sahip sonucuna varmışlardır. Ayrıca, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklenen gruplara kıyasla zencefil eklenen gruplarda MDA düzeylerinin azaldığını, GSH seviyelerinin ise anlamlı bir şekilde arttığını belirtmişlerdir. Aslan ve arkadaşları [29], CCl<sub>4</sub> ile akciğer hasarı oluşturulan sıçanlarda EA (Ellagik asit)'in koruyucu etkilerini araştırmışlardır; EA gruplarıyla karşılaştırıldığında CCl<sub>4</sub> gruplarında NF-κB, COX-2, TNF-α ve bcl-2 ekspresyon seviyelerinin arttırdığını, kaspaz-3 ve Nrf-2 ekspresyon seviyelerini önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. Gök ve arkadaşları [30], *S. cerevisiae*'de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kaynaklı oksidatif strese karşı alıç meyve ekstraktının koruyucu etkilerini araştırmışlar ve alıç meyve ekstraktı eklenen gruplarda MDA düzeylerinin azaldığını, GSH seviyelerinin ise arttığını belirtmişlerdir. Buna ilave olarak, alıç meyve ekstraktının oksidatif strese karşı oldukça etkili koruma sağladığı sonucuna varmışlardır. Aslan ve arkadaşları [31], sıçanlarda CCl<sub>4</sub> tarafından oluşturulan kas hasarına karşı EA'in koruyucu etkisini araştırmışlardır. CCl<sub>4</sub> grubuna kıyasla EA verilen gruplarda, Nrf-2, kaspaz-3 protein ekspresyon seviyelerinin, GSH ve katalaz aktivitelerinin arttığını, NF-κB, bcl-2, TNF-α, COX-2 protein ekspresyon seviyelerinin ve MDA düzeylerinin azaldığını belirtmişlerdir. Aslan ve arkadaşları [32], sıçanların beyin dokusunda CCl<sub>4</sub> kaynaklı oluşturulan hasara karşı EA'in nöroprotektif etkisini araştırmışlardır. EA uygulamasının Nrf-2, kaspaz-3 protein ekspresyon seviyelerini, GSH ve katalaz aktivitelerini arttırırken, NF-κB, TNF-α, VEGF, bcl-2, COX-2 protein ekspresyon seviyelerini ve MDA düzeylerini azalttığını belirtmişlerdir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Kızılıçık ve karadut meyvelerinin antienflamatuvar, antiproliferatif ve antitümojenik özellikleri sayesinde kanser de dâhil olmak üzere birçok hastalığın tedavisinde koruyucu etkiye sahip olduğu yapılan çalışmalarla belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda elde ettiğimiz veriler doğrultusunda, hem karadut hem de kızılıçık meyvelerinin güçlü antioksidan özelliği sayesinde *S. cerevisiae*'de oluşturulan hasara



karşı oldukça koruyucu bir role sahip olduğu belirlenmiştir. Literatürde var olan çalışmalar incelenmiş olup karadut ve kıvılcık meyvelerinin ayrı ayrı çalışıldığı gözlemlenmiştir. Fakat bu iki güçlü antioksidan özellikli meyvelerin *S. cerevisiae*'de ortak çalışıldığı bir kaynağa henüz rastlanmamıştır. Bu sebeple yaptığımız çalışmada karadut ve kıvılcık meyvelerinin birlikte kullanılması sonucundaki etkinliğinin belirlenmesi literatürde var olan diğer çalışmalardan farklılık göstermektedir. Çalışma sonucunda elde ettiğimiz verilere göre, karadut ve kıvılcık'ın yüksek antioksidan kapasitesine sahip olması, bize *S. cerevisiae* üzerinde göstermiş olduğu olumlu etkilerin insanlar üzerinde de olabileceğini düşündürmektedir. Bu sonuçlar, literatür eksikliklerinin giderilmesi açısından önemli bir kaynak olabilecek ve literatüre sağlamış olacağımız katkılarla gelecekteki yeni çalışmalara da yol gösterici bir kaynak olacaktır.

### Yazarların Katkısı

Abdullah ASLAN laboratuvar sonuçlarının değerlendirilerek makalenin yazılmasında; Seda BEYAZ, Lütfiye KADIOĞLU DALKILIÇ ve Özlem GÖK laboratuvar analizlerinin yapılarak değerlendirilmesi, materyal ve metod bölümünün yazılmasında katkı sunmuştur. Bu çalışmanın bazı sonuçları, Mardin Artuklu Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar kongresinde (19-21 Nisan 2019, Mardin) sözlü olarak sunulmuştur.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### Kaynaklar

- [1] Van Hung P. 2016. Phenolic Compounds of Cereals and Their Antioxidant Capacity. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56 (1): 25-35.
- [2] Mikulic-Petkovsek M., Schmitzer V., Slatnar A., Stampar F., Veberic R. 2012. Composition of Sugars, Organic Acids, and Total Phenolics in 25 Wild or Cultivated Berry Species. *Journal of Food Science*, 77 (10): 70.
- [3] Şenol M. 2017. Karadut (*Morus nigra* L.) Meyvelerinde Antosiyaninlerin Karakterizasyonu ve Antioksidan Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- [4] Turan I., Demir S., Kilinc K., Burnaz N.A., Yaman S.O., Akbulut K., Menteşe A., Aliyazıcıoğlu Y., Deger O. 2017. Antiproliferative and Apoptotic Effect of *Morus nigra* Extract on Human Prostate Cancer Cells. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 25 (2): 241-248.
- [5] Lim S.H., Choi C.I. 2019. Pharmacological Properties of *Morus nigra* L.(Black Mulberry) as a Promising Nutraceutical Resource. *Nutrients*, 11 (2): 437.
- [6] Dinda B., Kyriakopoulos A.M., Dinda S., Zoumpourlis V., Thomaidis N.S., Velegraki A., Markopoulos C., Dinda M. 2016. *Cornus mas* L. (cornelian cherry), an Important European and Asian Traditional Food and Medicine: Ethnomedicine, Phytochemistry and Pharmacology for Its Commercial Utilization in Drug Industry. *Journal of Ethnopharmacology*, 193: 670-690.
- [7] Macit T. 2019. Bazı Kıvılcık (*Cornus mas* L.) Genotiplerinin Fenolojik, Morfolojik ve Moleküler Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Kayseri Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [8] Aslan A., Gök Ö., Erman O. 2017. The Protective Effect of Kiwi Fruit Extract Against to Chromium Effect on Protein Expression in *Saccharomyces cerevisiae*. *Progress in Nutrition*, 19 (4): 472-476.
- [9] Aslan A., Gök Ö., Beyaz S. 2019. Üzüm Çekirdeği Ekstraktının *Saccharomyces cerevisiae*'de Oluşturulan Hidrojen Peroksit Hasarına Karşı Koruyucu Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (4): 2216-2224.

- [10] Laemmli U.K. 1970. Cleavage of Structural Proteins During the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature*, 227: 680-685.
- [11] Merkit C. 2018. Dietyl nitrozamin verilen tavşanlarda B-Karotenin Nitrik Oksit ve Malondialdehit düzeylerine etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kars.
- [12] Popovic B.M., Stajner D., Slavko K., Sandra B. 2012. Antioxidant Capacity of Cornelian Cherry (*Cornus mas* L.) Comparison Between Permanganate Reducing Antioxidant Capacity and Other Antioxidant Methods. *Food Chemistry*, 134 (2): 734-741.
- [13] Sozanski T., Kucharska A.Z., Szumny A., Magdalan J., Bielska K., Merwid-Ląd A., Wozniak A., Dzimira S., Pioercki N., Trocha M. 2014. The Protective Effect of the *Cornus mas* Fruits (*Cornelian cherry*) on Hypertriglyceridemia and Atherosclerosis through Ppara Activation in Hypercholesterolemic Rabbits. *Phytomedicine*, 21 (13): 1774-1784.
- [14] Tubaş F. 2013. Dut ve Kızılçık Ekstrelerinin Penisilin ile Uyarılan Epileptiform Aktiviteye Etkisi. Tıpta Uzmanlık Tezi, Erciyes Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [15] Temiz Z. 2015. Ürostomili Hastalarda İdrar Yolu İnfeksiyonlarının Önlenmesinde Hemşire Tarafından Verilen Eğitimin ve Kızılçık (*Cranberry*)'ın Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [16] Jayaprakasam B., Olson L.K., Schutzki R.E., Tai M.H., Nair M.G. 2006. Amelioration of Obesity and Glucose Intolerance in High-Fat-Fed C57BL/6 Mice by Anthocyanins and Ursolic Acid in Cornelian Cherry (*Cornus mas*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54 (1): 243-248.
- [17] Yiğit N., Yiğit D., Özgen U., Aktaş A.E. 2007. Karadut (*Morus nigra* L.)'un Antikandidal Aktivitesi. *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*, 37 (3): 169-173.
- [18] Aslan A., Baspınar S., Yılmaz O. 2014. Is Pomegranate Juice Has A Vital Role for Protective Effect on *Saccharomyces cerevisiae* Growth?. *Progress in Nutrition*, 16 (3): 212-217.
- [19] Aslan A. 2015. The Effects of Different Essential Fj and Their Combination on *Saccharomyces cerevisiae* Cell Growth. *Progress in Nutrition*, 17 (1): 36-40.
- [20] Choudhary D.K., Mishra A. 2018. *In vitro* Investigation of Hypoglycemic and Oxidative Stress Properties of Fava Bean (*Vicia faba* L.) Seed Extract in *Saccharomyces cerevisiae* 2376. *Preparative Biochemistry and Biotechnology*, 48 (10): 920-929.
- [21] Deniz Y.G. 2017. Protective Mechanism of *Morus nigra* on Carbon Tetrachloride Induced Brain Damage in Rats. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 2 (2): 97-108.
- [22] Pérez-Gregorio M.R., Regueiro J., Alonso-González E., Pastrana-Castro L.M., Simal-Gándara J. 2011. Influence of Alcoholic Fermentation Process on Antioxidant Activity and Phenolic Levels From Mulberries (*Morus nigra* L.). *Food Science and Technology*, 44: 1793-1801.
- [23] Meral R., Doğan İ.S. 2012. Karadut (*Morus nigra*) Katkılı Ekmeğin Antioksidan Aktivitesi ve Fenolik Kompozisyonu. *İğdir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2 (4): 43-48.
- [24] Akmeşe O. 2019. *Morus nigra* L. (Karadut) Meyve Ekstraktlarının Antimikrobiyal Aktivitesinin ve Antibiyotiklerle Sinerjistik Etkisinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- [25] Ergani C. 2018. Ratlarda, Karadut Meyve (*Morus nigra*) Ekstresinin, Metotreksat İlişkili İntestinal Hasar Üzerine Koruyucu Etkisi. Tıpta Uzmanlık Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [26] Aslan A., Beyaz S., Gök Ö. 2019. Domates Ekstraktının *Saccharomyces cerevisiae*'de Oluşturulan Krom Hasarına Karşı Koruyucu Etkisi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2): 1048-1055.
- [27] Aslan A. 2018. Cell Culture Developing and the Imaging of Total Protein Product Changing with SDS-PAGE in *Saccharomyces cerevisiae*. *Progress Nutrition*, 20 (1): 128-132.
- [28] Beyaz S., Gök Ö., Aslan A. 2019. Zencefil (*Zingiber officinale*) 'in *Saccharomyces cerevisiae*'de Total Protein Ekspresyonuna Etkisinin SDS-PAGE Tekniği ile Belirlenmesi. Uluslararası Malatya Uygulamalı Bilimler Kongresi, 20-22 Aralık, Malatya, 203-213.
- [29] Aslan A., Hussein Y.T., Gok O., Beyaz S., Erman O., Baspınar S. 2020. Ellagic Acid Ameliorates Lung Damage in Rats via Modulating Antioxidant Activities, Inhibitory Effects on Inflammatory Mediators and Apoptosis-Inducing Activities. *Environmental Science and Pollution Research*, 27 (7): 7526-7537.

- [30] Gök Ö., Beyaz S., Aslan A. 2019. Alıç Meyvesi'nin *Saccharomyces cerevisiae* Hücre Gelişimine Etkisinin Moleküler Biyolojik ve Biyokimyasal Yöntemlerle Araştırılması. Uluslararası Malatya Uygulamalı Bilimler Kongresi, 20-22 Aralık, Malatya, 192-202.
- [31] Aslan A., Beyaz S., Gok O., Erman, O. 2020. The Effect of Ellagic Acid on Caspase-3/bcl-2/Nrf-2/NF-κB/TNF-α/COX-2 Gene Expression Product Apoptosis Pathway: A New Approach for Muscle Damage Therapy. *Molecular Biology Reports*, 47: 2573-2582.
- [32] Aslan A., Gok O., Beyaz S., Arslan E., Erman O., Ağca C.A. 2020c. The Preventive Effect of Ellagic Acid On Brain Damage in Rats via Regulating of Nrf-2, NF-κB and Apoptotic Pathway. *Journal of Food Biochemistry*, <https://doi.org/10.1111/jfbc.13217>.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Fatsa-Sarmaşık Kaplıcasında Radon Aktivite Konsantrasyonunun Belirlenmesi (Ordu İli)**

Selcen UZUN DURAN<sup>1\*</sup>, Belgin KÜÇÜKÖMEROĞLU<sup>2</sup>, Halim TAŞKIN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri MYO, Tıbbi Görüntüleme Bölümü, Trabzon

<sup>2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fizik Bölümü, Trabzon

<sup>3</sup>Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Çekmece Nükleer Araştırma Merkezi, İstanbul

(ORCID: 0000-0003-4943-4654) (ORCID: 0000-0003-3963-3764) (ORCID: 0000-0002-5195-1477)

---

### **Öz**

Bu çalışmada, Karadeniz Bölgesinde az sayıda jeotermal kaynaktan birisi olan Fatsa İlçesi, Ilıca Köyü sınırları içerisinde bulunan, Sarmaşık Kaplıcası termal tesisinde radon aktivite konsantrasyonu ölçümleri yapılmıştır. Kaplıca havuz ortamı, resepsiyon, restoran olmak üzere üç kısımda hava ortamında Cr-39 ve Alpha GUARD PQ 2000 radon dedektörleri yaz ve kış mevsiminde radon gazı ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçüm sonucunda elde edilen radon gazı değerleri kullanılarak kaplıca ortamında çalışan personel için yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Ayrıca kaplıca suyu ve kaplıca tesisi içme suyunda radon gazı ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonuçları uluslararası limit seviyeleri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Termal kaplıca, radon, eşdeğer doz.

---

## **Determination of Radon Activity Concentration in Fatsa-Sarmaşık Spa (Ordu Province)**

---

### **Abstract**

In this study, radon activity concentration measurements were performed at the Sarmaşık Spa thermal facility, located within the borders of Ilıca Village, Fatsa District, one of the few geothermal resources in the Black Sea Region. Cr-39 and Alpha GUARD PQ 2000 radon detectors were measured in three parts as spa pool, reception, and restaurant in the air environment in summer and winter seasons. Using the radon gas values obtained as a result of the measurement, annual effective dose equivalents were calculated for the personnel working in the spa environment. In addition, radon gas was measured in the hot spring water and drinking water of the spa facility. Measurement results are compared with international limit levels.

**Keywords:** Thermal spa, radon, equivalent dose.

---

### **1. Giriş**

Termal yeraltı suları ülkelerin değerli doğal kaynaklarından biridir ve sağlık, turizm amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Bu sular yeryüzünün derinliklerinden çıkıp yüzeye ulaşmaktadır ve içerikleri geçtikleri bölgelerin jeolojik yapısı tarafından belirlenmektedir. Yüze çıkan sular, yeraltı kayalarından ve topraklara temas ederek farklı elementleri de beraberinde taşır. Yeraltı suları geçtikleri kayalardaki radyoaktif maddeleri çözündürerek radyoaktif özellik kazanır. Bu sulara sık rastlanılan belli başlı radyoaktif maddeler <sup>40</sup>K, <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>U' dir. Ayrıca <sup>238</sup>U'in bozunması sonucu ortaya çıkan <sup>222</sup>Rn ve <sup>226</sup>Ra yeraltı sularında bulunabilir. Yeraltı jeolojik oluşumların içeriğinde bulunan kimyasal bileşikler, suda eriyebilme derecelerine göre yeraltı sularına az ya da çok oranda karışır. Çözünmüş maddelerin miktarı; jeolojik oluşumlarla yeraltı suyunun temas süresine, suyun akış hızına ve sıcaklığına, oluşumun cinsine ve ortamın basıncına bağlı olarak değişir [1-2].

---

\*Sorumlu yazar: [selcenduran@ktu.edu.tr](mailto:selcenduran@ktu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 28.01.2020, Kabul Tarihi: 10.05.2020

İnsanlar sıcak mineralli suların bulunduğu termal tesislere, dinlenme, eğlence-spor, hastalıkları tedavi ve rehabilite etmek amacıyla gitmektedir. Halkın yaygın olarak kullandığı bu suların kimyasal ve radyoaktivite içeriklerinin bilinmesi önemlidir. Bu sulardaki radon içeriği insan sağlığını yakından ilgilendirmektedir. Bu sular üzerine kurulmuş kaplıcalardan faydalanan insanlar belli bir düzeyde radona maruz kalır. Çeşitli rahatsızlıklarına şifa bulmak amacıyla gidilen kaplıcalardaki radyoaktivite düzeyinin tayini ve özellikle doğal radyasyonun büyük çoğunluğunu oluşturduğu için radon düzeyinin belirlenmesi insan sağlığı açısından çok önemlidir. Radyoaktif bir gaz olan radon, solunumla vücuda alındığında iç ışınlama oluşturmaktadır. Dünyadaki akciğer kanserlerinin sebepleri arasında radon gazı solunması önemli bir yer tutmaktadır [3].

Literatürde, kaplıcalarda radyasyon düzeylerini belirlemeye yönelik yapılmış çalışmalar mevcuttur. Bu tür çalışmaların çoğunun ülkemizde sistematik olmadığı görülürken, dünyadaki diğer ülke kaplıcalarında özellikle radon gazı ön plana alınarak çalışmalar yapılmaktadır.

Ülkemizde yapılan çalışmalar incelendiğinde, 2014 yılında TAEK tarafından yürütülen bir çalışmada, 70 tesisin kapalı havuzunun bulunduğu alanın havasında ve kaplıca suyundan alınan su örneğinde radon ölçümü yapılmıştır [4]. Kestanbol (Çanakkale-Ezine) kaplıcasında yapılan bir çalışmaya göre, çalışanlar için iç ortamdan kaynaklanan yıllık etkin doz değeri hesaplanmıştır [5]. Dikili jeotermal bölgesindeki radon aktivite konsantrasyonları ölçülmüştür [6]. İzmir Seferihisar Doğanbey fay hattında yer alan termal sulara yapılan bir çalışmada belirlenen istasyonlardan su numuneleri alınıp radon ölçümleri yapılmıştır [7]. Uludağ Üniversitesi Atatürk Rehabilitasyon Uygulama ve Araştırma Merkezi Kükürtlü Kaplıcalarında hava ve suda radon seviyesi belirlenmiştir [8]. Denizli jeotermal bölgesinde beş termal suda radon seviyeleri ölçülmüş deprem ile ilişkilendirilmiştir [9]. Sakarya Kuzuluk ve Taraklı termal sularında radon seviyesi ölçülmüştür [10]. Bursa Bölgesinde 12 termal kaplıcada radon gazı seviyesi 2 sezonluk olarak ölçülmüştür [11]. Amasya'da 4 kaplıcada radon gazı seviyeleri ölçülmüştür [12]. Yalova termal bölgesinde 5 kaplıca suyunda radon gazı ölçümü yapılmıştır [13]. Rize ve Samsun illerindeki Ayder, İkizdere, Havza, Ladik Kaplıcalarında, aylık ve mevsimlik periyotlarda radon gazı ölçümleri 2 yıl süresince yapılmıştır [14-15].

Bu çalışmanın amacı Ordu ili, Fatsa ilçesinde bulunan Sarmaşık kaplıcası tesisinde, kaplıca havasında ve kaplıca suyunda radon aktivite konsantrasyonu ölçümü yapmak, çalışanlar için radondan kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğerlerini hesaplamaktır. Ordu ilinin iki sıcak su kaynağından biri, tek termal tesisi olma özelliği taşıyan bu kaplıcada daha önce böyle bir çalışma yapılmamıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Karadeniz Bölgesinde az sayıdaki jeotermal kaynaktan birisi de Fatsa İlçesi, Ilıca Köyü sınırları içerisinde bulunan ve Sarmaşık Kaplıcası olarak tanınan sıcak su kaynağıdır. Fatsa Ilıca Mahallesi içinde bulunan Sarmaşık Kaplıcası, ilçeye 10 km uzaklıktadır. 2005 yılında MTA Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu Türkiye Jeotermal Envanteri çalışmasında Sarmaşık Kaplıca kaynağının su sıcaklığı 48°C, debisi 1.2 l/sn olarak ölçülmüştür. Kaplıca olarak işletilen kurulu ve mevcut bir adet tesis bulunmaktadır [16]. Çalışma yapılan alan Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Ordu İli Fatsa İlçesi Ilıca Mahallesi, Sarmaşık Jeotermal Alan Haritası [16]

## 2.2. Yöntem

Bina içi radon seviyeleri iki farklı ölçüm tekniği kullanılarak yapılabilir. Bunlardan birisi aktif (anlık olarak), diğeri pasif (belli bir zaman süresince) ölçüm tekniğidir [17]. Bu çalışmada hem pasif ölçüm yapan Cr-39 radon dedektörü hem de aktif olarak ölçüm yapan Alpha GUARD PQ-2000 radon dedektörü kullanılmıştır. Ölçümler kaplıca içerisinde, havuz, resepsiyon ve restoran kısımlarında gerçekleştirilmiştir.

### 2.2.1. Pasif Radon Gazı Ölçümü

Çalışma kapsamı içinde bulunan Sarmaşık Kaplıcasına Cr-39 dedektörleri yaz 2013-2014 (Haziran-Temmuz-Ağustos) ve kış (Aralık-Ocak-Şubat) mevsimlerinde 3'er aylık periyotlarla yerleştirilmiştir. Kaplıcada kaldıkları süre boyunca radon gazına maruz kalan dozimetrelerin analizleri ÇNAEM (Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi)'de Radosys otomatik iz sayım sistemi kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada kullanılan pasif radon dozimetreleri Radosys şirketi tarafından üretilen Cr-39 dozimetreleri, 35x55 mm silindirik şekilde olup dedektör çipi plastik kutunun iç alt tarafında, yüzey alanı 10x10 mm ve kalınlığı 1 mm'dir. Dozimetrenin yüzeyi polypropylene madde ile kaplanmıştır. Polypropylene madde alfa parçacıklarına duyarlı olup, <sup>220</sup>Rn (Toron) ve toz parçacıklarının girmesini engellemektedir. Sadece radon gazı dozimetre içerisine difüzyon yoluyla girmektedir. Radonun bozunması sonucu oluşan alfa parçacıkları dedektör çipin üzerine izler bırakmaktadır. Bu sistem, bilgisayara bağlı gelişmiş bir optik mikroskop, banyo ünitesi ve radon dedektörlerinden oluşmaktadır. Radon gazına maruz kalan CR-39 dozimetreleri üzerinde oluşan alfa izlerinin görünür hale getirilmesi için kimyasal iz kazıma yöntemi kullanılmıştır. Kazıma diskine 36 tane slayt takılabilmekte ve bu, aynı anda 432 tane dedektör çipinin banyo işleminin yapılmasını sağlamaktadır. Her bir slayt sayım ünitesine yerleştirilerek okutma işlemi yapılmıştır. CR-39 dozimetresinde, cm<sup>2</sup> başına düşen alfa izlerinin yoğunluğu, (200x) optik mikroskop kullanılarak sayılmıştır. Daha sonra her bir dozimetrenin bırakıldığı yerlere bırakılış ve toplaniş tarihleri bilgisayara girilerek kayıtlı olan sistem sayesinde aktiviteler Bq/m<sup>3</sup> cinsinden bulunmuştur.

### 2.2.2. Aktif Radon Gazı Ölçümü

AlphaGUARD aktif radon ölçüm cihazı ile aylık ölçümler 2013 yılının Haziran ayından itibaren kaplıca ortamında yapılmıştır. Bu ölçümlerde cihaz 60 dakika difüzyon modunda çalıştırılmıştır. Yerinde ölçümler yapılmasında kullanılan AlphaGUARD PQ 2000PRO cihazında bulunan iyon odası (alfa spektroskopisi pulse sayımı) vasıtası ile ortamın o anki radon değeri ile birlikte hava sıcaklığı, hava basıncı ve havanın nemi gibi diğer parametreler de ölçülmektedir. Taşınabilir nitelikte olan cihazla 2-2.000.000 Bq/m<sup>3</sup> aralığındaki radon yoğunlukları ölçülmektedir. Cihaz bilgisayara bağlanarak veri depolanmakta ve değerlendirilmektedir. AlphaGUARD Radon dedektörü gelişmiş bir atma (puls) iyonlaşma çemberi veya alfa ( $\alpha$ ) spektroskopisi yöntemi kullanmaktadır. Yüksek Radon ölçüm hassasiyetine sahiptir ve yoğunluk gradientleri ile küçük yoğunluk dalgalanmalarını algılayabilecek derecede hassas elektronik yapıya sahiptir. Uzun süreli ölçümler yapabilmektedir ve ölçümler esnasında doğrudan bir güç kaynağına bağlanabildiği gibi yüksek kapasiteli pilleri sayesinde seçilen ölçüm moduna göre 6 aya kadar ölçüm yapabilmektedir. Bunların yanı sıra AlphaGUARD olumsuz sayılabilecek koşullarında, örneğin yüksek nem, yüksek sıcaklık, yüksek titreşim gibi, bakım gerektirmeden ölçüm yapabilmektedir. Şekil 2'de AlphaGUARD PQ 2000PRO dedektörü görülmektedir.

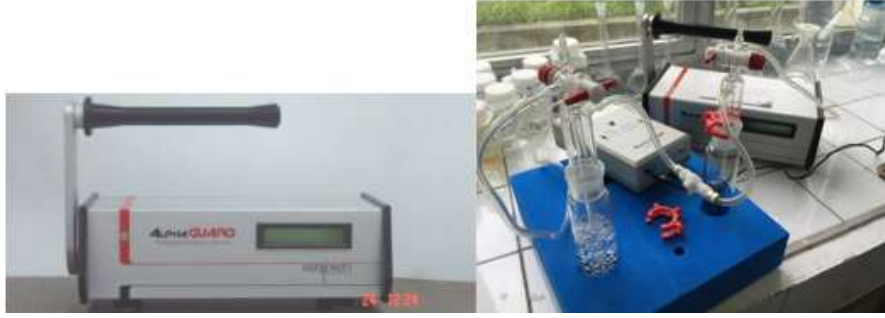
İç ortamda ki hava için radon gazından kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğeri UNSCEAR da belirtilen parametreler dikkate alınarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır [18].

$$AEDE \left( \frac{mSv}{y} \right) = CRn.F.O.DCF \quad (1)$$

Burada C<sub>Rn</sub> iç hava ortamındaki radon konsantrasyonu, F, radon ve bozunum ürünlerinden kaynaklanan denge faktörü (0.4), O iç ortamda geçirilen süre (çalışanlar için yıllık ortalama 2000 saat) ve DCF radondan kaynaklanan doz dönüşüm faktörü 7.9x10<sup>-6</sup> mSv h<sup>-1</sup>(Bq m<sup>-3</sup>)<sup>-1</sup> [18].

### 2.2.3. Suda Radon Gazı Ölçümü

Havuz suyu ve çeşme suyu radon gazı ölçümleri için taşınabilir AlphaGUARD PQ 2000PRO aktif radon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kendi suyunda çalkalanmış 500 ml'lik cam şişelere doldurularak ağzı kauçuk tıpayla kapatılan numunelerin radon ölçümü, radon gazının kısa yarı ömürlü olması nedeniyle yerinde yapılmıştır. Cihaz 1 dakika flow modunda çalıştırılarak bir dakikalık periyotlarla yaklaşık 10'ar dakika ölçüm yapılmıştır. AlphaGUARD cihazı üzerindeki monitörden ölçülen radon gazı konsantrasyonu, radon hata payı, sıcaklık, nem ve basınç değerleri okunabilir. Bu çalışmada hava ve suda radon gazı analizleri en son geliştirilen DataEXPERT yazılımı kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 2. AlphaGUARD PQ 2000PRO aktif radon ölçüm cihazı ve su kiti

İçme suyundaki radon konsantrasyonu, yağışların ve mevsim şartlarının sulara oluşturabileceği değişiklikler sebebiyle, her mevsimde aylık periyotlar ile ölçülmüştür. Su örneklerinde radon konsantrasyonunun belirlenmesi kullanılan denklem aşağıda verilmiştir [19].

$$C_{su} = (C_{hava} \left( \frac{V_{sistem} - V_{numune}}{V_{numune}} \right) + k) - C_0 / 1000 \quad (3)$$

Bu denklemde  $C_{su}$ , su örneğinin radon konsantrasyonunu ( $Bq/l$ );  $C_{hava}$ , ölçüm sonucunda belirtilen konsantrasyon değerini ( $Bq/m^3$ );  $C_0$ , doğal fon konsantrasyonunu ( $Bq/m^3$ );  $V_{sistem}$ , ölçüm düzeneğinin dahili hacmini (ml);  $V_{numune}$ , numunenin hacmini (ml);  $k$  ise radon yayılma katsayısını göstermektedir.

Radonlu suların içilmesi durumunda insanlar sindirim sistemi yoluyla bir iç ışınlanmaya da maruz kalmaktadır. Radonlu suyun içilmesinden dolayı alınan yıllık etkin doz eşdeğerleri de Denklem 4 kullanılarak hesaplanmıştır [20].

$$AEDE = K \cdot C \cdot KM \cdot t \quad (4)$$

Burada AEDE radonlu suyu içmekten kaynaklanan yıllık etkin doz eşdeğeri ( $Sv/yıl$ );  $K$ ,  $^{222}Rn$  için doz dönüşüm faktörü (yetişkinler için  $10^{-8} Sv/Bq$ );  $C$  sudaki  $^{222}Rn$  konsantrasyonu ( $Bq/l$ ),  $KM$  günlük su tüketimi (2 l/gün),  $t$  ise tüketim süresi (1 yıl için 365 gün)'dir [20].

### 2.2.4. Radon Konsantrasyon Limitleri

Birçok ülke ve uluslararası organizasyonlar/kuruluşlar, kapalı alanlarda radon seviyeleri için limit değerleri belirlemişlerdir. Ülkemizin ve bazı önemli organizasyonların ev ve işyerleri için tavsiye edilen limit değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ev ve iş yerlerinde radon gazı değerleri için ulusal ve uluslararası kuruluşlarca belirlenen limitler [21]

Organizasyon	Tavsiye edilen limitler ( $Bq/m^3$ )	
	Ev	İş yeri
ICRP	$\leq 300$	$\leq 1000$
WHO	$\leq 100$	
AB	$\leq 300$	$\leq 1000$
TAEK	$\leq 400$	$\leq 1000$

Tablo 1’de verilen sınır değerlerinin aşılmış aşılmadığını anlayabilmek için radon ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Limit seviyesinin aşıldığı durumlarda, radon yoğunluğunu düşürücü önlemler alınmalıdır [21]. İçme suları için radon gazı değerleri ulusal ve uluslararası kuruluşlarca limit değerler belirlenmiştir. Bu değerler Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** İçme suyu için uluslararası kuruluşlarca belirlenen limitler

Organizasyon	Limit (Bq/l)	Referans
WHO (Word Health Organization )	100	[22]
(USEPA) US Environmental Protection Agency	11	[23]

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma kapsamında, kaplıca içinde yaz ve kış mevsimi olmak üzere iki dönemlik radon gazı ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerde aktif radon gazı ölçümü yapan cihaz 60 dakika difüzyon modunda çalıştırılmıştır. Bu sırada Cr-39 pasif dedektörleri ile mevsimsel olarak kaplıca havasındaki radon gazı ölçümleri yapılarak AlphaGUARD ve Cr-39 radon sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca ölçülen radon gazı değerleri dikkate alınarak çalışan personel için yıllık etkin doz eşdeğerleri hesaplanmıştır. Çalışma sonuçları Tablo 3’de görülmektedir.

**Tablo 3.** Fatsa-Sarmaşık Kaplıcası kaplıca hava ortamında yaz ve kış mevsiminde pasif ve aktif radon dedektörü ile ölçülen radon gazı değerleri ve personel için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğerleri

Tesisin Bölümleri	Yaz		Kış		Ortalama			
	Pasif	Aktif	Pasif	Aktif	Pasif	Aktif	Pasif	Aktif
	(Bq/m <sup>3</sup> )		(Bq/m <sup>3</sup> )		(Bq/m <sup>3</sup> )	(mSv/y)	(Bq/m <sup>3</sup> )	(mSv/y)
Havuz	58±9	52±9	106±14	96±11	82±11	0.52	74±6	0.48
Restoran	105±10	86±10	139±13	128±16	122±12	0.77	107±12	0.68
Resepsiyon	60±8	49±8	77±12	82±12	68.5±10	0.43	65.5±10	0.41

Tablo 3 incelendiğinde kaplıcada en yüksek radon gazı değerinin restoran, en düşük radon gazı değerinin resepsiyon kısmında ölçüldüğü görülmüştür. Fakat tüm değerler, işyerleri için izin verilen uluslararası limit değerlerin (1000 Bq/m<sup>3</sup>) altındadır.

AlphaGUARD radon monitörünün su probu ile kaplıca suyunda radon gazı değeri ölçülmüştür. Kaplıca suyunda yaz ve kış olmak üzere iki kere radon gazı ölçümü yapılmış, ayrıca kaplıca tesisi içinde bulunan içme suyundan alınan su örneklerinde radon gazı ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonuçları Tablo 4’de görülmektedir. Ayrıca suların pH ve Sıcaklık değerleri de aynı tabloda verilmiştir.

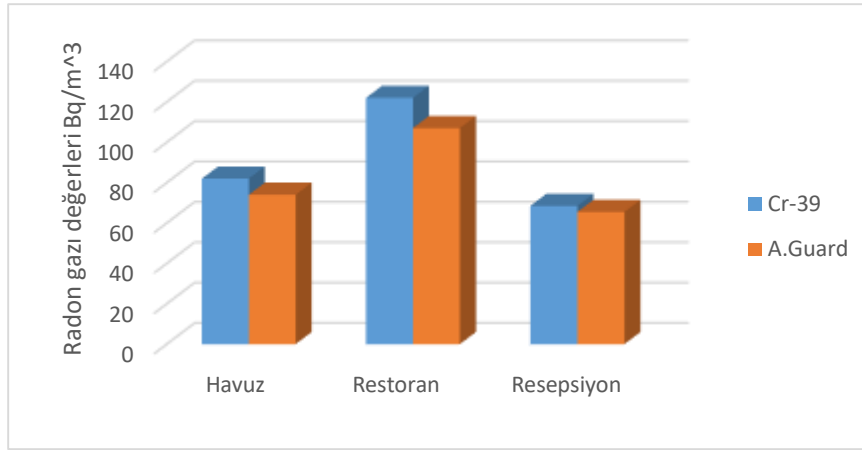
**Tablo 4.** Kaplıca suyu ve kaplıca tesisinde içme suyu için radon gazı ölçüm sonuçları ve yetişkinler için hesaplanan yıllık etkin doz eşdeğeri

Su	pH	Sıcaklık	<sup>222</sup> Rn (Bq/l)	Doz (µsv/y)
Kaplıca suyu (yaz)	8.4	46	2.5±0.60	18
Kaplıca suyu (kış)	8.6	46	3.9±0.20	28.5
<b>Kaplıca suyu (Ortalama)</b>			3.2±0.3	23.4
Kaplıca tesisi içme suyu (yaz)	7.3	15	18±1.01	131
Kaplıca tesisi içme suyu (kış)	7.7	13	14±1.01	102
<b>Kaplıca tesisi içme suyu(Ortalama)</b>			16±1	117

Tablo 4’de görüldüğü gibi, kaplıca suyu için ölçülen radon gazı değerleri içme suyu için izin verilen 11 Bq/l (US-EPA (1991)) seviyesinden oldukça aşağıda olurken, kaplıca tesisinde içme suyu olarak kullanılan suda radon gazı değeri 11 Bq/l den biraz yüksektir.

Fatsa-Sarmaşık kaplıcası hava ortamında ve suyunda radon gazı ölçümü hem aktif hem pasif ölçüm yöntemi kullanılarak 2013-2014 yılı yaz ve kış mevsimlerinde yapılmıştır. Şekil 3’de, aktif (Alpha GARD) ve pasif ölçüm (Cr-39) metotlarının karşılaştırılması verilmektedir.





Şekil 3. Kaplıca hava ortamında iki farklı metot ile ölçülen radon gazı değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 3'de görüldüğü kaplıca havuzu, resepsiyon ve restoran için Cr-39 ve Alpha GUARD ortalama radon gazı ölçüm sonuçları incelendiğinde Cr-39 pasif dedektör sonuçlarının Alpha GUARD radon gazı dedektöründen daha yüksek olduğu görülmektedir. Cr-39 dedektörleri 3 ay sürecinde kaplıcada kalmıştır, Alpha GUARD detektörü her ay 24 saatlik ölçüm alınıp ölçümlerin ortalaması alınmıştır.

Tablo 5. İç havadaki ve kaplıca suyunda ki radon seviyelerinin ve bu çalışmada belirlenen yıllık etkili dozların literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması

Bölgeler	Hava Ortamında Radon (Bq/m <sup>3</sup> )	Suda Radon Bq/l	Personel Doz mSv/y	Referanslar
İtalya(16 Thermal Spa)	30-3983	-	0.01-7.03	[24]
Brezilya(Termas ve Araxa)	258-1634	-	1.7-7.5	[25]
Sırbistan (Niška Banja)	140-2810	24.5-648	3-18	[19]
Cin (Guangdong)	30-2144	53.4-292.5	-	[26]
Yunanistan (Loutra Edipsou)	30-1100	-	0.04-1.27	[27]
Portekiz (17 Thermal Spa)	73-3479	-	0.30-1.29	[28]
İzmir- Dikili	31-280	< 11	2.62	[6]
Kestanbol	65±8	-	1.91	[5]
Cumalı	-	0.1-16.6	-	[7]
Karakoç	-	0.3-10.2	-	[7]
Doğanbey1	-	0.3-56.3	-	[7]
Doğanbey2	-	0.3-7.7	-	[7]
Ayder	108±17	155±23	0.9	[14]
Ilıcaköy	3216±55	577±25	13.4-20.3	[15]
Havza	30±6	82±9	0.2	[14]
Ladik	691±76	234±15	3.3	[15]
Bursa	-	2.513-82.553	-	[8]
Amasya	-	0.11-0.71	0.28-1.78	[12]
Yalova	-	0.21-5.82	2.44-9	[13]
Sakarya	-	0.19-5.89	1.67-4.74	[10]
Bursa	-	0.26 ± 0.1-227± 3	2.44-9	[11]
<b>Fatsa (Ilıca-Sarmaşık)</b>	<b>82±11</b>	<b>3.2 ±0.3</b>	<b>0.52</b>	<b>Bu Çalışma</b>

Tablo 5'de Fatsa- Sarmaşık Kaplıcası için hava ortamında ve su ortamında ölçülen radon gazı değeri ve yıllık etkin doz eşdeğerleri literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Yapılan radon gazı ölçüm sonuçları incelenip limit değerler ile karşılaştırıldığında, sonuçların ulusal ve uluslararası kuruluşlarca belirlenen limit seviyelerden düşük olduğu görülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Fatsa-Sarmaşık Kaplıcası için yaz ve kış mevsiminde olmak üzere hava ortamı ve kaplıca suyunda radon gazı ölçümü yapılmış ve kaplıca suyu ve hava ortamındaki radon gazı seviyelerinin limit değerlerden daha aşağıda olduğu tespit edilmiştir. Fakat kaplıca ortamında içme suyu olarak kullanılan suyun radon gazı seviyesi EPA'nın izin verdiği seviye olan 11 Bq/l değerinden daha yüksektir.

Türkiye' de diğer kaplıcalarda da su ve kapalı yerlerin havasında radon ölçümlerinin yapılması, radon değeri yüksek olan kaplıcalarda sistematik ölçümlerin yapılması önerilmektedir. Sistematik olarak ölçülen (aylık) radon değerleri yüksek olan kaplıcalarda hastalara uygulanan iyileştirme programlarının ve buralarda çalışan personelin çalışma koşullarının gözden geçirilerek gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Tablo 5'de görüldüğü gibi, bazı kaplıca sularındaki radon değeri içme suyu için önerilen limit değerlerinden çok yüksektir. Bu suların içilip içilmediğini ve içilmemesi için herhangi bir önlem alınıp alınmadığının araştırılması önerilmektedir. Hesaplanan doz değerleri göz önüne alındığında koruyucu bir önlem olarak özellikle radyoaktivite değeri yüksek olan kaplıcalarda, uzun süreli uygulamalarda ölçüm ve hesapların yetkili doktor ve radyasyon fizikçileri tarafından gözden geçirilmesi ve buna göre hastalara uygulanan tedavinin yöntem ve uygulama süresine karar verilerek, personelin çalışma süreleri düzenlenmelidir.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Valkovic V. 2000. Radioactivity in the Environment. Elsevier Science B.V., Netherlands, 1-681.
- [2] Al-Jundi J. 2002. Population Doses from Terrestrial Gamma Exposure in Areas Near to Old Phosphate Mine, Russaifa, Jordan. Radiation Measurements, 35: 23-28.
- [3] Wichmann HE., Heinrich J., Gerken M., Kreuzer M., Wellmann J., Keller G., Kreienbrock L. 2002. Domestic radon and lung cancer-current status including new evidence from Germany. International Congress Series, 1225: 247-252.
- [4] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, 2014. Türkiye'deki Kaplıca Tesislerinde Radyoaktivite Düzeyinin Araştırılması ve Toplam Etkin Doz Değerlendirilmesi. Teknik Rapor, Ankara.
- [5] Çelebi N., Alkan H. 1997. Evaluation of Natural Radiation in the Kestanbol Spa Region. Radiation Protection Dosimetry, 69 (3): 227-230.
- [6] Yarar Y., Günaydı T., Çelebi N. 2006. Determination of Radon Concentrations of the Dikili Geothermal Area in Western Turkey. Radiation Protection Dosimetry, 118 (1): 78-81.
- [7] Camgöz B., Saçi M.M., Bolca M., Özen F., Oruç Ö.E., Demirel N. 2010. Termal Suların Radyoaktivite ve Kimyasal İçeriklerinin İncelenmesi; İzmir, Seferihisar Bölgesi Örneği. Ekoloji, 19 (76): 78-87.
- [8] Kılıç N. 2011. Kükürtlü Kaplıcaları Atatürk Rehabilitasyon Merkezindeki Radon Konsantrasyonunun Belirlenmesi. Yüksek lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- [9] Erees F.S., Aytas S., Sacb M.M., Yener G., Salk M. 2007. Radon Concentrations in Thermal Waters Related to Seismic Events Along Faults in The Denizli Basin, Western Turkey. Radiation measurements, 42 (1): 80-86.

- [10] Ertuğral F., Yakut H., Tabar E., Akkaya R., Demirci N., Zenginerler Z. 2014. Measurements of Radon Content in the Thermal Waters in Sakarya. Special issue of the International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering, 25-29 October, Antalya-Turkey.
- [11] Akkaya G., Kahraman A., Koray A., Kaynak G. 2016. Variation in The Radon Concentrations and Outdoor Gamma Radiation Levels in Relation to Different Geological Formations in the Thermal Regions of Bursa, Turkey. *Journal of Radiological Protection*, 36 (3): 490.
- [12] Oner F., Yigitoglu I., Yalim H.A. 2013. Measurements of Radon Concentrations in Spa Waters in Amasya, Turkey. *Radiation Protection Dosimetry*, 157 (2): 221-224.
- [13] Tabar E., Yakut H. 2014. Radon measurements in water samples from the thermal springs of Yalova basin, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299 (1): 311-319.
- [14] Uzun Duran S., Küçükömeroğlu B., Damla N., Taşkın H., Celik N., Cevik U., Ersoy H. 2016. Radioactivity Measurements and Risk Assessments of Spa Waters in Some Areas in Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 53 (1): 91-103.
- [15] Uzun Duran S., Küçükömeroğlu B., Çevik U., Çelik N., Taşkın H., Ersoy H. 2019. Radioactivity measurements in spas of central and Eastern Black Sea region, Turkey. *International Journal of Radiation Research*, 17 (3): 383-391.
- [16] Şahin T. 2019. Ordu İli Fatsa İlçesi Jeotermal Enerji Potansiyelinin Isıtma Sistemlerinde Kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu.
- [17] Papastefanou C. 2002. An Overview of Instrumentation for Measuring Radon in Soil Gas and Groundwaters. *Journal of Environmental Radioactivity*, 63 (3): 271-283.
- [18] Nikolov J., Todorovic N., Petrovic P.T., Forkapic S., Mrdja D., Bikit I., Krmar M., Veskovc M. 2012. Exposure to radon in the radon spa Niska Banja. *Serbia Radiation Measurements*, 47 (6): 443-450.
- [19] Genitron Instruments Ltd. AlphaGuard PQ20001 MC50. 1994. Multiparameter radon monitor (Frankfurt: Genitron Instruments Ltd).
- [20] Todorovic N., Nikolov J., Forkapic S., Bikit I., Mrdja D., Krmar M., Veskovc M. 2012. Public Exposure to Radon in Drinking Water in Serbia. *Applied Radiation and Isotopes*, 70 (3): 543-549.
- [21] Kürkçüoğlu M.E., Tozun F. 2015. Isparta İl Merkezindeki İş Yerlerinde Atmosferik Radon Ölçümleri. *SDU Journal of Science (E-Journal)*, 10 (1): 62-74.
- [22] WHO, 2008. Guidelines for third edition recommendations drinking-water quality. Vol 1., World Health Organization, Geneva.
- [23] US-EPA, United States Environmental Protection Agency 1991. National primary drinking water regulations for radionuclides. *Federal Register*, 33050-33127.
- [24] Puglies M., Quarto, M., Roca V. 2014. Radon Concentrations in Air and Water in The Thermal Spas of Ischia Island. *Indoor and Built Environment*, 23 (6): 823-827.
- [25] Campos M.P., Pecequilo B.R.S., Mazzilli B.P. 2010. Rn-222 and Pb-212 Exposures at a Brazilian Spa. *Radiation Protection Dosimetry*, 141 (2): 1-5.
- [26] Song G., Zhang B., Wang X., Gong J., Chan D., Bennett J., Lee S. C. 2005. Indoor radon levels in selected hot spring hotels in Guangdong, China. *Science of the Total Environment*, 339 (1-3): 63-70.
- [27] Geranios A. Nikolopoulos D, Louizi A, Karatzi A. 2004. Multiple radon survey in spa of Loutra Edipsou (Greece). *Radiation Protection Dosimetry*, 112 (2): 251-258.
- [28] Silva A.S., Dinis M.L., Pereira A.J.S.C., Fiúza A. 2015. Radon levels in Portuguese thermal spas. In *Proceedings of the, Third International Conference on Radiation and Application in Various Fields of Research, RAD2015*, (218), 8-12 June, Budva, Montenegro.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Muğla İli Memeli Faunasına Katkılar

Yasin İLEMİN\*

*Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, Muğla  
(ORCID: 0000-0002-8240-4484)*

---

### Öz

Bu araştırma ile çalışma bölgesindeki memeli faunasının ve bu türler üzerindeki tehditlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Arazi çalışmaları 2018 ve 2019 yıllarında yıl boyunca gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda 37 farklı karasal ve iç su memeli türü tespit edilmiştir. Alaca sansar (*Vormela peregusna*) türü Muğla için ilk kayıttır. Muğla İli için karayollarında araç çarpması sonucu ölen türlerin kayıtları tutulmuş, Porsuk (*Meles meles*), Kaya sansarı (*Martes foina*) ve Karakulak (*Caracal caracal*) populasyonlarının ciddi tehdit altında olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre Muğla İlinde özellikle Köyceğiz, Döğüşbelen Mevkii, bir ekosistem köprüsü için uygun bir nokta olarak öne çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Memeli faunası, Muğla, *Vormela peregusna*.

---

## Contributions to the Mammalian Fauna of Muğla Province

---

### Abstract

This study aimed to identify the mammalian fauna in the study area and the threats on these species. Field studies were carried out throughout the year in 2018 and 2019. As a result of the studies, 37 different terrestrial and inland water mammal species have been identified. Marbled polecat (*Vormela peregusna*) is the first record for Muğla. The records of the species that died as a result of vehicle accidents on the highways for Muğla Province were kept and it was observed that Eurasian badger (*Meles meles*), Beech marten (*Martes foina*), Caracal (*Caracal caracal*) populations were under serious threat. According to these results, especially Köyceğiz, Döğüşbelen Mevkii in Muğla Province stands out as a suitable point for an ecosystem bridge.

**Keywords:** Mammal fauna, Muğla, *Vormela peregusna*.

---

### 1. Giriş

Ülkemizin Güneybatısında bulunan ve birçok el değmemiş habitat barındıran Muğla ili karasal ve iç su ekosistemlerindeki memeli türleri üzerinde yapılan araştırmalar çok kısıtlı olup, birkaç araştırmacının yaptığı çalışmalara dayanmaktadır. Bu çalışmada Muğla İli karasal ve iç su Memeli faunası ile ilgili güncel bir literatür araştırması yapılmış ardından arazi çalışmaları sonucunda elde edilen bulgular paylaşılmıştır. Böylece Muğla İli'nde yaşayan türlerin belirlenmesi ve bunlar üzerindeki tehditlerin güncel durumunun ortaya konulması amaçlanmıştır.

### 2. Materyal ve Metot

Sistematik arazi çalışmaları ve literatür taramaları Muğla İlindeki bütün karasal ve içsu ekosistemlerinin tamamını kapsayacak şekilde 2018 ve 2019 yılları boyunca gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).

Büyük memelilerin gözlenmesi ve kaydedilmesinde dürbün, fotokapan, fotoğraf makinesi gibi çalışılan türlere uygun malzemeler kullanılmıştır. Araç çarpması sonucu ölmüş memeli türleri kayıt edilmiştir. Gözlem yapılan alanların ve tespit edilen türlerin koordinatları Küresel Konum Belirleme Aracı (GPS) yardımıyla kayıt edilmiştir. Arazi gözlemleri sırasında, memelilere ait ayak izi, dışkı, ses

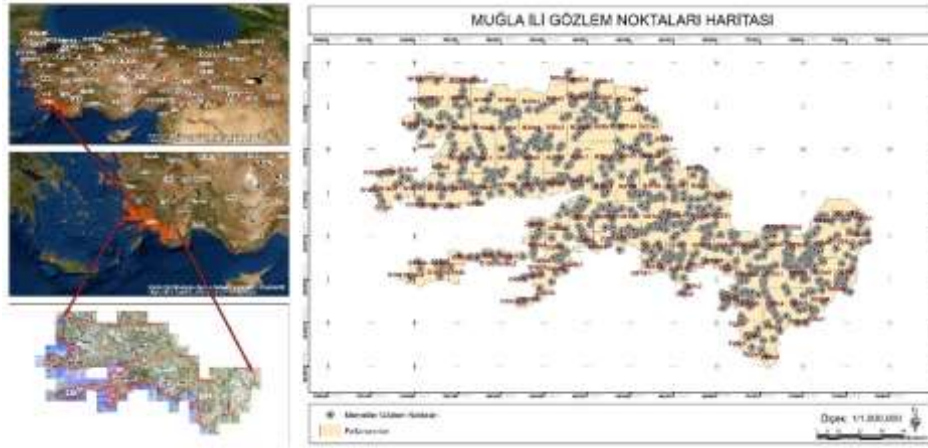
---

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

Geliş Tarihi: 12.02.2020, Kabul Tarihi: 18.03.2020

(yarasaların ultrasonik dedektör ile tespiti) ve emarelerden yararlanma esasına dayalı dolaylı gözlemler de yapılmıştır. Kemiriciler ve böcekçiller için canlı yakalama kapanları kullanılmıştır. Yarasa türlerine ait tespitler ultrasonik dedektör (Pettersson D 500x) ile yapılmıştır. Ayrıca bölgedeki mağara, mazgal, eski binalar, kaleler gibi ortamlara girilerek tünelerinde türler veya dışkıları fotoğraflanmıştır.

Memeli yaban hayvanlarının envanterinin çıkarılmasının yanı sıra, populasyon durumu ve populasyonlarını tehdit eden faktörler belirlenmiştir. Populasyon durumu değerlendirmeleri yapılırken 3 kategori oluşturulmuştur. Yıllar içinde yapılan gözlemlere göre ilgili türün kayıt frekanslarında azalma var ise durumu “azalan”, kayıt frekansları değişmiyorsa “sabit” ve kayıt frekansları yıllar içinde artıyorsa “artan” şeklinde kategorilendirilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu proje kapsamında 37 karasal memeli türü tespit edilmiştir. Alaca sansar (*Vormela peregusna*), ilk defa bu proje kapsamında Muğla İlinde kayıt altına alınmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında tespit şekillerine göre elde edilen bulgulardan bazıları aşağıda verilmektedir.

#### Doğrudan Fotoğraflama

Arazi çalışmaları sırasında memeli türlerinin çıplak gözle tespit edilebildiği durumlarda fotoğrafları çekilmiştir. Buna göre Marmaris-Aksaz’da yapılan saha çalışmaları esnasında yaban keçisi (*Capra aegagrus*) görülmüş ve fotoğraflanmıştır (Şekil 2). Milas İncirliin Mağarasında Büyük nalburunlu yarasa (*Rhinolophus ferrumequinum*) tespit edilmiştir (Şekil 3). Seydikemer İlçesi, Çaltıözü Mahhallesinde Vedat Karakaya tarafından bir kurt (*Canis lupus*) tespit edilmiştir (Şekil 4). Alaca Sansar (*Vormela peregusna*), Muğla için ilk kayıt olmuştur. Tepsit edilen bu Alaca sansar bireyi, Seydikemer İlçesi, Temel Mahallesi, Kıncılar mevkiinde (Girdev yaylası), ormanlık alanda dolaşan Şevket Taşçı tarafından görülmüş, fotoğraflanmış ve tarafımıza bulgu olarak ulaştırılmıştır (Şekil 5). Görüldüğü mevkii, 1200-1500 m rakımlar arasında değişen bir yükseltiyeye sahiptir.



Şekil 2. Tespit edilen dişi yaban keçisi (*Capra aegagrus*)



Şekil 3. Nalburunlu yarasa (*Rhinolophus ferrumequinum*)



Şekil 4. Kurt (*Canis lupus*)



Şekil 5. Muğla için ilk kayıt olan Alaca sansar (*Vormela peregusna*)

Ayak İzi ve diğer izler (beslenme belirtisi)

Köyceğiz İlçesi Hamitköy Mahallesiinde yapılan arazi çalışmalarında porsuk (*Meles meles*) türüne ait ayak izleri tespit edilmiştir (Şekil 6). *Apodemus* (Orman fareleri) cinsine ait beslenme belirtileri görülmüştür (Şekil 7). Yaban domuzlarının (*Sus scrofa*) toprağı burunları ile kazarak toprak altında buldukları besinleri (kök, yumru, mantar vs.) tükettiklerine dair emareler görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 6. Tespit edilen porsuk (*Meles meles*) türüne ait arka (soldaki) ve ön (sağdaki) ayak izleri



Şekil 7. *Apodemus* cinsine ait beslenme kalıntıları





Şekil 8. Yaban domuzlarına ait beslenme izleri

Dışkı İle Tespit

Köyceğiz İlçesi Zeytinalanı Mahallesiinde yapılan arazi çalışmaları esnasında Köyceğiz gölü kıyısında su samuru (*Lutra lutra*) türüne ait dışkı tespit edilmiştir (Şekil 9). Arazi çalışmaları sırasında tespit edilen farklı türlerin dışkılarına ait fotoğraflar Şekil 10’da verilmektedir.



Şekil 9. Su samuru (*Lutra lutra*) dışkısı



Şekil 10. Arazi çalışmaları sırasında tespit edilen memeli dışkılarından bazıları (1. Porsuk, 2. Kaya sansarı, 3.Kurt, 4. Cüce yarasa)

### Ölü bireyler

Kaya sansarı (*Martes foina*) Bafa gölünü kıyısında uzanan kara yolunda Aydın İl sınırına geçmeden hemen önce tespit edilmiştir (Şekil 11). Tespit edilen bireyin yetişkin ve erkek olduğu yapılan incelemelerde anlaşılmıştır. Seydikemer İlçesi Bayır Mahallesi'nde bir karakulağın (*Caracal caracal*) yol kenarında araç çarpması sonucu öldüğü tespit edilmiştir (Şekil 12).



Şekil 11. Araç çarpması sonucu ölmüş Kaya sansarı (*Martes foina*)



Şekil 12. 15 Haziran 2018 tarihinde Seydikemer Bayır Mahallesi'nde incelenen karakulak (*Caracal caracal*)

Foto-kapan

Bu çalışma kapsamında foto-kapan yöntemi kullanılarak özellikle büyük memeli türler hakkında bulgular elde edilmiştir. Elde edilen foto-kapan kayıtlarına göre tespit edilen türlerden bazıları aşağıda paylaşılmaktadır (Şekil 13).



Şekil 13: Elde edilen bazı foto-kapan kayıtları. 1. Yaban keçisi, 2. Karakulak, 3. Bozayı, 4. Kurt

Epidermal yapılar ve döküntüler

Oklu kirpiye (*Hystrix indica*) ait ok kalıntıları bulunmuştur (Şekil 14).



Şekil 14. Oklu kirpi (*Hystrix indica*) türüne ait döküntüler

Yuva ile tespit

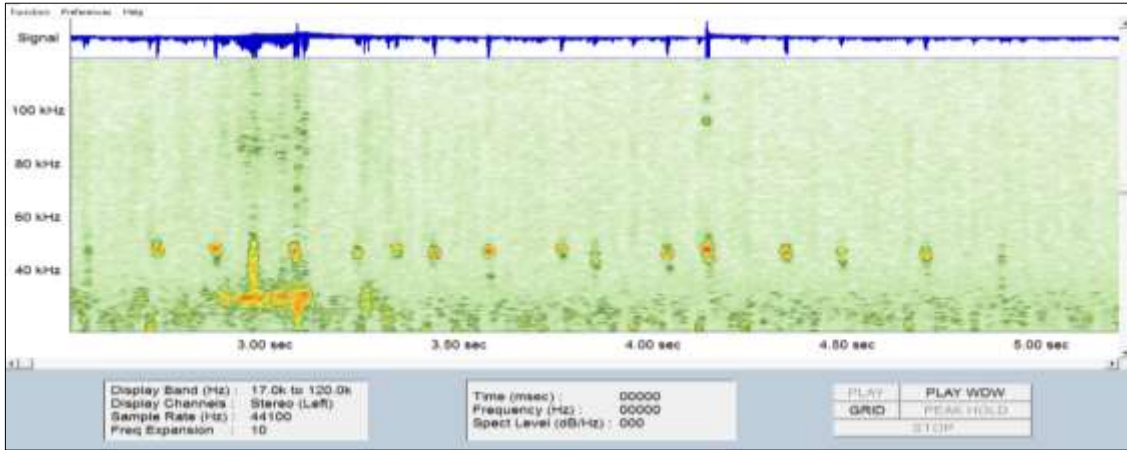
Şekil 15’de yaban domuzuna (*Sus scrofa*) ait bir yatak (dinlenme noktası) verilmektedir.



Şekil 15. Yaban domuzuna (*Sus scrofa*) ait bir dinlenme noktası

#### Ultrasonik yarasa dedektörü

“D500x Bat Detector Pettersson Elektronik” marka dedektör farklı noktalarda çalıştırılarak elde edilen ses kayıtları üzerinden yarasa tür teşhisleri yapılmıştır. Şekil 16’da *Pipistrellus pipistrellus* (Cüce yarasa) türüne ait sonogram örneği verilmiştir.



Şekil 16. *Pipistrellus pipistrellus* türüne ait ses sonogramı (Kaynak kişi: Tarkan Yorulmaz)

#### Küçük memeli yakalama tuzağı

Yakalama tuzaqları ile farklı noktalarda memeli örneklemeleri yapılmıştır. Milas Korucuk mahallesinde tespit edilmiş bir Kır sivri faresi Şekil 17’de görülmektedir.



Şekil 17. Yakalama tuzağı ile yakalanıp teşhis edilen Kırsivri faresi (*Crociodura leucodon*)  
(Foto: Tarkan Yorulmaz)

Yapılan arazi ve literatür çalışmaları sonucunda Muğla İline ait güncel memeli tür listesi Tablo 1’de verilmektedir.

#### Memelilere İlişkin Tehditler

Özellikle Muğla’da yaz aylarında trafik yoğunluğunun artmasına bağlı olarak şehirlerarası yollarda (100 km hat boyunca) yılda 5-6 porsuk bireyinin telef olduğu tutulan kayıtlardan anlaşılmaktadır. Bu da Muğla populasyonunun neredeyse %16’sının sadece yollarda telef olduğu anlamına gelmektedir. Kara yollarında kaya sansarı ve karakulak ölümlerinin de fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu oranlara kaçak avcılık, zehirlenme ve habitat tahribi de eklendiğinde tehlikeli bir durum ortaya çıkmaktadır (Tablo 2).

#### **4. Sonuç ve Öneriler**

Bu proje kapsamında yapılan literatür ve arazi çalışmaları ile Muğla İlinde yaşayan 37 memeli türü tespit edilmiştir. Tespit edilen türlerden 5 tanesi IUCN’e göre NT, 2 tanesi VU, 1 tanesi DD, 29 tanesi ise LC kategorisindedir. Bu türlerden 1 tanesi Muğla için ilk kayıttır. Alaca sansar (*Vormela peregusna*) ile ilgili güncel tüm kayıtların verildiği Yürümez ve Ulutürk’ün 2019 yılında yaptığı çalışmaya göre tür ile ilgili Ülkemizde 24 farklı lokaliteden kayıt bulunmaktadır. Bu lokaliteler; İstanbul, Çatalca, Istranca Dağları, Meriç Nehri, Tekirdağ, İzmir, Eskişehir, Tuz Gölü, Vezirköprü, Samsun, Kadirli, Osmaniye, Cizre, Siirt, Kahramanmaraş, Van Gölü, Erzurum, Göle-Kars, Adana, Diyarbakır, Yeşilhisar-Kayseri, Gönen, Ceylanpınar, Batman şeklinde verilmiştir. Bu çalışma ile türün yayılışına yeni bir lokalite kaydı eklenmiştir.

Muğla İli genelinde özellikle büyük memeli türleri üzerindeki tehditlerin ortadan kaldırılması için Tarım ve Orman Bakanlığı, yerel yönetimler ve Üniversite işbirliğinde planlamalar yapılmalıdır. Yaban hayvanlarının karayollarında telef olmalarının önüne geçmek amacıyla uygun habitatlarda ekosistem köprülerinin planlanmalıdır. Buna göre Muğla İlinde özellikle Köyceğiz, Döğüşbelen Mevkiinde bir ekosistem köprüsüne ihtiyaç vardır.

**Tablo 1.** Muğla İli memeli tür listesi ve popülasyon durumları

No	FAMİLYA	TÜR	TÜRKÇE ADI	BERN	CITES	IUCN	ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	POPULASYON DURUMU
1	Bovidae	<i>Capra aegagrus</i>	Yaban keçisi	-	-	VU	5,7, 20	Sabit
2	Canidae	<i>Canis aureus</i>	Çakal	-	-	LC	5, 19, 7	Azalan
3	Canidae	<i>Canis lupus</i>	Kurt	-	EK-II	LC	8, 10, 18, 20	Azalan
4	Canidae	<i>Vulpes vulpes</i>	Kızıl tilki	-	-	LC	5,7, 8, 9, 10,11, 16, 20	Sabit
5	Cervidae	<i>Dama dama</i>	Alageyik	EK-III	-	LC	5,	Sabit
6	Erinaceidae	<i>Erinaceus concolor</i>	Yaygın kirpi	EK-III	-	LC	5, 7, 13	Sabit
7	Felidae	<i>Caracal caracal</i>	Karakulak	-	EK-I	LC	4, 7, 8, 10, 11	Azalan
8	Felidae	<i>Felis silvestris</i>	Yaban kedisi	EK-II	EK-II	LC	5, 7	Azalan
9	Gliridae	<i>Dryomys nitedula</i>	Hasancık/Ağaç Yediuyuru	EK-III	-	LC	5, 21, 13	Azalan
10	Hyaenidae	<i>Hyaena hyaena</i>	Çizgili sırtlan	-	-	NT	20, 5	Azalan
11	Hystriidae	<i>Hystrix indica</i>	Oklu kirpi	-	-	LC	5,7, 9,	Azalan
12	Leporidae	<i>Lepus europaeus</i>	Yaban tavşanı	EK-III	-	LC	5,7,8, 9	Sabit
13	Miniopteridae	<i>Miniopterus schreibersii</i>	Uzun kanatlı yarasa	EK-II	-	NT	6, 12	Azalan
14	Muridae	<i>Apodemus flavicollis</i>	Sarı göğüslü orman faresi	-	-	LC	5, 21, 13, 16	Sabit
15	Muridae	<i>Apodemus mystacinus</i>	Kayalık Orman faresi	-	-	LC	5, 21, 13, 16	Sabit
16	Muridae	<i>Mus domesticus</i>	Ev faresi	-	-	LC	5, 21	Artan
17	Muridae	<i>Mus macedonicus</i>	Makedon faresi	-	-	LC	5, 21	Sabit
18	Muridae	<i>Rattus norvegicus</i>	Göçmen sıçan	-	-	LC	5, 21	Artan
19	Muridae	<i>Rattus rattus</i>	Çatı sıçanı	-	-	LC	5, 21	Artan
20	Mustelidae	<i>Lutra lutra</i>	Su samuru	EK-II	EK-I	NT	1, 2, 3, 5, 14, 17, 20	Azalan
21	Mustelidae	<i>Martes foina</i>	Kaya sansarı	EK-III	-	LC	5, 7, 8, 20	Azalan
22	Mustelidae	<i>Meles meles</i>	Porsuk	EK-III	-	LC	5, 7, 8, 20	Azalan
23	Mustelidae	<i>Mustela nivalis</i>	Gelincik	-	EK-III	LC	5, 7, 20	Azalan
24	Mustelidae	<i>Vormela peregusna</i>	Alaca sansar	EK-II	-	VU	*İlk kayıt	Azalan
25	Rhinolophidae	<i>Rhinolophus blasii</i>	Blasius Nalburunlu yarasası	EK-II	-	LC	6, 12	Azalan
26	Rhinolophidae	<i>Rhinolophus euryale</i>	Akdeniz nalburunlu yarasası	EK-II	-	NT	6, 12	Azalan
27	Rhinolophidae	<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Büyük nalburunlu yarasa	EK-II	-	LC	6, 12	Azalan
28	Rhinolophidae	<i>Rhinolophus hipposideros</i>	Küçük nalburunlu yarasa	EK-II	-	LC	6, 12	Azalan
29	Sciuridae	<i>Sciurus anomalus</i>	Anadolu sincabı	EK-II	-	LC	5, 21	Sabit
30	Soricidae	<i>Crocidura leucodon</i>	Kır sivri faresi	EK-III	-	LC	5, 15	Sabit
31	Soricidae	<i>Crocidura suaveolens</i>	Sivri burunlu bahçe faresi	EK-III	-	LC	5, 15	Sabit
32	Soricidae	<i>Suncus etruscus</i>	Etrusk sivri faresi	-	-	LC	15	Sabit
33	Spalacidae	<i>Nannospalax xanthodon</i>	Anadolu Körfaresi	-	-	DD	24	Azalan
34	Suidae	<i>Sus scrofa</i>	Yaban domuzu	EK-III	-	LC	5,7, 8, 9, 10,11, 16, 20	Artan
35	Ursidae	<i>Ursus arctos</i>	Bozayı	-	EK-II	LC	7, 8, , 18	Azalan
36	Vesertilionidae	<i>Eptesicus bottae</i>	Akdeniz geniş kanatlı yarasası	EK-II	-	NT	6, 12, 23	Azalan
37	Vespertilionidae	<i>Pipistrellus pipistrellus</i>	Cüce yarasa	EK-III	-	LC	6, 12	Azalan

**Tablo 2.** Muğla İlinde memeli türler üzerindeki tehditler

Türler	Tehditler
Çakal ( <i>Canis aureus</i> )	Kaçak av + zehirli et
Kurt ( <i>Canis lupus</i> )	Kaçak av + zehirli et
Karakulak ( <i>Caracal caracal</i> )	Kaçak av + zehirli et
Yaban Keçisi ( <i>Capra aegagrus</i> )	Kaçak av
Oklu kirpi ( <i>Hystrix indica</i> )	Tarım ilacı+ kaçak av + habitat tahribatı
Alaca sansar ( <i>Vormela peregusna</i> )	Tarım ilacı+ kaçak av + habitat tahribatı
Yaban kedisi ( <i>Felis silvestris</i> )	Evcil kediler ile melezleşme + habitat tahribatı
Su samuru ( <i>Lutra lutra</i> )	Sulak alan kirliliği + kaçak av
Bozayı ( <i>Ursus arctos</i> )	Kaçak av + bal üreticileri ile çatışma

### Teşekkür

Bu çalışma, Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü'nün Ulusal Biyolojik Çeşitlilik Envanter ve İzleme Projesi kapsamında Turunç Peyzaj Şirketi tarafından yürütülmüştür. Çalışma süresince desteğini esirgemeyen Dr. Tarkan YORULMAZ'a teşekkür ederim.

### Yazarların Katkısı

Çalışmada 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] Albayrak İ. 2000. Türkiye'deki Su samuru (*Lutra lutra* L. 1758)'nun yayılışına katkılar. *Tabiat ve İnsan*, 34 (1): 3-7.
- [2] Barlas M., Yorulmaz B. 2000. Su samuru (*Lutra lutra*)'nun Muğla ve çevresinde yayılışı. *Tabiat ve İnsan*, 34 (1): 18-23.
- [3] Çağlar M. 1957. Fethiye civarının bazı memeli hayvanları hakkında. *Biologi, Türk Biyoloji Derneğinin Yayın Organı, İstanbul*, 7 (3): 72-76.
- [4] Çağlar M. 1963. *Felis caracal schmitsi* (Matschie, 1912) in Anatolien. – İstanbul Univ. Fen Fakült. Mecmuası, 23: 51-54.
- [5] Demirsoy A. 1997. Türkiye Omurgalıları, Memeliler. Meteksan Yayınevi, Ankara, 1-292.
- [6] Doğa Koruma ve Korunan Alanlar (DKMP). 2012. Yarasalar ve Mağara Ekosistemleri (Erişim tarihi: 07.02.2017).
- [7] İlemin Y. 2010. Datça-Bozburun Yarımadası Orta ve Büyük Memeli Türlerinin Vejetasyon Tiplerine Bağlı Dağılımının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [8] İlemin Y. 2014. A camera trapping survey reveals a melanistic grey wolf (*Canis lupus*) in an unusual habitat in Turkey (Mammalia: Carnivora). *Zoology in the Middle East*, 60 (1): 1-5.
- [9] İlemin Y., Gürkan B. 2010. Status and activity patterns of the Caracal, *Caracal caracal* (Schreber, 1776), in Datca and Bozburun Peninsulas, Southwestern Turkey. *Zoology in the Middle East*, 50 (1): 3-10.

- [10] İlemin Y., Kesdek M., Koç H. 2015. Akdeniz Ekosistemleri Büyük Memeli Türleri ve Karnivor Türlerin Bu Ekosistemlerdeki Önemi: Fethiye Babadağ Örneği. Ekoloji 2015 Sempozyumu, 06-09 Mayıs 2015, Sinop, Türkiye, 33.
- [11] İlemin Y., Koç H. 2016. Karakulak *Caracal caracal* (Schreber, 1776) türünün Diyeti Üzerine Türkiye’den İlk Bulgular. Sözlü Bildiri, 23. Ulusal Biyoloji Kongresi, 5-9 Eylül, Gaziantep, Türkiye.
- [12] Karataş A., Toprak F., Karakaya H. 2002. Türkiye Yarasaları (Mammalia: Chiroptera). XVI. Ulusal Biyoloji Kongresi, 4-7 Eylül 2002, İnönü Üniversitesi Malatya.
- [13] Kaynaş B.Y. 2008. *Pinus brutia* orman ekosistemlerinde küçük Memeli komünitesi üzerine yangının uzun dönem etkisi ve yangınsonrası komünite yapısının Değişimi üzerine çalışmalar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [14] Kesim A., Başkale E., Eryiğit A., Turan Ü., Urhan R., Menengiç M., Kaska Y. 2008. Gökova Özel Çevre Koruma Bölgesindeki Su Samuru Habitatları. Su Samurunun Türkiye’deki Durumu III. Sempozyum (Uluslararası katılımlı), 23-24 Ekim, Kırıkkale, 87-98.
- [15] Kryštufek B., Vohralik V. 2001. Mammals of Turkey and Cyprus. Introduction Checklist Insectivora. Science and Research Centre of the Republic of Slovenia, Koper.
- [16] Kurtonur C., Özkan B., Albayrak Ş., Kıvanç E., Kefelioğlu H. 1996. Memeliler “Türkiye Omurgalılar Tür Listesi”. DPT-TBAG Nürol Matb., Ankara, 1-183.
- [17] Thol-Schmitz H. 2004. Status of the Eurasian Otter, *Lutra lutra*, in Turkey, and experiences with establishing a National Otter Data Base. Zoology in the Middle East, 33: 109-118.
- [18] Şekercioğlu Ç.H., Anderson S., Akçay E., Bilgin R., Can Ö.E., Semiz G., Sağlam İ.K. 2011. Turkey’s globally important biodiversity in crisis. Biological Conservation, 144 (12): 2752-2769.
- [19] Turan N. 1984. Türkiye’nin Av Ve Yaban Hayvanları, Memeliler. Ongun Kardeşler Matbaacılık Sanayii, Ankara, 1-177.
- [20] Ürker O., İlemin Y., Bulut Ş., Ada E. 2015. Anadolu Sığıla Ormanları (*Liquidambar orientalis*)’nın Biyo-Ekolojisi ve Bu Ormanlardaki Yaban Hayatı Özellikleri Hakkında Güncel Bir Değerlendirme. Sözlü Bildiri, XII. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi 14-17 Eylül 2015, Muğla, Türkiye.
- [21] Yiğit N., Çolak E., Sözen M., Karataş A. 2006. Rodents of Türkiye (Türkiye Kemiricileri). Meteksan, Ankara, 1-114.
- [22] Ulutürk S., Yürümez G. 2019. *Vormela peregusna*’nın Türkiye’deki Dağılışı ve Ekolojileri Üzerine Katkılar. Kommagene Biyoloji Dergisi, 3 (1): 53-55.
- [23] Aulagnier S., Karataş, A., Tsytsulina K. 2008. *Eptesicus bottae*. The IUCN Red List of Threatened Species 2008: e.T7915A12869203.
- [24] Arslan A., Kryštufek B., Matur F., Zima, J. 2016. Review of chromosome races in blind mole rats (*Spalax and Nannospalax*). Folia Zoologica, 65 (4): 249-301.



---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

**Van'da yetiştirilen evcil güvercinlerde (*Columba livia domestica*)  
*Trichomonas gallinae* (Rivolta, 1878) prevalansı**

Ali Bilgin YILMAZ\*

*Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Van  
(ORCID:0000-0749-2418)*

---

**Öz**

*Trichomonas gallinae* güvercinleri enfekte eden protozoon bir parazittir. Ağız sütü ile ergin güvercinlerden yavruya bulaşır. *Trichomonas gallinae*'nin virulansına göre genç kuşlarda ciddi ölümlere neden olur. Çalışmanın materyalini Van ilinde hobi amaçlı güvercin yetiştiriciliği yapan kişilerin barınaklarından 178 dişi, 122 erkek ve 150 yavru olmak üzere toplamda 450 evcil güvercin oluşturmaktadır. Güvercinler yaş ve cinsiyetlerine göre *Trichomonas gallinae* yönünden incelendi, ağız, farenks ve konkalarından alınan swap'lar lam üzerine yayıldı. Preparatların metil alkol ile tespit edilmesinin ardından Giemsa boyası ile boyanarak mikroskopta 100x objektif ile incelemesi yapıldı. Bulgular değerlendirildiğinde 178 dişi güvercinin 97'sinin (%54.49), 122 erkek güvercinin 53'ünün (%43.44), 150 yavru güvercinin 102'sinin (%68) *Trichomonas gallinae* ile enfekte olduğu görüldü. Erkek, dişi ve yavru güvercinlerin genel enfeksiyon ortalaması %56 olarak bulundu. Bu çalışma ile Van'da *Trichomonas gallinae* mikroskopik olarak ilke tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Güvercin, *Trichomonas gallinae*, Van.

---

**The prevalence of *Trichomonas gallinae* (Rivolta, 1878) in domestic pigeons  
(*Columba livia domestica*) in Van**

---

**Abstract**

*Trichomonas gallinae* is a protozoan parasite that infects pigeons. With Crop milk, it is transmitted from adult pigeons to young pigeons. According to the virulence of *Trichomonas gallinae*, it causes serious deaths in young birds. The material of the study consists of a total of 450 domestic pigeons, 178 females, 122 males and 150 offspring from shelters of hobby pigeon breeding in Van. Pigeons were examined for *Trichomonas gallinae* according to age and sex. Swabs from pigeons mouth, pharynx and concha spread on the slide. After fixation of the preparations with methylalcohol, they were stained with giemsa stain and examined 100X objective under microscope. When the findings were evaluated, 97 (54.49%) of 178 female pigeons, 53 (43.44%) of 122 male pigeons and 102 (68%) of 150 pigeons were infected with *Trichomonas gallinae*. The overall infection rate of male, female and juvenil pigeons was 56%. This is the first study in which *Trichomonas gallinae* was detected microscopically in the province of Van.

**Keywords:** Pigeon, *Trichomonas gallinae*, Van.

---

**1. Giriş**

*Trichomonas gallinae*, Columbidae familyasına ait kuşları ve bunlarla beslenen yırtıcı kuşları enfekte eden, ekonomik önemi olan bir patojen protozoondur. Columbidae familyasındaki kuşlar bu protozoon ile daha yoğun enfekte olmasına rağmen, toygiller [1], papağanlar [2], kümes hayvanları [3] ve ötücü kuşlar [4] gibi birçok kuş türü de bu parazit ile enfekte olabilmektedir. Parazitler esas olarak kuşun ön sindirim sisteminde yaşar, burada özofagus lümenini tıkayan granülomatöz lezyonlara neden olup, şiddetli açlıktan dolayı ölüme yol açarlar [5].

Türkiye'de güvercinlerde *T. gallinae*'nin tespit edilmesi ile ilgili çalışma sayısı oldukça kısıtlıdır [6-8]. Dünya'nın diğer ülkelerinde *T. gallinae*'nin tespitinde yönelik çok sayıda çalışma

---

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

Geliş Tarihi: 13.02.2020, Kabul Tarihi: 28.04.2020

bulunmaktadır. Bu araştırmalarda mikroskopik tekniklerin yanında etkenin tespitine yönelik moleküler tekniklerde kullanılmaktadır [9-11].

Bu çalışmanın amacı Van ilinde evcil dişi, erkek ve yavru güvercinlerde *T. gallinae*'nin varlığını ve prevalansını belirlemektir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışma 2019 yılı Haziran-Ağustos ayları arasında Türkiye'nin doğusunda yer alan Van ilinde yürütüldü. Çalışmanın materyalini hobi amaçlı güvercin yetiştiriciliği yapan kişilerin barınaklarındaki 178 dişi, 122 erkek ve 150 yavru olmak üzere toplamda 450 evcil güvercin oluşturmaktadır. Çalışmada 0-6 ay arasındaki güvercinler yavru güvercin, 6 aydan büyük güvercinler ise ergin olarak tanımlandı. Parazitin tespiti için güvercinlerin ağız, farenks ve konkalarından alınan swap'lar lam üzerine yayıldı. Preparatlar açık havada kurutulduktan sonra 30 saniye metil alkol ile tespit edildi ve ardından Giemsa boyası [12] ile boyanarak oda sıcaklığında 15-20 dakika kurutuldu. Kurutulmuş lamlar daha sonra distile su ile durulandı ve oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı. Preparatlar 100X objektif kullanılarak mikroskopta ile incelendi.

### 2.1. İstatiksel analiz

Yaş grupları ve cinsiyetler arasındaki enfeksiyon oranlarını incelemek için SPSS 18.0 (SPSS Inc., IBM Corporation, Somers, NY) programıyla ki-kare testi uygulandı.  $P < 0.05$  istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Bulgular değerlendirildiğinde 178 dişi güvercinin 97'sinin (%54.49, 178/97), 122 erkek güvercinin 53'ünün (%43.44, 122/53), 150 yavru güvercinin 102'sinin (%68, 150/102) *T. gallinae* ile enfekte olduğu görüldü. Erkek, dişi ve yavru güvercinlerin genel enfeksiyon ortalaması %56 olarak bulundu. Cinsiyete göre karşılaştırma yapıldığında istatistiksel olarak bir önemin bulunmadığı görüldü ( $\chi^2=3.53$ , d.f=1,  $P > 0.005$ ) (Tablo 1).

**Tablo 1.** Enfeksiyon oranları

Birey Sayısı	Enfekte olmayanlar (%)	Enfekte olanlar (%)	Toplam
Dişi	81(%45.51)	97(%54.49)	178
Erkek	69(%56.56)	53(%43.44)	122
Yavru	48(%32.00)	102(%68.00)	150
Toplam	198(%44.00)	252(%56.00)	450

Yavru güvercinler ile ergin güvercinler arasında *T. gallinae*'nin görülme sıklığı karşılaştırıldığında yavru güvercinlerde prevalansın ergin güvercinlerden çok daha yüksek olduğu belirlendi (%68, 150/102) Bu farklılık ergin ve yavru güvercinler arasında istatistiksel olarak önemli görüldü ( $\chi^2 = 13.14$ , d.f=1,  $P < 0.05$ ) (Tablo 2).

**Tablo 2.** Yetişkin ve yavru güvercinlerde enfeksiyon oranları

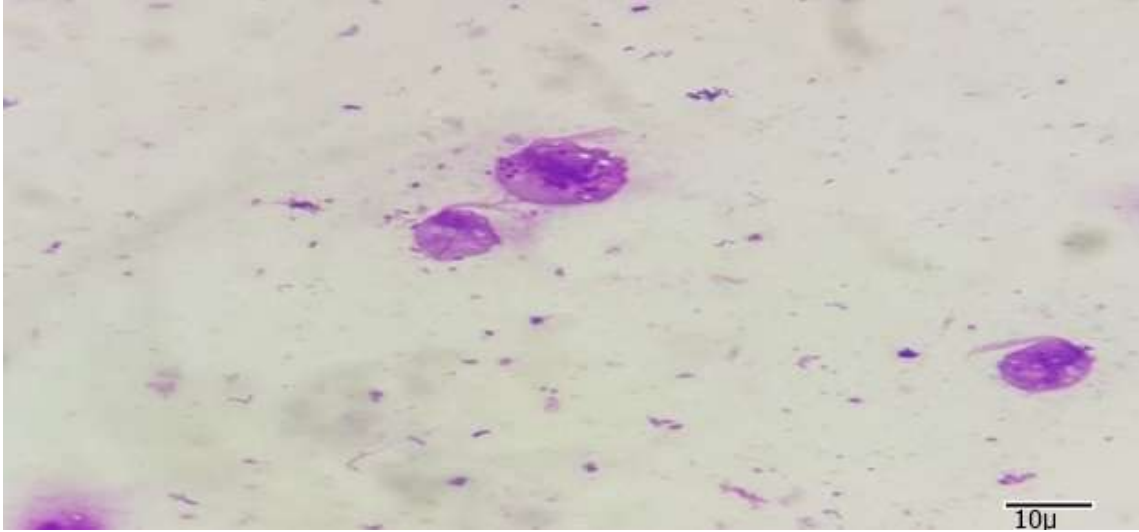
	Enfekte olmayanlar (%)	Enfekte olanlar (%)	Toplam
Ergin	150 (%50)	150 (%50)	300
Yavru	48 (%32)	102 (%68)	150
Toplam	198 (%44)	252 (%56)	450

Güvercin barınaklarının hijyen koşullarının kötü olduğu, hemen hemen her barınakta güvercinlerin su içtikleri kaplarının çok kirli olduğu ve uzun süre bu suların değiştirilmediği görüldü (Şekil 1).



Şekil 1. Güvercin barnağı

Giemsa ile boyanan preparatlarda *T. gallinae* blepharoplasttan köken alan önde dört adet flagella ve dalgalı bir flagelluma sahip armut şeklinde trofozoit formunda görüldü. Trofozoitlerin büyüklüğünün 9-15x6-9 $\mu$  ölçülerinde olduğu tespit edildi (Şekil 2).



Şekil 2. Giemsa ile boyanmış *Trichomonas gallinae* trofozoitleri (100X)

Türkiye’de *T. gallinae* ile ilgili ilk çalışma 1968 yılında Mimioğlu ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [13]. Ayrıca *T. gallinae*’nin sağaltımı ile ilgili, Metranidazol ve Carnidazol’un [6], Metronidazol ve Oksitetrasiklin’in [14] tedavi edici etkileri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Güleğen ve arkadaşları [7] tarafından Bursa ilinde yapılan çalışmada *T. gallinae* prevalansı %78,75 oranında olduğu tespit edilmiştir. Hatay ilinde yapılan bir diğer çalışmada hastalığın prevalansının Giemsa boyama yöntemiyle %36, Polimerize zincir reaksiyonu (PCR) yöntemiyle %76 oranında olduğu bildirilmiştir [8]. Çalışmamızda dişi, erkek, ve yavruların genel enfeksiyon yüzdesi %56 olarak tespit edildi. Bu oran Güleğen ve ark. [7]’nin yaptıkları çalışmalarındaki prevalanstan düşük, Elmacıoğlu [8] çalışmasından daha yüksek bulunmuştur. Bu farklılığın nedeninin barınakların hijyen koşullarının ve mevsimsel farklılıkların etkisinin olduğu düşünülmektedir.

Güvercinlerde meydana gelen *T. gallinae* enfeksiyonunda cinsiyetin önemini araştıran birçok çalışma mevcuttur. Girard ve ark. [15]’nin yaptıkları çalışmada dişi güvercinlerde %29 oranında iken erkeklerde %23 olarak bildirilmiştir. Mısır’da farklı zamanlarda yapılan çalışmalarda erkek güvercinlerde % 45-61 oranları arasında seyreden hastalık, dişi güvercinlerde %59.5-72 oranlarında saptanmıştır. Mısır’da Eman [16]’nin yaptığı çalışmada prevalansın dişi güvercinlerde %45 erkek güvercinlerde %59, El-Rahman ve ark. [17]’nin yaptıkları çalışmada ise prevalansın dişilerde %72, erkeklerde %61 oranında görüldüğü bildirilmiştir. Türkiye’de Bursa ilinde yapılan çalışmada dişilerin

%79.5, erkeklerin %77.7 oranında [7], Hatay ilinde yapılan çalışmada dişilerin %80, erkeklerin %72.8'nin bu protozoonla enfekte olduğu ifade edilmiştir [8]. Bu çalışmada ise dişlerde enfeksiyon oranı %54.49, erkeklerde %43.44 oranında bulunmuştur. *T. gallinae*'nin prevelansının dişi güvercinlerde, erkekler nazaran daha fazla olması yavruları beslemedeki baskın rolleri ile açıklanabilir.

Güleğen ve ark. [7] yavru güvercinlerde hastalık prevelansının %83.3 oranında olduğunu bildirmiştir. Elmacıoğlu [8] çalışmasında yavru güvercinlerde hastalık prevelansının %72.5 oranında olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda yavru güvercinlerde *T. gallinae* prevelansı %68 olarak tespit edildi. Yavru ve ergin güvercinler arasındaki enfeksiyon oranlarındaki farklılığın önemli olduğu istatistiksel olarak ortaya konmuştur ( $P<0.05$ ). Yavru güvercinlerdeki *T. gallinae*'nin görülme sıklığındaki farklılıkların coğrafik konum, mevsimsel değişimler, bakım besleme, barınak ve temizlik koşullarına bağlı olarak değiştiği düşünülmektedir.

Çalışmamızda *T. gallinae*'nin ışık mikroskobu ile yapılan ölçümlerinde 9-15x6-9µ arasında olduğu görüldü. *T. gallinae*'nin morfolojik ölçümlerinin yapıldığı bir çalışmada 5-20µ uzunluğunda, 3-13µ genişliğinde olduğu bildirilmiştir [18]. Çalışmamızdaki morfolojik boyut farklılıklarının Theodorides ve Olson [19]'unda belirttiği gibi fiksasyon sırasında kullanılan kimyasalların *T. gallinae*'nin boyutunu %33 oranında küçülttüğünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Sonuç olarak Van da hobi amaçlı güvercin yetiştiriciliği yapılan barınaklardaki 450 güvercin den alınan farenx ve konka sürüntü örneklerinde *T. gallinae*'nin prevelansı %56 olarak tespit edilmiştir. *T. gallinae*'nin kümes hayvanlarında da enfeksiyona yol açabildiği düşünüldüğünde, güvercin barınaklarının kümeslerden uzağa yapılması ve kümes hayvanlarıyla güvercinlerin aynı kaplardan beslenmemesi gerektiği düşünülmektedir. Aynı zamanda *T. gallinae*'nin virulansını belirleyen suşların saptanabilmesi için moleküler teknikler kullanılarak yeni çalışmaların planlanması gerektiği sonucuna da varılmıştır.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmada 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] Silvanose C.D., Samour J.H., Naldo J.L., Bailey T.A. 1998. Oropharyngeal protozoa in captive bustards: clinical and pathological considerations. *Avian Pathology*, 27: 226-230.
- [2] Baker J.R. 1996. Causes of mortality and morbidity in exhibition budgerigars in the United Kingdom. *Veterinary Record*, 139: 156-162.
- [3] Mc Dougald L.R., Calnek B.W. 2000. *Protozoaria Diseases of Poultry*. Iowa University State Press, Ames.
- [4] Cousquer G. 2005. Inguvitis and oesophagitis in wild finches. *Veterinary Records*, 157 (15): 445.
- [5] Petr V., Tomas K., Iva L., Helena H., Adela B., Ivana J., Marie K., Vladislav S. 2013. *Trichomonas* spp. in Pigeons: Detection by OSOM *Trichomonas* Rapid Test. *Avian Diseases*, 57: 800-802.
- [6] Aydın L., Coşkun Ş., Güleğen E. 2000. Efficacy of Carnidazol (Spatrix) and Metranidazol (Flagyl) against *Trichomonas gallinae* in naturally infected pigeons. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 24 (1): 65-66.
- [7] Güleğen E., Şenlik B., Akyol V. 2005. Prevalence of *Trichomonas gallinae* in Pigeons in Bursa Province, Turkey. *Indian Veterinary Journal*, 82: 369-370.

- [8] Elmacıoğlu S. 2018. Antakya'da Yetiştirilen Evcil Güvercinlerde *Trichomonas gallinae* Prevalansı ve Moleküler Tiplendirmesi. Doktora Tezi, HMKÜ, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- [9] Borji H., Razmi G.H., Movassaghi A.H., Moghaddas E., Azad M. 2011. Prevalence and pathological lesion of *Trichomonas gallinae*'in pigeons of Iran. *Journal of Parasitic Diseases* 35 (2): 186-189.
- [10] Feng S.Y., Chang H., Li F.H., Wang C.M., Luo J., He H.X. 2018. Prevalence and molecular characterization of *Trichomonas gallinae* from domestic pigeons in Beijing, China. *Infection, Genetics, and Evolution*, 65: 369-372.
- [11] Sansano-Maestre J., Garijo-Toledo M.M., Gómez-Muñoz M.T. 2009. Prevalence and genotyping of *Trichomonas gallinae* in pigeons and birds of prey. *Avian Pathology*, 38 (3): 201-207.
- [12] Tasca T., De Carli G.A. 1999. Prevalence of *Trichomonas gallinae* from the upperdigestive tract of the common pigeon (*Columba livia*) in the southern Brazilian state, Rio Grande do Sul. *Parasitologia Al Dia*, 23: 42-43.
- [13] Özcel M.A. 2007. Tıbbi Parazit Hastalıkları. Türkiye Parazitoloji Derneği Yayınları, İzmir.
- [14] Kurtdede A., Haydardedeoğlu A.E., Ural K., Karakurum M. Ç., Cıngı C., Kar S. 2007. Güvercinlerde Trikomoniazisin Metronidazol ve Oksitetrasiklin Kombinasyonu ile Sağaltımı. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 13 (2): 199-202.
- [15] Girard Y.A., Rogers K.H., Woods L.W., Chouicha N., Miller W.A., Johnson C.K. 2014. Dual-pathogen etiology of avian trichomonosis in a declining band-tailed pigeon population. *Infection, Genetics and Evolution*, 24: 146-156.
- [16] Eman M.A.E. 2005. Some studies on Trichomoniasis in pigeons in Sharkia province. M.V. Sc. Thesis, Zagazig University, Egypt.
- [17] Abd El-Rahman, Seddiek Sh. A., Soliman A.S. 2008. Some studies on trichomoniasis of pigeons at Qualiobia governorate Egypt. *Comparative Clinical Pathology*, 21 (2): 123-141.
- [18] Stabler M., Honigberg B.M., King M. 1964. Effect of certain laboratory procedures on virulence of Jones' barn strain of *Trichomonas gallinae* for pigeons. *Journal of Parasitology*, 50: 36-41.
- [19] Theodorides J., Olson A. 1965. Observations on the size of *Tetratrichomonas gallinarum*. *Avian Diseases*, 9: 232-236.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Elektro Eğirme Yöntemiyle Üretilen TiO<sub>2</sub>-RGO Kompozit Tabanlı Kuantum Nokta Duyarlı Güneş Pilleri**

Mesut YALÇIN\*

*Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis  
(ORCID: 0000-0002-6171-3018)*

---

### **Öz**

Bu çalışmada öncelikle modifiye Hummers metodu kullanılarak grafen oksit (GO) üretilmiştir. Üretilen grafen oksit kimyasal yolla indirgenerek, indirgenmiş grafen oksit (RGO) sentezlenmiştir. Sentezlenen RGO ve TiO<sub>2</sub> çözeltileri kullanılarak tek adım elektro eğirme yöntemi ile saf TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>-RGO tabanlı fotoanot yüzeylere sahip kuantum nokta duyarlı güneş pilleri üretilmiştir. Üretilen güneş pillerinin kısa devre akım yoğunluğu ( $J_{sc}$ ) ve açık devre gerilimi ( $V_{oc}$ ) ölçümleri yapılmıştır. Saf TiO<sub>2</sub> fotoanota sahip güneş pilinin kısa devre akımı yoğunluğu 0,672 mA/cm<sup>2</sup>, TiO<sub>2</sub>-RGO kompozit fotoanota sahip güneş pilinin ise 0,770 mA/cm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür. Ayrıca güneş pillerinin admitans spektroskopisi 10 kHz-1MHz frekans aralığında ölçülmüştür. Üretilen güneş pillerinin kapasite-voltaj (C-V), iletkenlik-voltaj (G-V) karakteristikleri seri direnç etkisi dikkate alınarak incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Elektro eğirme yöntemi, kuantum nokta duyarlı güneş pili, TiO<sub>2</sub>, Grafen

---

## **TiO<sub>2</sub>-RGO Composite Based Quantum Dot Sensitized Solar Cells via Electrospinning Technique**

---

### **Abstract**

In this study, graphene oxide (GO) was prepared by the modified Hummers method. Later the synthesized graphene oxide was reduced to reduced graphene oxide (RGO) by the chemical reduction process. In summary, the pure TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>-graphene composite photoanode based quantum dot sensitized solar cells have been fabricated by the one-step method of electrospinning technique. The solar cells fabricated have been measured short current density ( $J_{sc}$ ) and open-circuit voltage ( $V_{oc}$ ). The short current densities of TiO<sub>2</sub> and TiO<sub>2</sub>-RGO-based composite quantum dot solar cells are 0,672 mA/cm<sup>2</sup> and 0,770 mA/cm<sup>2</sup>, respectively. In addition, admittance spectroscopy of solar cells were measured in a variable frequency ranges of 10 kHz-10 MHz. The fabricated of solar cells were investigated the capacitance-voltage (C-V), conductance-voltage (G/ω-V) characteristics by attention the series resistance ( $R_s$ ) effect.

**Keywords:** Electrospinning technique, quantum dot sensitized solar cell, TiO<sub>2</sub>, Grafen

---

### **1. Giriş**

Grafit [1], siyah karbon [2], gözenekli karbon [3], karbon nanotüp [4, 5] ve grafen [6-8] gibi karbon tabanlı malzemeler çok çeşitli optoelektronik cihazlarda kullanılacak potansiyele sahip dikkat çekici malzemelerdir [9, 10]. Grafen; bal peteği örgü şeklinde, sp<sup>2</sup> karbon atomu bağlarından oluşan bir atom kalınlığında, ince tabaka şeklinde bir yapıdır. Grafen, çok çeşitli karbon tabanlı malzemeleri üretmek için kullanılacak temel bir malzeme olması bakımından son yıllarda malzeme bilimi ve katı hal fiziği alanında çalışan araştırmacıların gözde malzemelerinden biridir. Grafen, çok çeşitli karbon tabanlı malzemeleri üretmek için kullanılacak temel bir malzemedir. Tek tabaka halindeki grafen son derece ince bir yapıda olup, beyaz ışığın yaklaşık %2,3'ünü soğurabilme özelliğine sahiptir [11]. Ayrıca, grafen sahip olduğu yüksek iletkenlik, mekanik direnç ve ayarlanabilen bant aralığı [12] gibi özellikleri sayesinde, kompozit bir yapı içerisinde kullanılacak potansiyele sahip uygun bir karbon tabanlı

---

\*Sorumlu yazar: [mesut1974@gmail.com](mailto:mesut1974@gmail.com)

Geliş Tarihi: 24.06.2020, Kabul Tarihi: 13.07.2020

malzemedir. Bu nedenle;  $TiO_2$  gibi oksit bir yarı iletken grafen katkılayarak üretilecek kompozit bir yapı, kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin fotoanot malzemesi olarak verimli bir şekilde kullanılabilir. Grafen katkılı kompozit malzemeler kullanılarak üretilen fotoanotlar sayesinde, kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin fotovoltaik özellikleri önemli ölçüde artırılabilir mi?

Üretilen kompozit yapı içerisindeki grafen, sahip olduğu özellikleri nedeniyle yapı içerisinde yeni elektron taşıma yolları oluşturur. Oluşan bu ilave yollar elektronların enjeksiyonunu hızlandırarak yük rekombinasyonlarını önemli ölçüde azaltır [13]. Rekombinasyonların azalması özellikle kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin verimliliğini artırmada en önemli rolü üstlenen parametredir. Dolayısıyla grafen katkılı kompozitler sayesinde daha verimli kuantum nokta duyarlı güneş pili üretimi yapılabilir. Grafen katkılı kompozit malzemeler çoğunlukla hidrotermal [14, 15], elektro eğirme [16], solvotermal [17] gibi farklı yöntemler kullanılarak üretilebilir. Üretilen bu kompozit malzemeler çoğunlukla bir macun kıvamına getirilerek, farklı tekniklerle şeffaf iletken camlar üzerine kalın bir film şeklinde kaplanır. Oluşan bu kalın filmler kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin fotoanotunu oluşturur. Bu süreç oldukça uzun bir zamanı ve hassas deneyleri gerektirir. Ancak elektro eğirme yöntemi kullanılarak grafen katkılı nanokompozit yapılar tek seferde ve daha kolay bir şekilde iletken camlar üzerine kaplanabilir. Böylece daha uygun, hızlı ve büyük ölçekli fotoanot yüzeyler üretmek mümkün olabilir.

Bu çalışmada tek adım elektro eğirme yöntemi kullanılarak  $TiO_2$ -RGO kompozit yapılar üretilmiş ve üretilen kompozitler şeffaf iletken camlar üzerine yine aynı yöntemle kaplanarak kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin fotoanotları oluşturulmuştur. Oluşturulan fotoanot yüzeyler SILAR (iyonik tabakaların sıralı olarak kaplanması ve reaksiyonu) yöntemi kullanılarak CdS kuantum noktalar ile kaplanmıştır. Böylece kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin fotoanotları üretilmiştir. Üretilen güneş pillerinin akım-gerilim karakterizasyonu AM 1.5 G ( $100 \text{ mW/cm}^2$ ) standart şartlar altında KEITHLEY-4200 yarı iletken karakterizasyon cihazı ile yapılarak güneş pillerinin fotovoltaik parametreleri hesaplanmıştır. Ayrıca pillerin kapasiteleri ölçülmüş ve sıvı eklem yaklaşımı kullanılarak seri dirençleri 10 kHz-1MHz aralığında hesaplanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

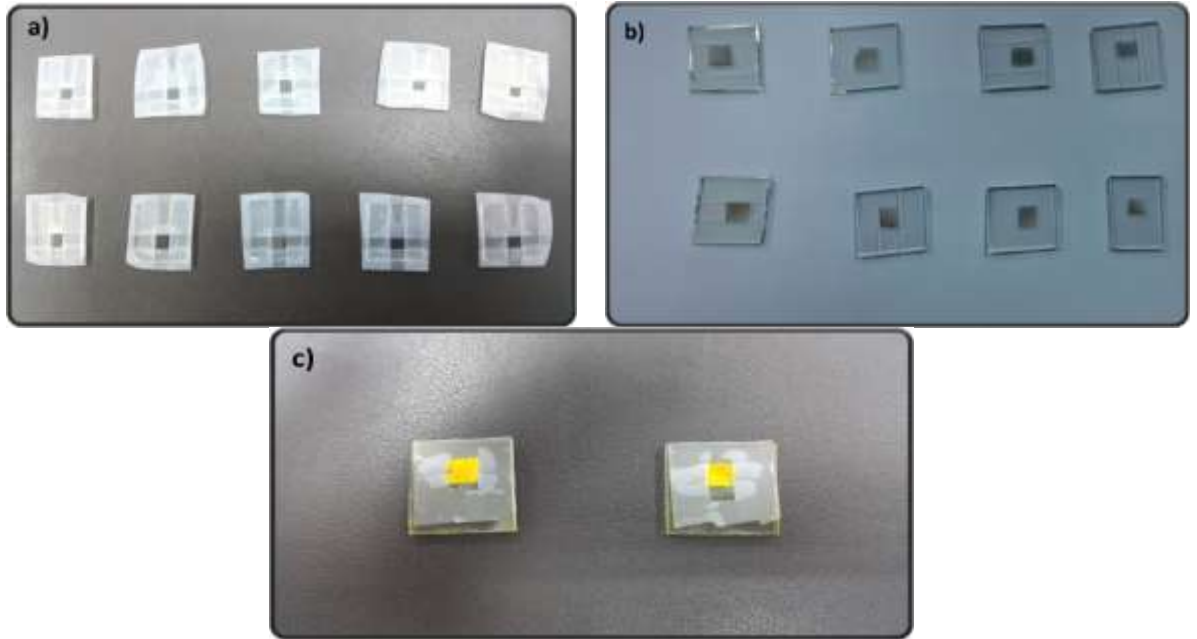
### 2.1. $TiO_2$ -RGO/CdS Fotoanot Hazırlama

Öncelikle, 0,5 g polivinil piroidon (PVP) 3 mL metanol içerisine ilave edilerek tamamen çözünmesi sağlandı. Daha sonra 1 mL asetik asit içerisine 1 mL titanyumisopropoxide (TIP) damla damla eklenerek karıştırıldı. TIP çözeltisi başlangıçtaki PVP çözeltisine eklenerek karıştırma işlemine devam edildi. Modifiye Hummers metodu [18] kullanılarak üretilen grafen oksit indirgenmesi ile elde edilen ağırlıkça % 0,5 indirgenmiş grafen oksit (RGO), su ve etanol karışımı içerisinde tamamen çözüne kadar karıştırıldı. Tamamen çözünen RGO çözeltisi TIP ve PVP' den oluşan çözelti içerisine damla damla eklenerek, şeffaf bir çözelti elde edilene kadar karıştırıldı. Böylece  $TiO_2$ -RGO çözeltisi oluşturuldu. Fotoanot yüzeyler için  $1 \times 1 \text{ cm}$  ebatlarında FTO camlar kesildi. Kesilen camlar etanol, aseton ve deiyonize su ile temizlenerek azot gazı ile kurutuldu. FTO camların  $0,25 \text{ cm}^2$ 'lik kısmı açıkta kalacak şekilde bantlandı. Üretilen  $TiO_2$ -RGO çözeltisi elektro eğirme işleminin yapılabilmesi için bir şırıngaya dolduruldu. Şırınga iğnesi ile FTO yüzey arasındaki mesafe 10 cm olacak şekilde ayarlanarak, iğne ucu ile FTO yüzey arasına uygulanan yüksek gerilim (7 kV) altında, çözeltinin iğne ucundan akış hızı 1 mL/h olacak şekilde ayarlanarak, FTO yüzeye  $TiO_2$ -RGO çözeltisi elektro eğirme yöntemiyle direk olarak kaplandı [19]. Kaplanan filmler  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 saat fırımlandı. Şekil 1'de gösterilen FYTRONIX FY 7000 ELECKROSPUN SYSTEM elektro eğirme sistemi kullanılarak, FTO yüzeyler  $TiO_2$ -RGO ile kaplanarak güneş pillerinin fotoanotları üretildi.

Üretilen fotoanotlar SILAR yöntemi kullanılarak CdS kuantum noktalar ile kaplandı. Öncelikle, 0,3 M  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  10 mL etanol içerisinde, 0,3 M  $Na_2S$  ise 10 mL de iyonize su içerisinde ayrı ayrı çözüldü. Fotoanotlar öncelikle  $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  çözeltisine 3 dakika daldırıldı. Daha sonra etanol ile yıkanarak 3 dakika  $Na_2S$  çözeltisine daldırıldı. Tekrar etanol ile yıkanarak  $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 10 dakika kurutuldu. Böylece bir SILAR döngüsü tamamlandı [20]. Bu işlem 3 SILAR döngüsü olacak şekilde tekrarlandı. Fotoanot yüzeyler CdS ile kaplandıktan sonra  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 saat fırımlandı. Böylece CdS kuantum nokta ile kaplanmış fotoanotlar üretilmiş oldu. Maskelenen, üretimi yapılan ve CdS ile kaplanmış fotoanotlar sırasıyla Şekil 2'de gösterildi.



Şekil 1. Elektro eğirme sistemi



Şekil 2. a) Maskelenmiş FTO camlar b)  $TiO_2$ -RGO filmler c) CdS kuantum nokta kaplanmış filmler

### 2.3. Elektrolit Hazırlama

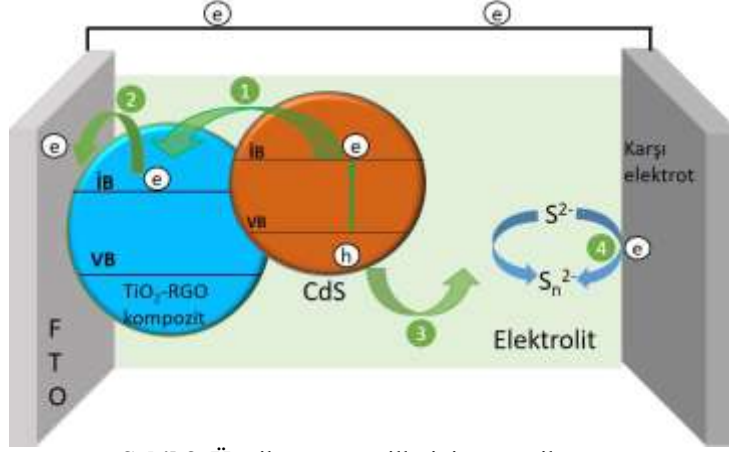
Öncelikle 7 ml etanol ve 3 ml' de iyonize su karışımı içerisinde 0,5 M  $Na_2S$  eklendi.  $Na_2S$  tamamen çözünene kadar karıştırıldı. Karıştırma işlemi sürerken, çözeltiliye 2 M kükürt eklendi. Çözelti tamamen şeffaf olana kadar karıştırma işlemine devam edildi. Daha sonra 0,2 M KCl eklenerek 1 saat daha karıştırıldı [21]. Böylece sıvı elektrolit üretildi.

### 2.4. Kuantum Nokta Duyarlı Güneş Pili Üretimi

Elektro eğirme yöntemiyle FTO yüzey üzerine kaplanmış  $TiO_2$ -RGO kompozit üzerine CdS kuantum noktaların bağlanmasıyla oluşturulan fotoanot ile Pt karşıt elektrot arasına sıvı elektrolit doldurularak, kuantum nokta duyarlı güneş pilleri üretildi. Üretilen güneş pillerinin şematik yapısı Şekil 3'te



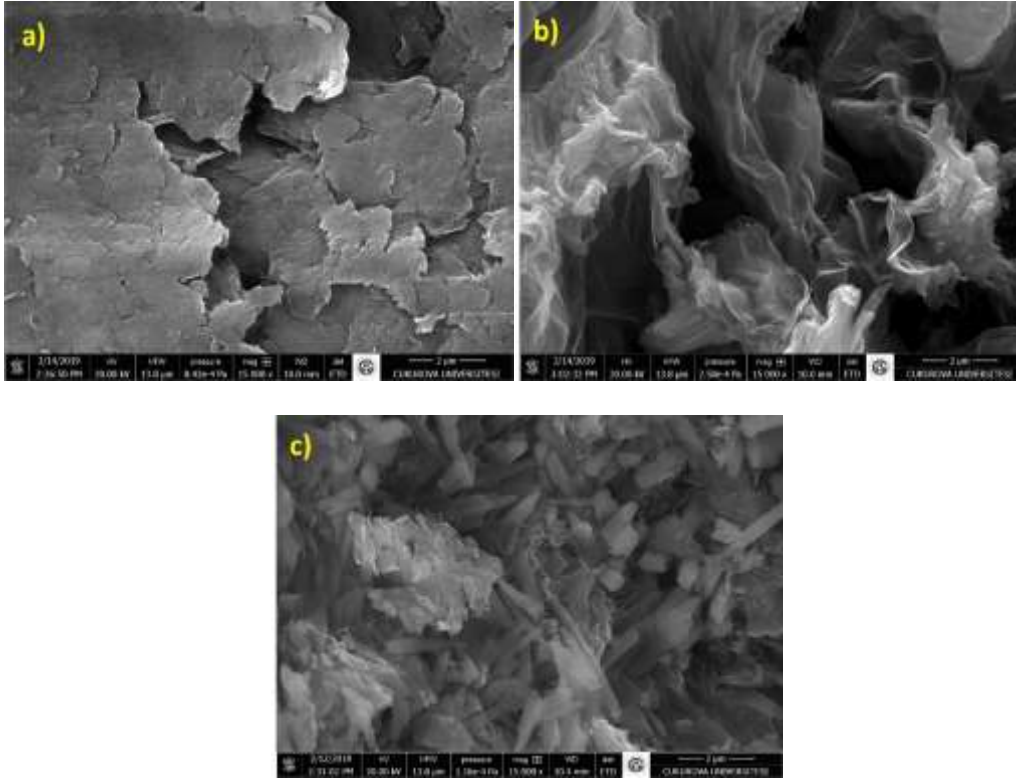
gösterildi. Bir kuantum nokta duyarlı güneş pilinde, CdS kuantum noktalar, ışık ile aydınlatıldığında uyarılan elektronlar kompozit yapının iletkenlik bandına geçer ve grafenin etkisiyle rekombinasyona uğramadan hızlı bir şekilde FTO yüzeye oradan da karşı elektrota ulaşır. Karşı elektrota ulaşan elektron, yükseltgenmiş olan elektrolitin indirgenmesini sağlar. Böylece bu döngü tekrarlanarak devam eder. Bu döngünün sürmesi dış devrede bir akımın oluşmasını sağlayarak, güneş pilini çalıştırır.



Şekil 3. Üretilen güneş pillerinin şematik yapısı

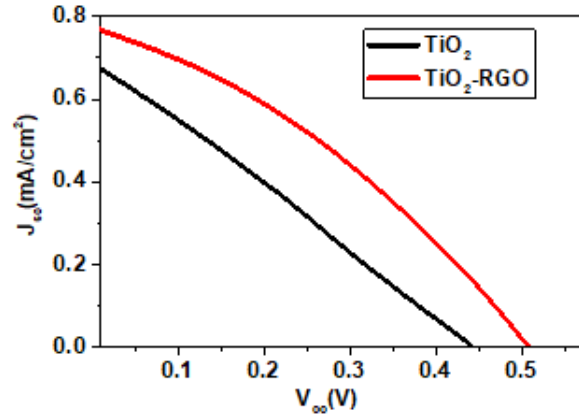
### 3. Bulgular ve Tartışma

Üretilen grafen oksit, indirgenmiş grafen oksit ve  $\text{TiO}_2$ -RGO kompozit yapıların taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 4'te sırasıyla verildi. Grafen oksit ve indirgenmiş grafen oksit birbirine benzer yapıda olsa da, indirgenme sonrasında tabakaların daha incelindiği ve belirginleştiği gözlemlendi. Oluşan bu tabakalı yapının artması, grafen oksitin başarılı bir şekilde indirgenmiş olduğunu göstermektedir.  $\text{TiO}_2$ -RGO'nun görüntüleri incelendiğinde, voltajın etkisiyle fiber benzeri çubuk yapıların oluştuğu gözlemlendi.



Şekil 4. a) GO'nun b) RGO'nun c)  $\text{TiO}_2$ -RGO'nun taramalı elektron mikroskobu ile elde edilen görüntüleri

Özetle bu çalışmada, elektro eğirme yöntemiyle üretilen TiO<sub>2</sub>-RGO tabanlı fotoanotlara sahip kuantum nokta duyarlı güneş pilleri üretildi. Üretilen güneş pillerinin akım-gerilim (I-V) ölçümleri solar simülatöre bağlı KEITHLEY-4200 yarı iletken karakterizasyon cihazı ile yapıldı. Güneş pillerinin akım yoğunluğu-açık devre gerilimi (J<sub>sc</sub>-V<sub>oc</sub>) grafikleri Şekil 5'te verildi. Grafik incelendiğinde, TiO<sub>2</sub> fotoanota sahip güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğunun 0,672 mA/cm<sup>2</sup>, açık devre geriliminin ise 0,444 V olduğu, TiO<sub>2</sub>-RGO kompozit fotoanota sahip güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğunun 0,77 mA/cm<sup>2</sup>, açık devre geriliminin ise 0,509 V olduğu görüldü. Hem kısa devre akım yoğunluğunun hem de açık devre geriliminin arttığı gözlemlendi. Bu artış, yapı içerisindeki grafen sayesinde oluşan ilave elektron taşınım yolları sayesinde rekombinasyonların azalmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Güneş pillerinin verimini düşüren mekanizma pili oluşturan tabakalar arasında gerçekleşen istenmeyen rekombinasyonlardır. Grafen sayesinde oluşan bu yeni elektron taşıma yolları elektronların hızlı bir şekilde taşınmasını sağlayarak, rekombinasyonları baskılamış ve akım yoğunluğunun artmasına neden olmuş olabilir [22, 23].



Şekil 5. TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>-RGO fotoanota sahip kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin J<sub>sc</sub>-V<sub>oc</sub> grafiği

Üretilen güneş pillerinin I, P<sub>max</sub>-V<sub>oc</sub> grafikleri çizilerek Şekil 6'da verildi. Grafikte P<sub>max</sub> değerinin pik yaptığı noktadan yararlanılarak V<sub>max</sub> değeri hesaplandı. Grafikler incelendiğinde grafen katkılı kompozit tabanlı güneş pilinin ürettiği gücün saf TiO<sub>2</sub>'ye göre önemli ölçüde arttığı gözlemlendi. Bu artış Şekil 7'de çizilen P<sub>max</sub>-V<sub>oc</sub> grafiğinde açıkça görülmektedir. Ancak sadece akım ve gerilim ölçümü bir güneş pilinin karakterizasyonu için yeterli değildir. Üretilen güneş pillerinin dolun faktörleri (FF) ve güç dönüşüm verimlerinin (η) hesaplanması gerekir. Güneş pillerinin dolun faktörü aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilir [24].

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (1)$$

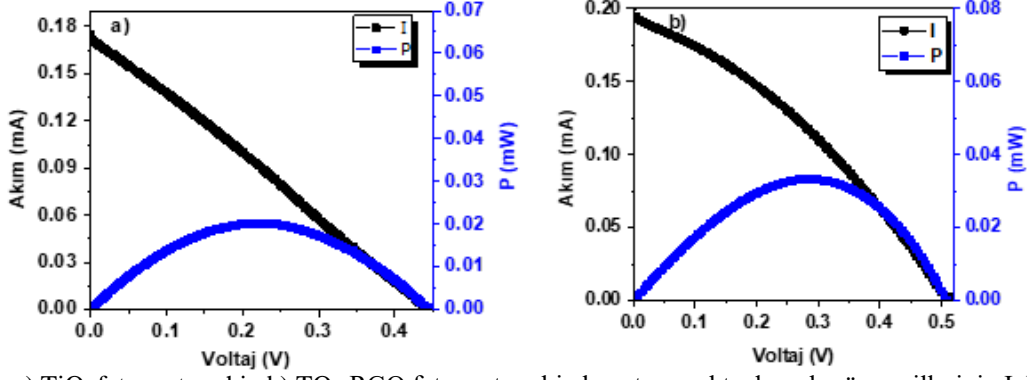
Bu eşitlikte, V<sub>max</sub> maksimum güç noktasındaki voltajı, I<sub>max</sub> maksimum güç noktasındaki akımı, V<sub>oc</sub> açık devre gerilimini, I<sub>sc</sub> ise kısa devre akımını ifade eder. Bir güneş pilinin verimi ise eşitlik 2'den yararlanılarak hesaplanabilir [24].

$$\eta = \frac{J_{sc} \cdot V_{oc} \cdot FF}{P_{ışık}} \quad (2)$$

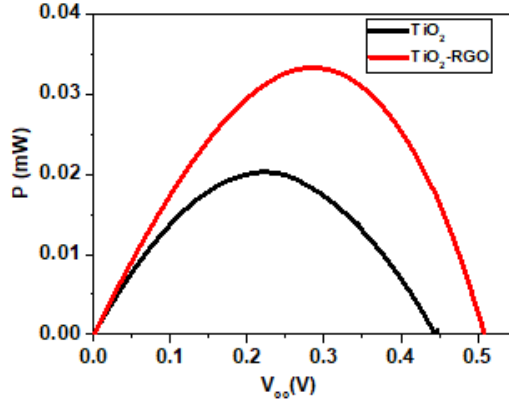
Bu eşitlikte J<sub>sc</sub> kısa devre akım yoğunluğu olup, kısa devre akımının (I<sub>sc</sub>) fotoanot yüzey alanına bölümünden elde edilir. P<sub>ışık</sub> ise standart ölçümlerin yapılması için kullanılan aydınlatma şiddeti olup değeri 100 mW/cm<sup>2</sup> dir. Güneş pillerinin hesaplanan fotovoltajik parametreleri Tablo 1'de verildi. Tablo incelendiğinde grafen katkısının güneş pillerinin fotovoltajik parametrelerini artırdığı gözlemlendi.

Tablo 1. TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>-RGO fotoanota sahip kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin fotovoltajik parametreleri

Fotoanot	J <sub>sc</sub> (mA/cm <sup>2</sup> )	V <sub>oc</sub> (V)	FF	η (%)
TiO <sub>2</sub>	0,672	0,444	0,25	0,07
TiO <sub>2</sub> -RGO	0,770	0,509	0,32	0,12

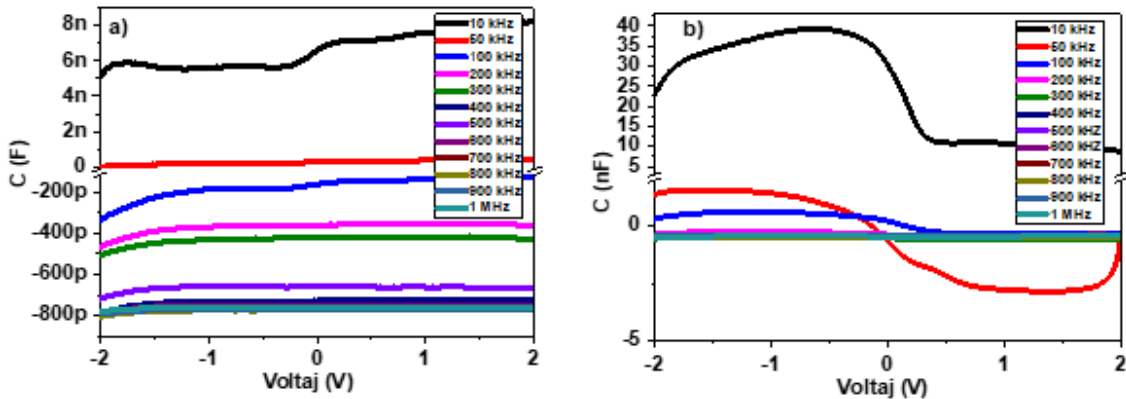


Şekil 6. a)  $\text{TiO}_2$  fotoanota sahip b)  $\text{TO}_2\text{-RGO}$  fotoanota sahip kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin  $I$ ,  $P_{\max}$ - $V_{oc}$  grafikleri



Şekil 7.  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{TO}_2\text{-RGO}$  fotoanota sahip kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin  $P$ - $V_{oc}$  grafiği

Üretilen güneş pillerinin 10 kHz-1MHz aralığındaki kapasite-voltaj (C-V) grafikleri Şekil 8'de verildi. Kapasite ölçümü, fotoanot yüzeyi üzerinde biriken yük miktarının tahmin edilmesi açısından oldukça önemlidir. Kapasitenin artması yük ayrımının gerçekleşerek iletkenlik bandı üzerinde elektronların biriktiği anlamına gelir.  $\text{TiO}_2$  fotoanot yüzeye sahip güneş pilinin kapasitesi 10 kHz'den sonra negatife kaymıştır. Kapasitenin negatife kayması indüktif bir davranıştır. Bu davranış, FTO'dan  $\text{TiO}_2$ 'ye enjekte olan elektronlar ile açıklanabilir [25]. Elektronların FTO üzerinden dış devreye akması istenirken, oluşan bu geri yük transferi rekombinasyonların artmasına neden olur. Rekombinasyonların artması  $\text{TiO}_2$  fotoanota sahip güneş pilinin veriminin düşmesine sebep olur.  $\text{TiO}_2\text{-RGO}$  tabanlı güneş pilinin kapasite değeri, yüksek frekanslarda düşse de negatif değer almaz. Kapasitenin pozitif değer alması; yük ayrımı sonucu oluşan elektronların, kompozit fotoanot malzemenin iletkenlik bandında biriktiğinin bir göstergesidir. [26]. Elektronların iletkenlik bandında birikmesi, yük transferinin hızlı bir şekilde gerçekleşmesine ve dolayısıyla rekombinasyonların azalmasına karşılık gelir. Azalan rekombinasyon oranı güneş pilinin veriminin artmasına neden olur.



Şekil 8. a)  $\text{TiO}_2$  fotoanota sahip b)  $\text{TO}_2\text{-RGO}$  fotoanota sahip kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin C-V grafiği

Güneş pillerinin iletkenlikleri ( $G$ ) bir sıvı eklem yaklaşımı kullanılarak ölçüldü. Ayrıca seri direncin etkisi dikkate alınarak düzeltilmiş iletkenlik ( $G_{ADJ}$ ) değerleri hesaplanarak,  $G$ - $V$  ve  $G_{ADJ}$ - $V$  grafikleri çizildi. Grafikler Şekil 9'de gösterildi.  $G_{ADJ}$  eşitlik 3 kullanılarak hesaplandı.

$$G_{ADJ} = \frac{(G_m^2 + (\omega C_m)^2)a}{a^2 + (\omega C_m^2)} \quad (3)$$

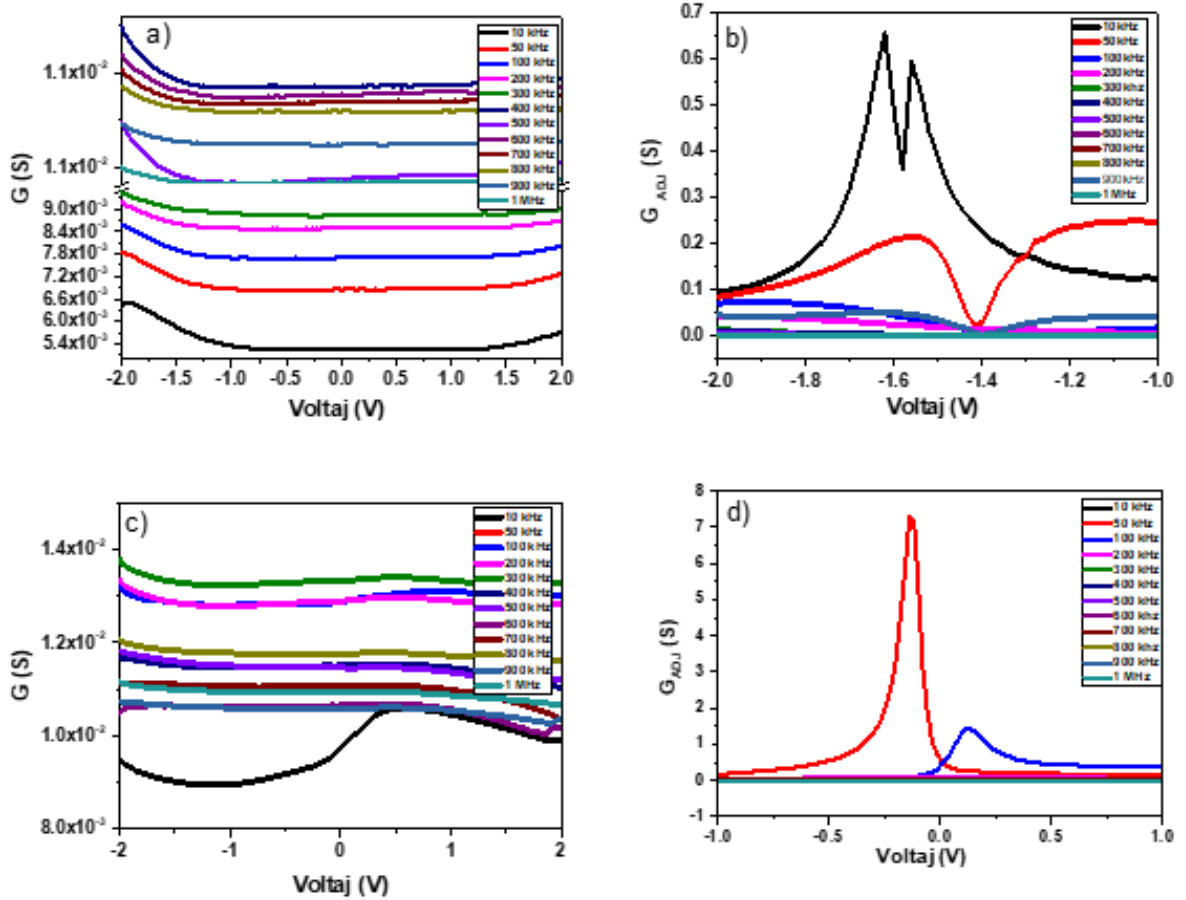
Burada  $G_m$  ve  $C_m$  sırasıyla ölçülen iletkenlik ve kapasite,  $\omega$  açısal frekanstır. Eşitlikteki  $a$  ifadesi ise seri dirence bağlı bir parametredir. Bu ifade aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$a = G_m - (G_m^2 + (\omega C_m)^2).R_s \quad (4)$$

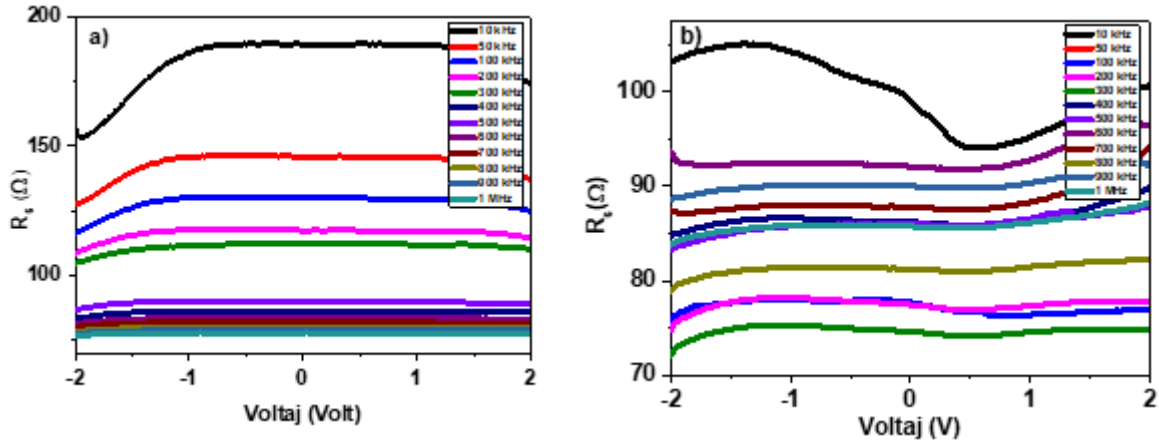
Grafikler incelendiğinde grafen katkısının iletkenliği önemli ölçüde artırdığı gözlemlendi. Grafenin iletkenliğinin yüksek olması kompozit malzemenin iletkenliğinin artmasına neden olur. Üretilen güneş pillerinin seri dirençleri sıvı eklem yaklaşımı kullanılarak hesaplandı. Seri direnç ( $R_s$ ) değerleri eşitlik 5 yardımıyla hesaplandı.

$$R_s = \frac{G_m}{G_m^2 + \omega^2 C_m^2} \quad (5)$$

Fotoanotların  $R_s$ - $V$  grafikleri Şekil 10'da verildi. Grafen katkısı ile iletkenliğin artması kompozit malzemenin seri direncinin düşmesine sebep olur. Seri direnç, tabakalar arasında oluşan ve güneş pilinin verimini düşüren bir etkidir. Seri direncin düşmesi güneş pilinin verimini artıran sebeplerden biridir.



Şekil 9.  $TiO_2$  fotoanota sahip kuantum nokta duyarlı güneş pilinin a)  $G$ - $V$  b)  $G_{ADJ}$ - $V$  ve  $TiO_2$ -RGO fotoanota sahip kuantum nokta duyarlı güneş pilinin c)  $G$ - $V$  d)  $G_{ADJ}$ - $V$  grafikleri



Şekil 10. a) TiO<sub>2</sub> fotoanota sahip b) TiO<sub>2</sub>-RGO fotoanota sahip kuantum nokta duyarlı güneş pillerinin R<sub>s</sub>-V grafikleri

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada elektro eğirme yöntemi kullanılarak saf TiO<sub>2</sub> ve TiO<sub>2</sub>-RGO kompozit fotoanotlara sahip kuantum nokta duyarlı güneş pilleri üretildi. Elektro eğirme yöntemi sayesinde, filmler FTO yüzeylere direk ve homojen bir şekilde kaplandı. Üretilen pillerin fotovoltajik ölçümleri yapılarak gerekli parametreleri hesaplandı. Grafen katkılmasının, yapı içerisinde ilave elektron taşıma yolları oluşturarak rekombinasyonları baskıladığı ve böylece güneş pilinin kısa devre akım yoğunluğunu, açık devre gerilimini, doluluk faktörünü ve güç dönüşüm verimini artırdığı belirlendi.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmada 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] Hashimoto H., Muramatsu Y., Nishina Y., Asoh H. 2019. Bipolar anodic electrochemical exfoliation of graphite powders. *Electrochemistry Communications*, 104: 106475.
- [2] Long C.M., Nascarella M.A., Valberg P.A. 2013. Carbon black vs. black carbon and other airborne materials containing elemental carbon: Physical and chemical distinctions. *Environmental Pollution*, 181: 271-286.
- [3] Sun Q., Li Y.-D., Liu L., Feng Z.-B., Lu P., Wang Z.-R., Zhang X. 2019. Heat-treatment-assisted approach towards scalable synthesis of mesoporous carbons for high-performance lithium-sulfur battery. *Materials Letters*, 246: 165-168.
- [4] Popov V.N. 2004. Carbon nanotubes: properties and application. *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 43 (3): 61-102.
- [5] Siddiqui M.T.H., Nizamuddin S., Baloch H.A., Mubarak N.M., Al-Ali M., Mazari S.A., Bhutto A.W., Abro R., Srinivasan M., Griffin G. 2019. Fabrication of advance magnetic carbon nano-materials and their potential applications: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7 (1): 102812.

- [6] Yalcin M., Yakuphanoglu F. 2017. Graphene-TiO<sub>2</sub> Nanocomposite Photoanode Based on Quantum Dot Solar Cells. *Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics*, 12 (3): 254-259.
- [7] Ubani C.A., Ibrahim M.A., Teridi M.A.M., Sopian K., Ali J., Chaudhary K.T. 2016. Application of graphene in dye and quantum dots sensitized solar cell. *Solar Energy*, 137: 531-550.
- [8] Ayesh A.I., Ahmed R.E., Al-Rashid M.A., Alarrouqi R.A., Saleh B., Abdulrehman T., Haik Y., Al-Sulaiti L.A. 2018. Selective gas sensors using graphene and CuO nanorods. *Sensors and Actuators A: Physical*, 283: 107-112.
- [9] Zhu H., Wei J., Wang K., Wu D. 2009. Applications of carbon materials in photovoltaic solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93 (9): 1461-1470.
- [10] Tsai T.-H., Chiou S.-C., Chen S.-M. 2011. Enhancement of dye-sensitized solar cells by using graphene-TiO<sub>2</sub> composites as photoelectrochemical working electrode. *Int. J. Electrochem. Sci*, 6 (8): 3333-3343.
- [11] Nair R.R., Blake P., Grigorenko A.N., Novoselov K.S., Booth T.J., Stauber T., Peres N.M.R., Geim A.K. 2008. Fine structure constant defines visual transparency of graphene. *Science*, 320 (5881): 1308-1308.
- [12] Park S., Ruoff R.S. 2009. Chemical methods for the production of graphenes. *Nature nanotechnology*, 4 (4): 217.
- [13] Liu J., Tang J., Gooding J.J. 2012. Strategies for chemical modification of graphene and applications of chemically modified graphene. *Journal of Materials Chemistry*, 22 (25): 12435-12452.
- [14] Shen J., Yan B., Shi M., Ma H., Li N., Ye M. 2011. One step hydrothermal synthesis of TiO<sub>2</sub>-reduced graphene oxide sheets. *Journal of Materials Chemistry*, 21 (10): 3415-3421.
- [15] Shen J., Shi M., Yan B., Ma H., Li N., Ye M. 2011. Ionic liquid-assisted one-step hydrothermal synthesis of TiO<sub>2</sub>-reduced graphene oxide composites. *Nano Research*, 4 (8): 795.
- [16] Zhu P., Nair A.S., Shengjie P., Shengyuan Y., Ramakrishna S. 2012. Facile fabrication of TiO<sub>2</sub>-graphene composite with enhanced photovoltaic and photocatalytic properties by electrospinning. *ACS applied materials & interfaces*, 4 (2): 581-585.
- [17] He Z., Guai G., Liu J., Guo C., Loo J.S.C., Li C.M., Tan T.T. Y. 2011. Nanostructure control of graphene-composited TiO<sub>2</sub> by a one-step solvothermal approach for high performance dye-sensitized solar cells. *Nanoscale*, 3 (11): 4613-4616.
- [18] Hummers Jr W.S., Offeman R.E. 1958. Preparation of graphitic oxide. *Journal of the American Chemical Society*, 80 (6): 1339-1339.
- [19] Madhavan A.A., Kalluri S., Chacko D.K., Arun T.A., Nagarajan S., Subramanian K.R., Nair A.S., Nair V.S., Balakrishnan A. 2012. Electrical and optical properties of electrospun TiO<sub>2</sub>-graphene composite nanofibers and its application as DSSC photo-anodes. *RSC Advances*, 2 (33): 13032-13037.
- [20] Santra P.K., Kamat P.V. 2012. Mn-doped quantum dot sensitized solar cells: a strategy to boost efficiency over 5%. *Journal of the American Chemical Society*, 134 (5): 2508-2511.
- [21] Zhao J., Wu J., Yu F., Zhang X., Lan Z., Lin J. 2013. Improving the photovoltaic performance of cadmium sulfide quantum dots-sensitized solar cell by graphene/titania photoanode. *Electrochimica Acta*, 96: 110-116.
- [22] Kamat P.V. 2012. Boosting the efficiency of quantum dot sensitized solar cells through modulation of interfacial charge transfer. *Accounts of chemical Research*, 45 (11): 1906-1915.
- [23] Mora-Sero I., Gimenez S., Fabregat-Santiago F., Gómez R., Shen Q., Toyoda T., Bisquert J. 2009. Recombination in quantum dot sensitized solar cells. *Accounts of Chemical Research*, 42 (11): 1848-1857.
- [24] Jun H.K., Careem M.A., Arof A.K. 2013. Quantum dot-sensitized solar cells-perspective and recent developments: a review of Cd chalcogenide quantum dots as sensitizers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22: 148-167.
- [25] Yahia I.S., Hafez H.S., Yakuphanoglu F., Senkal B.F., Mottaleb M.A. 2011. Photovoltaic and impedance spectroscopy analysis of p-n like junction for dye sensitized solar cell. *Synthetic metals*, 161 (13-14): 1299-1305.
- [26] Subalakshmi K., Senthilselvan J. 2018. Effect of fluorine-doped TiO<sub>2</sub> photoanode on electron transport, recombination dynamics and improved DSSC efficiency. *Solar Energy*, 171: 914-928.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bats in Southeastern Turkey (Mammalia: Chiroptera)**

Tarkan YORULMAZ<sup>1\*</sup>, Kubilay TOYRAN<sup>2</sup>, İrfan ALBAYRAK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Çankırı Karatekin University, Yapraklı Vocational School, Department of Forestry, Hunting and Wildlife Program, Çankırı*

<sup>2</sup>*Bitlis Eren University, Faculty of Science and Arts, Department of Biology, Bitlis*

<sup>3</sup>*Kırkkale University, Faculty of Science and Arts, Department of Biology, Kırkkale  
(ORCID:0000-0002-9033-7162) (ORCID: 0000- 0002-6546-0054) (ORCID: 0000-0002-9340-5749)*

---

### **Abstract**

Southeastern Turkey is an important geographical region where the bat species spreading especially in Arabian Peninsula, North Africa and the Middle East enter in Turkey and have an intense population. The aim of this study was to identify the bat species in this region, which has glacial mountains, arid steppes, river valleys and vast plains. As a result of the field studies conducted between 2004 and 2017, totally 15 species belonging to Emballonuridae, Rhinolophidae, Vespertilionidae and Molossidae families of Microchiroptera suborder were identified in the study area. The habitat characteristics of the species and their locality records were presented. In this study, *Myotis nattererii*, *M. aurescens*, and *Rhinolophus mehelyi* were firstly recorded in the study area. Also, two new locations were determined for *Taphozous nudiventris* known from one location in Turkey up to the present.

**Keywords:** Bat, distribution, Chiroptera, Southeastern Turkey.

---

## **Güneydoğu Türkiye Yarasa ları (Mammalia: Chiroptera)**

---

### **Öz**

Güneydoğu Türkiye özellikle Arap yarım adası, kuzey Afrika ve Ortadoğu bölgesinde yayılış gösteren yarasa türlerinin Türkiye'ye giriş yaptığı ve yoğun olarak bulunduğu önemli bir coğrafik bölgedir. Buzul dağlardan, kurak steplere, ırmak vadilerinden geniş düzlüklere sahip bu bölgedeki yarasa türlerini tespit etmek bu çalışmanın amacı oluşturmaktadır. 2004-2017 yılları arasında yapılan arazi çalışmaları sonucunda araştırma bölgesinden Microchiroptera alt takımının Emballonuridae, Rhinolophidae, Vespertilionidae ve Molossidae familyalarına mensup toplam 15 tür tespit edilmiştir. Türler e ait habitat özellikleri ve lokalite kayıtları verilmiştir. Bu çalışma ile *Myotis nattererii*, *M. aurescens* ve *Rhinolophus mehelyi*'nin araştırma bölgesinden ilk kez kaydı verilmiştir. Bununla birlikte bugüne kadar ülkemizden tek bir lokaliteden bilinen *Taphozous nudiventris* için iki yeni lokalite daha tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Yarasa, yayılış, Chiroptera, Güneydoğu Türkiye.

---

### **1. Introduction**

Today, Southeastern Turkey is considered to be a part of Palearctic fauna zoogeographically; however, it has also been under the influence of Oriental (South Asia) and Ethiopia (Africa) fauna elements. Southeastern Turkey is the entrance way of Eremial (desert) and Afro-Eremial fauna elements into Anatolia [1].

In Turkey, there are 39 species belonging to the Pteropodidae, Emballonuridae, Rhinolophidae, Vespertilionidae and Molossidae families under the order Chiroptera [2]. A total of 22 bat species have

---

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

Geliş Tarihi: 20.08.2020, Kabul Tarihi: 10.09.2020

been recorded in the study area until today. 6 of these species have been identified by indirect methods such as stool analysis or detector [3-9].

The aim of this study was to determine the bat species in Southeastern Turkey, which has an important zoogeographic region, and to contribute to their spread.

## 2. Material and Method

This study was conducted in the area including a part of Southeastern Anatolia Region and Eastern Anatolia Region between 2004 and 2010 (Figure 1). Records were provided from Gaziantep, Kilis, Şanlıurfa, Adıyaman, Diyarbakır, Mardin, Batman, Bitlis, Siirt, Şırnak, Van and Hakkâri provinces with the study. Also, the records obtained in several field works performed in the region from 2010 to 2017 were included in the study. The bat samples were obtained by researching caves, holes, empty buildings, roof space and similar places and using sweep nets and special bat nets (misnet) in various sizes. The habitat characteristics and international protection conditions of the determined species were presented.

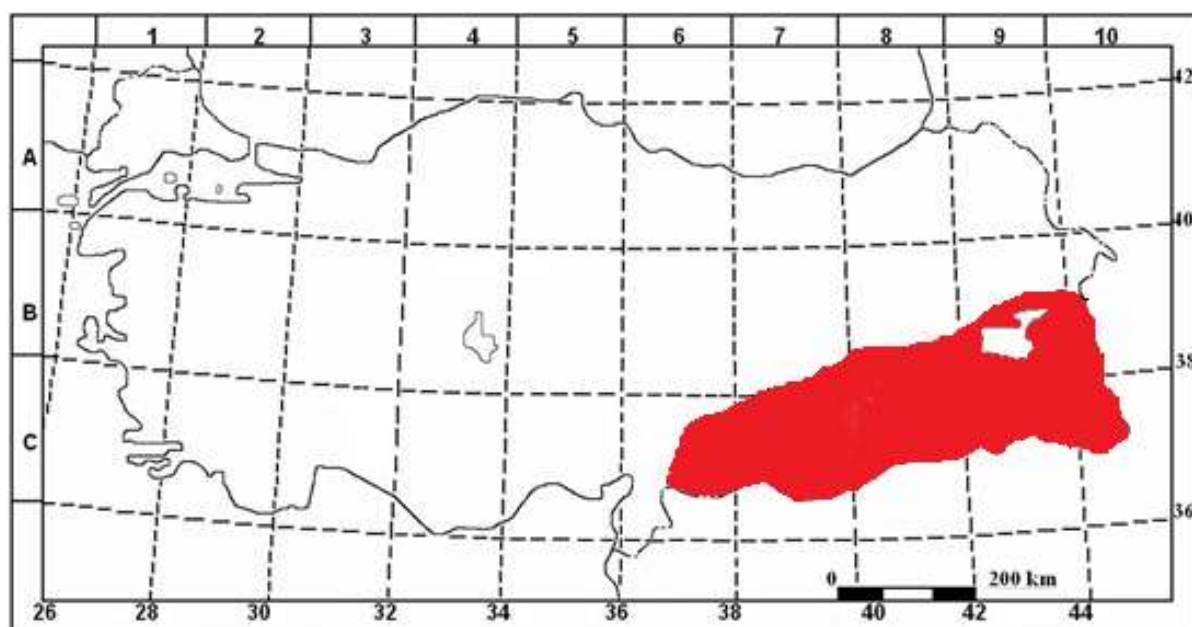


Figure 1. Study region (colored area)

## 3. Results

As a result of the field works performed, a total of 15 species belonging to Emballonuridae, Rhinolophidae, Vespertilionidae and Molossidae families of Microchiroptera suborder were identified.

### 3.1. Family: Emballonuridae

#### 3.1.1. *Taphozous nudiventris* (Cretzschmar, 1830)

*Habitat:* *Taphozous nudiventris* is generally found between cracks in the rocky areas in valley sides from the bottom of which a river passes. The first record from Turkey was given from Nizip, Gaziantep by Sachanowicz et al. [7]. The species has not had any other record in other places from Turkey until today. In this study, two new locations were determined for *Taphozous nudiventris* in Musabeyli district of Kilis (Figure 2). The determined locations are situated in the rocky area in the valley side and the distance between them is 3 km.



*Sample number (7) and locations:* Gaziantep, Nizip, Mağaracık 2 (2 ♂♂, 02 September 2004), Kilis, Musabeyli, 5 (2 ♂♂, 10 July 2006; 3 ♂♂, 31 August 2007).



**Figure 2.** Recently determined locations of *Taphozous nudiventris*

### 3.2. Family: Rhinolophidae

#### 3.2.1. *Rhinolophus ferrumequinum* (Schreber, 1771)

*Habitat:* *Rhinolophus ferrumequinum* was determined in caves, the rooms of an old castle, artificial caves used as barns, an old mine tunnel, and big artificial galleries used as stone pits in the past. Also, it was found solitarily in the ceiling of some natural caves in which *Miniopterus schreibersii*, *Myotis myotis* and *M. blythii* colonies were also found.

*Sample number (26) and locations:* Gaziantep, İslâhiye, Boğaziçi 4 (4♂♂, 15 April 2002); Şanlıurfa, Viranşehir, Karataş village 1 (1♂, 22 April 2003) Aslanbaba village 2 (1♂, 1♀ 17 April 2005); Diyarbakır, Çermik, Kalecik village 1 (1♂, 17 May 2005); Van, Van Castle 2 (1♂, 1♀, 17 September 2006), Kilis, Polateli, Ravanda Castle 5 (5♀♀, 26 April 2007); Musabeyli, Boğazkerim village 1 (1♂ 26 April 2007); Batman, Merkez, Oymataş village 3 (2♂, 1♀, 17 April 2005); Beşiri, Çavuşunbayırı village 3 (3 ♂♂, 15 May 2010); Siirt, Merkez, Taşbaş located 1 (1♂, 08 July 2017), Sağlarca village, Billoris cave 2 (1♂, 1♀ 18 July 2016), Eruh, Ormanardı village 1 (1♂, 13 April 2009).

#### 3.2.2. *Rhinolophus hipposideros* (Bechstein, 1800)

*Habitat:* A male individual was found solitarily hanging down from the ceiling of one of the rooms of Van Castle.

*Sample number (1) and locations:* Van, Van Castle, 1 (1♂, 17 September 2006).

#### 3.2.3. *Rhinolophus euryale* Blasius, 1853

*Habitat:* This species was found in the small caves and rock fractures in the study area. It was determined that *Rhinolophus euryale* sometimes occurred sympatry with *R. ferrumequinum*, *Myotis myotis* and *Miniopterus schreibersii*.

*Sample number (3) and locations:* Gaziantep, İslâhiye, Boğaziçi, 3 (1♂, 2♀♀, 28 May 2007).

### 3.2.4. *Rhinolophus mehelyi* Matschie, 1901

*Habitat:* *Rhinolophus mehelyi* was found in colonies on the ceiling of a cave, in which the individuals of *Myotis myotis*, *M. capaccinii*, *Miniopterus schreibersii* and *R. ferrumequinum* also inhabited.

*Sample number (23) and locations:* Şanlıurfa, Viranşehir Karataş village, 11 (4♂♂, April 29 2007; 1♀, 1♂ 28 May 2007; 3♀♀, 2♂♂ 09 July 2008). Diyarbakır, Bismil, Karmuşlu village, Seyhan Cave 12 (3♂♂, 9♀♀, 17 July 2016).

### 3.3. Family: Vespertilionidae

#### 3.3.1. *Myotis emarginatus* (Geoffroy, 1806)

*Habitat:* A male *Myotis emarginatus* individual was found hanging down from the ceiling of a cave which had been used as a stone pit in the past.

*Sample number (1) and locations:* Mardin, Ensar neighborhood 1 (1♂, 18 May 2005).

#### 3.3.2. *Myotis nattereri* (Kuhl, 1818)

*Habitat:* *Myotis nattereri*, which was recorded from Eastern and Southeastern Anatolia for the first time through this study, was found in a hollow in the top part of mouth of a cave in İslahiye district of Gaziantep.

*Sample number (18) and locations:* Gaziantep, İslâhiye, 4 (2♂♂, 2♀♀, 07 July 2008); Batman, Beşiri, Çavuşunbayırı village 14 (8♂♂, 6♀♀, 17 May 2017).

#### 3.3.3. *Myotis myotis* (Borkhausen, 1797)

*Habitat:* *Myotis myotis* was found in the rooms of man-made caves and the ceiling of natural caves, which were relatively close to settlements during summer. It was found in a cave in Çermik district of Diyarbakır and İslahiye district of Gaziantep together with *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. euryale*, *Myotis blythii*, and *Miniopterus schreibersii* species. Also, it was found with *M. blythii* and *Miniopterus schreibersii* species in the same colony.

*Sample number (11) and locations:* Diyarbakır, Ergani, Sesveren village 2 (2♂♂, 17 May 2005), Diyarbakır, Bismil, Karmuşlu village, Seyhan cave, 1 (1♀, 26 August 2016), Çermik, Kalecik village 2 (2♂♂, 17 May 2005); Kilis, headquarters 1 (1♀, 11 July 2006); Gaziantep, İslâhiye, Boğaziçi 4 (2♂♂, 10 July 2006; 2♀♀, 28 August 2007); Batman, Oymataş village 1 (1♀, 08 July 2017).

#### 3.3.4. *Myotis blythii* (Tomes, 1857)

*Habitat:* *Myotis blythii* was found in the ceilings of natural and artificial caves solitarily or in the same cave together with *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. mehelyi*, *Myotis myotis*, *M. capaccinii* and *Miniopterus schreibersii*. Additionally, they were found in large groups in the same colony with *Myotis myotis* and *Miniopterus schreibersii* species. It was also determined in small colonies hanging down from the ceiling of the rooms of old castles and inns.

*Sample number (32) and locations:* Batman, Hasankeyf, 3 (3♂♂, 20 May 2005), Beşiri, Çavuşunbayırı village 2 (2♂♂, 08 July 2017); Bitlis, Eleman Hanı, 2 (2♂♂, 12 August 2007); Diyarbakır, Çermik, Kalecik village, 4 (2♂♂, 17 May 2005; 2♂♂, 12 July 2007); Ergani, Sesveren village 1 (1♂, 12 July

2007); Gaziantep, Nizip, Mağaracık 3 (2♂♂, 1♀, 03 September 2004); Kilis 4 (4♂♂, 11 July 2006); Şanlıurfa, Birecik, 1 (1♂, 02 September 2004); Viranşehir, Karataş village 5 (2♀♀, 29 April 2007; 3♂♂, 09 July 2008); Van, Van Castle, 1 (1♂, 12 August 2007); Siirt, Merkez, Sağlarca village, Billoris cave 6 (6♂♂, 09 July 2017).

### 3.3.5. *Myotis capaccinii* (Bonaparte, 1837)

*Habitat:* In a cave located in Viranşehir district of Şanlıurfa, a *Myotis capaccinii* colony including approximately 150 individuals was found hanging down from the ceiling. In this cave, *M. myotis*, *Miniopterus schreibersii*, *Rhinolophus ferrumequinum* and *R. mehelyi* species were also found together with *Myotis capaccinii* individuals.

*Sample number (14) and locations:* Şanlıurfa, Viranşehir, Karataş village 14 (1♂, 2♀♀, 29 April 2007; 1♀, 28 May 2007; 2♀♀, 8♂♂, 09 July 2008).

### 3.3.6. *Myotis aurescens* Kuszakin, 1935

*Habitat:* A colony of *Myotis aurescens* with babies was found in a man-made cave on the side of Garzan streamlet in the borders of Çavuşunbayırı village, Beşiri district of Batman. In this cave, the individuals of *Myotis nattereri*, *Myotis blythii*, *Rhinolophus ferrumequinum* and *Pipistrellus kuhlii* were also found.

*Sample number (14) and locations:* Batman, Beşiri, Çavuşunbayırı village 14 (14♂♂, 20 June 2016).

### 3.3.7. *Pipistrellus pipistrellus* (Schreber, 1774)

*Habitat:* *Pipistrellus pipistrellus* was found between the briquets of the old buildings in settlements.

*Sample number (6) and locations:* Adıyaman, İkidam village 4 (4♀♀, 04 July 2002); Batman, Beşiri, Çavuşunbayırı village 2 (2♂♂, 18 June 2016).

### 3.3.8. *Pipistrellus kuhlii* (Kuhl, 1819)

*Habitat:* *Pipistrellus kuhlii* was found between the briquets in settlements, in the spaces on mosque walls, in the spaces on the upper part of the entrance door of an old workplace, between roof tiles, between the big stones in the entrance of an old building and between billboards and wall.

*Sample number (14) and locations:* Kilis, Merkez, 4 (4♂♂, 4 June 2002); Şanlıurfa, Birecik 1 (1♂, 02 September 2004), Mardin, Midyat 4 (4♀♀, 20 May 2005), Diyarbakır, Ergani, 2 (2♀♀, 12 Temmuz 2007); Batman, Oymataş village 3 (3♂♂, 18 June 2016).

### 3.3.9. *Miniopterus schreibersii* (Kuhl, 1819)

*Habitat:* *Miniopterus schreibersii* were generally found in large colonies in big and deep natural caves. It was found in the same cave together with *Myotis myotis*, *Myotis blythii*, *Myotis capaccinii*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. euryale* and *R. mehelyi* species in Çermik district of Diyarbakır, Viranşehir district of Şanlıurfa and İslahiye district of Gaziantep.

*Sample number (15) and locations:* Gaziantep, İslâhiye, Boğaziçi 2 (1♂, 15 April 2002, 1♂, 08 Temmuz 2006); Şanlıurfa, Viranşehir, Karataş village 6 (3♀♀, 22 April 2003; 1♂, 15 July 2006; 2♀♀, 29 April

2007); Diyarbakır, Çermik, Kalecik vilage 2 (2♂♂, 17 May 2005); Mardin, headquarters, 1 (1♂, 18 May 2005); Siirt, Merkez, Sağlarca village, Billoris cave 4 (4♂♂, 9 July 2017).

### 3.4. Family: Molossidae

#### 3.4.1. *Tadarida teniotis* (Rafinesque, 1814)

*Habitat:* *Tadarida teniotis* was found on the joints of the bridge on the Euphrates river in Birecik district of Şanlıurfa. Solitarily perching individuals were found in the fractures in the high cliffs beside the Tigris river within borders of Şırnak province.

*Sample number (10) and locations:* Şanlıurfa, Birecik, Birecik bridge, 5 (2♂♂, 12 July 2006; 2♀♀, 1♂ 28 May 2007); Şırnak, Güçlükonak, Taşkonak village, 5 (5♂♂, 08 July 2017).

## 4. Discussion and Conclusion

The study area represents an important region in terms of bat fauna including the species spreading in Asia, Africa and Europe. 22 bat species have been recorded in the area up to the present. Among these species, *Rhinolophus ferrumequinum*, *Myotis myotis*, *M. blythii*, *Pipistrellus kuhlii* and *Miniopterus schreibersii* have been recorded as the common species in the area. *Vespertilio murinus*, *Nyctalus leisleri*, *N. noctula*, *Hypsugo savii* and *Otonycteris hemprichii* are the species determined indirectly by the help of droppings and detector [3-8].

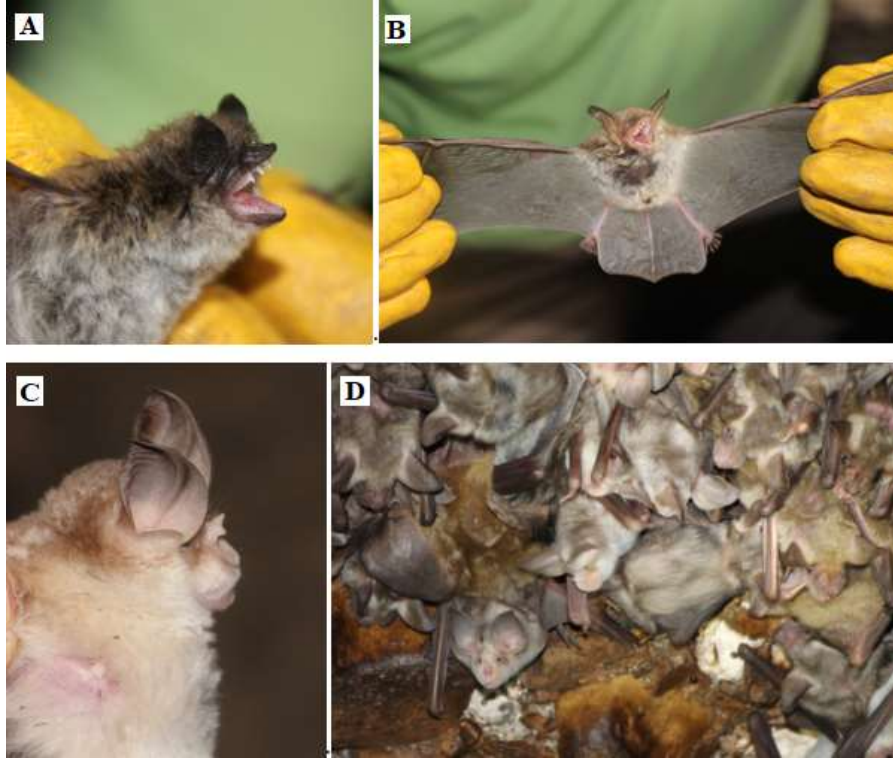
In this study, a total of 15 species including *Taphozous nudiventris*, *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. hipposideros*, *R. euryale*, *R. mehelyi*, *Myotis emarginatus*, *M. nattereri*, *M. myotis*, *M. blythii*, *M. aurescens*, *M. capaccinii*, *Pipistrellus pipistrellus*, *P. kuhlii*, *Miniopterus schreibersii* and *Tadarida teniotis* were identified in the study area. Among these species, it was observed that *Rhinolophus ferrumequinum*, *Myotis myotis*, *M. blythii*, *Pipistrellus kuhlii* and *Miniopterus schreibersii* were common in the study area. *R. mehelyi*, *Myotis capaccinii*, *M. nattereri*, *Pipistrellus pipistrellus* and *Tadarida teniotis* species were recorded in two locations and *Taphozous nudiventris* was recorded in three locations. In the study area, *Rhinolophus hipposideros*, *R. euryale*, *M. emarginatus* and *M. aurescens* were identified in only one location.

As a result of this study, *Myotis nattereri*, *M. aurescens* and *Rhinolophus mehelyi* were determined for the first time in the study area. Also, two new locations were determined for *Taphozous nudiventris*, known from one location since 1999.

*Vespertilio murinus*, *Nyctalus leisleri*, *N. noctula*, *Hypsugo savii* and *Otonycteris hemprichii* species, which have been recorded from their droppings from the region in the literature [5], were not found in this study.

Benda and Horáček [6] have pointed out that *Asellia tridens*, *Myotis schaubi*, *Eptesicus nilssonii* and *Eptesicus bottae ognevi* species which have been recorded in the neighbors of Turkey in south and east may enter in the fauna of Turkey. As enough field works can't be performed in the border regions due to security issues, the specified species were not found in this study. However, it will be possible to have new records for bat fauna of Turkey by performing comprehensive field works especially in the areas close to the border.

If detailed molecular analyses are performed on *Myotis nattereri* and *M. aurescens* species, which were recorded with this study, from Southeastern Turkey, the systematic locations of these species can be understood better. The presence of bat in this region should be studied in detail to reveal bat fauna of Turkey and their genetic populations in more detail.



**Figure 3.** *M. aurescens* (A), *M. nattereri* (B), *R. mehelyi* (C) *M. blythii* colony and *R. mehelyi* (D)

### Acknowledgements

This study was funded by the Coordination Unit of Scientific Research Projects of Kırıkkale University (BAP, Project No: 2006/011). This study was a part of the PhD thesis of Tarkan YORULMAZ.

### Author' Contributions

Tarkan YORULMAZ contributed to field studies, species identification, writing of the article, data analysis, interpretation of the results and revisions in this study. Kubilay TOYRAN contributed to field studies, sample supply and article writing. İrfan ALBAYRAK is supervisor of this thesis study.

### 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] Kosswig C. 1953. Über die Verwandtschaftsbeziehungen anatolischer Zahnkarpfen. Hidrobiologi (Hydrobiological Research Institute, Faculty of Sciences, University of Istanbul) Ser. B, 1 (3): 186-198.
- [2] Yorulmaz T., Arslan N. 2020. Current status of the bats in Turkey with their ecogeographic distributions and recommendations for national conservation status (Mammalia:Chiroptera). Fresenius Environmental Bulletin, 29: 6691-6706.
- [3] Albayrak İ. 1987. A new record of *Pipistrellus pipistrellus aladdin* for Turkey. Communications of Faculty of Sciences, University of Ankara, Series C 5: 31-37.

- [4] Albayrak İ. 1990. Doğu Anadolu Yarasa ları ve Yayılış ları (Mammalia: Chiroptera). Doğa Tr. J. of Zoology, 14: 214-228.
- [5] Obuch J. 1994. K potrave výra skalného (*Bubo bubo*) a sovy obyčajnej (*Strix aluco*) vo východnej časti Turecka [On the food of Eagle owl (*Bubo bubo*) and Tawny owl (*Strix aluco*) in the Eastern part of Turkey]. Tichodroma 7: 7-16 (in Slovak, with an abstract in English).
- [6] Benda P., Horáček I. 1998. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean. Part I. Review of distribution and taxonomy of bats in Turkey. Acta Soc. Zool. Bohem., 62: 255-313.
- [7] Sachanowicz K., Bogdanowicz W., Michalak S. 1999. First record of *Taphozous nudiventris* Cretzschmar, 1830 (Chiroptera, Emballonuridae) in Turkey. Mammalia, 63: 105-107.
- [8] Karataş A., Sözen M. 2006. Bats of the middle and upper Kızılırmak regions, Central Anatolia, Turkey (Chiroptera). Lynx (Praha), n. s., 37: 151-159.
- [9] Arslan A., Albayrak I. 2005. Taxonomic Status of Kuhl's Pipistrelle *Pipistrellus kuhlii* (Kuhl, 1817) in Turkey (Mammalia: Chiroptera). Pakistan Journal of Biological Sciences, 8 (12): 1699-1702.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Customer Behavior Analysis by Association Rules Mining

G. Nilay YÜCENUR\*, Yeşim YAYGAN, Hilal TEVGE, Gökçe DEMİR

*Beykent Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*  
(ORCID: 0000-0002-2670-6277) (ORCID: 0000-0002-5082-8119)  
(ORCID: 0000-0001-9605-1723) (ORCID: 0000-0002-0264-4980)

---

### Abstract

Emerging technology and the accompanying globalization further strengthen the conditions of competition. At this point, the concept of “difference making-innovation” has become one of the important concepts in today's world. Diversifying businesses can quickly adapt to this development process and take up its place in the development / growth cycle. To making a difference in terms of businesses means to be able to adapt quickly to developing management understanding and to reflect this difference in their business processes. In this paper, we are looking for an answer to two important questions for a retail firm that serves in textile sector in İstanbul/Turkey. Our retail firm has 56 different sales points throughout İstanbul. 18 of them are in the Anatolia and 38 of them are in the European side of İstanbul. The firm produces and sells textile products with different price ranges and different specifications. According to the sales habits of the customers, what products should be sold in the product range of the company and which products should be sold in two branches that we decided? In our study, we have proposed a model that explains customer behavior and makes forward-looking forecasts with the Data Mining application used in Customer Relationship Management to find out the answers to these questions. The model was evaluated by Association Rules Mining (ARM) based on past sales slips, the results were obtained and future estimates were made. The purpose in the association rule; to find the relationships between the products purchased by customers during shopping, and to determine the buying habits of customers in line with this relationship data. Also in this paper the tourism effects are tried to be examined because there are two different branches. One of them has national customers but the other one has more foreign customers.

**Keywords:** Data mining, customer behavior, association rules mining, retail stores.

---

## Birliktelik Kuralları ile Müşteri Davranışlarının Analizi

---

### Özet

Gelişen teknoloji ve beraberindeki küreselleşme rekabet koşullarını daha da güçleştirmekte bu noktada “fark yaratan inovasyon” günümüz dünyasında önemli kavramlardan biri haline gelmektedir. Bu sürece hızla adapte olabilen işletmeler gelişim/büyüme döngüsü içerisinde yer almakta ve fark yaratabilmektedirler. İşletmeler açısından fark yaratmak, hızla gelişen yönetim anlayışına uyum sağlayabilmek ve bu anlayışı iş süreçlerine yansıtma anlamına gelmektedir. Buradan hareketle bu makalede, İstanbul/Türkiye’de tekstil sektöründe hizmet veren bir perakende firmasının rekabet koşullarında fark yaratabilmesi için iki önemli sorunun cevabı aranmaktadır. İncelenen firma 18 tanesi İstanbul’un Anadolu yakasında ve 38 tanesi ise İstanbul’un Avrupa yakasında olmak üzere toplam 56 farklı satış noktasına sahiptir. Farklı fiyat aralıklarında ve farklı özelliklerde tekstil ürünleri üretilip satmakta olan firma müşterilerinin satış alışkanlıklarına göre, ürün yelpazesinde hangi ürünlerin bulunması gerektiğine ve bu ürünlerin hangi satış noktalarında satılması gerektiğine karar vermeye çalışmaktadır. Makalede, müşteri davranışlarını açıklayabilmek ve bu soruların cevaplarını bulabilmek için Müşteri İlişkileri Yönetimi’nde kullanılan Veri Madenciliği uygulaması ile ileriye dönük tahminler yapan bir model önerilmiştir. Modelde, müşterilerin satın alma alışkanlıklarının açıklanabilmesi için geriye dönük satış fişleri Birliktelik Kuralları Analizi yöntemi ile değerlendirilmiş, elde edilen sonuçların detaylı olarak incelenmesi ile gelecek tahminleri yapılmış ve hangi ürün gruplarının hangi şubelerde satışa çıkarılması gerektiği ortaya konmuştur. Çünkü birliktelik kuralındaki amaç alışveriş sırasında müşterilerin satın aldığı ürünler arasındaki ilişkileri bulmak ve bu ilişki verileri doğrultusunda müşterilerin satın alma alışkanlıklarını belirlemektir. Çalışmada ayrıca iki farklı satış şubesi olduğundan satışlar üzerindeki turizm etkileri de incelenmeye

---

\*Sorumlu yazar: [nilayyucenur@beykent.edu.tr](mailto:nilayyucenur@beykent.edu.tr)

Geliş Tarihi: 25.04.2019, Kabul Tarihi: 04.06.2020

çalışılmıştır. Çünkü satış şubelerinden birinin daha çok ulusal müşterisi varken, diğerinin ise yabancı müşterisi daha fazladır.

**Anahtar Kelimeler:** Veri madenciliği, müşteri davranışı, birliktelik kuralları analizi, perakende satış mağazaları.

## 1. Introduction

Today, businesses have lots of data about their customers. These data will be processed by various analysis techniques to provide meaningful and useful information for the operator to make more effective decisions and increase the competition power of the operator in a globalizing, increasingly competitive world.

The data produced by computer systems are not worth it alone, because they do not make sense viewed with the naked eye. This data is meaningful when it is processed for a certain purpose. Therefore, it is important to be able to use techniques that can manage large amounts of data. The patterns and trends that are hidden in datasets are discovered by data mining process and this process is widely used in Customer Relationship Management. Customer Relationship Management practices have been developed to enable companies to improve their relationships with existing customers, gain new customers and retain all customers. The purpose of Data Mining applications used in Customer Relationship Management is to set up models to explain customer behaviors and make forecasts for the future.

Since the estimation of the behavior of customers is a very important issue, many researches have been carried out on the subject from the past to present. Therefore, in literature there are many studies about data mining and association rules mining which is one of the techniques analyzing customer behavior. For example, Caniato et al. (2005) clustered customers to forecast demand, Chang, Hung and Ho (2007) used clustering analysis and ARM with a model for analyzing potential customers' purchasing behavior, Sohn and Kim (2008) used clustering and quantitative association rule for searching mobile service's customer patterns, Tsai and Chen (2010) selected variable by association rules in multimedia sector, Chiang (2011) used the same method with an improved model with customer values, Soysal (2015) used ARM with mostly associated sequential patterns, an efficient approach for mining association rules were proposed by Sahoo et al. (2015) from high utility item sets, Joo, Bang and Park (2016) implemented a recommendation system using association rules and collaborative filtering, the changing trends of market data was identified by Kaur and Kang (2016) by using ARM, Lee et al. (2016) discovered relationships between factors of round-trip car sharing by using ARM, Liao and Chang (2016) used an approach about rough set-based association rule for a recommendation system for online customers and Najafabadi et al. (2017) used clustering and association rules for improving the accuracy of collaborative filtering recommendations [1-12].

The association rules mining which is one of the first techniques used in data mining was first introduced by Agarwal, Imielinski and Swami in 1993 [13-14]. The method that analyzes the co-occurrence of events sets out the rules of co-occurrence with certain possibilities. Association rules are an approach that analyzing the past data and determining and predicting the behavior of customers in the future according to these past data. The purpose of the method is to find the association relationship between the products purchased by customers during shopping and to determine the purchasing habits of the customers in line with this relationship data. Thus, the sellers can have the opportunity of effective and profitable marketing and sales thanks to these association relations and habits [15-17]. Some algorithms used for Association Rules Mining: Apriori, Carma, Sequence, GRI, Eclat, FP-Growth and others. In this study, Apriori algorithm was used for needed evaluations and analysis [18-22].

This study, which examines customer relations through the clustering analysis method in retail management, proposes a model that examines customer behavior in terms of location, price and customers' nationality. The sales slips for the last 3 years are used in the analysis.

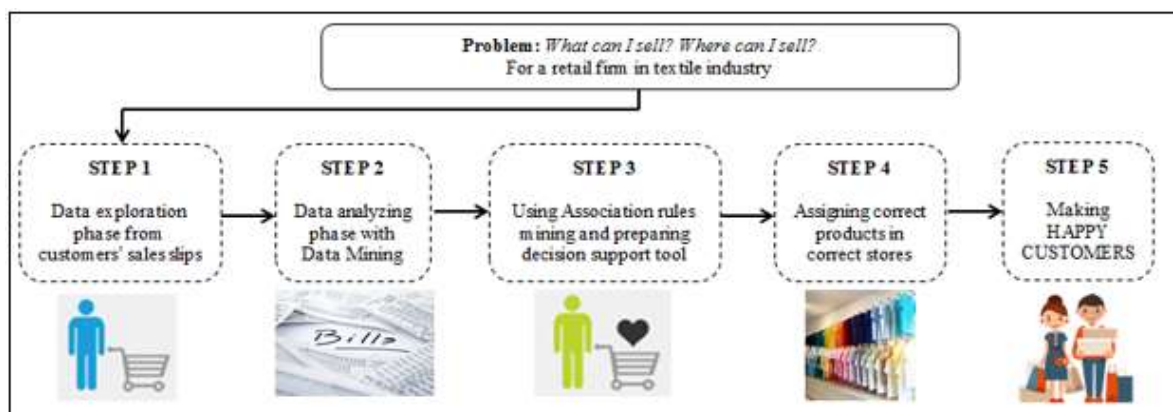
In this study, ARM is used to examine customers' behavior and decide to what the firm sells and in which branch they sell these identified products. Briefly, after all literature review there are two main objectives:

- Analyzing customer behavior for our textile retail firm
- Answering two main questions:



- Which products in the product range are in demand?
- Which products should be sold in which two branches?

In Figure 1, research model and solution steps can be seen.



**Figure 1.** Research model and solution steps

As an outline, in Section 2 the definition of the retailing sector has been made, the functions of retailing are given, according to these functions, the retailing is divided into various types, and the applications of retailing in the World and Turkey are mentioned. The concept of Data Mining is discussed in Section 3, the application steps, fields, models and methods of data mining are examined, the algorithms used for analysis of association rules and the calculation methods of ARM are explained in detail. Section 4 is an application part. We analysis sales slips data of our retail firm for determining which products are requested more for the two selected sales branches and trying to decide which products should be sold in which branch. In the conclusion section, the research findings were evaluated and suggestions were made about how the research results could be used in the business science and retail sector. Finally, the proposal for the planning of future researches is given.

## 2. Functions and Classifications of Retail Stores

People with limited skills and unlimited desires always need for shopping. Especially with the increasing urbanization process from an agriculture society, shopping was not only a mechanical phenomenon; it has become a part of social life. Until a finished product reaches the final customer, it has transportation, storage, wholesaling and retailing steps. The last people who enter into a personal relationship with the customer within these steps are retailers. Retailers combine the needs of their customers with the services they provide.

Most people think retailing is only about selling products at the store but retailing can be staying at the hotel, going to the hairdressing, going to the hospital. It also includes activities such as ordering pizza to home.

Retail includes all marketing activities on the distribution channel of products and services. For this reason, marketing and retailing should be considered as a whole.

The utility and level of retailing depends on economic systems and development levels. Retailing is explained by four utility concepts in the economy. These concepts are convenient locating benefit (retailing should be done in close to customer), time benefit (retailer has to supply the desired products at the desired time), property benefit (retailer provides property benefits by selling credits to customers) and figure benefit (some changes in the shapes of the sold goods affect sales) [23].

Retailers are intermediaries that provide connections between producers and customers. All the units from the producer to the wholesaler, from the distributor to the retailer are retailing. In general, retailing characterizes the activities of the all units from producers to customers. In narrow sense retailing is the last stage such as grocery store, supermarket, chain store, etc. in which the product is delivered to the final customer.

In retailing sector, the right place should be chosen, product range should be available, credit and installment opportunities should be available and large batches should be separated into pieces to be sold in small quantities. These are the functions of retailing.

There are many classification methods in the literature on retailing. Generally, they can be examined in two main groups as store retailers and non-store retailers. Retail associations can also be added to this classification.

- Store retailers: Store retailing is still indispensable for customers in the face of rapidly increasing non-store retailing. For most customers visiting the store, looking at new products, trying and buying products means socialization. For this reason, store retailing will always be important in the retailing sector (independent markets, supermarkets, hypermarkets, shopping malls, discount stores, self-service stores, etc.) [24-25].
- Non-store retailing: The type of retailer where buyers and sellers do not shop face-to-face. The products are also referred to as direct sales because they do not pass through a certain wholesaler. There are forms of sales at home, by letters and e-mails. Home sales are the oldest method of retail sales in Turkey [23; 26]. With a vast majority of goods and services sold through stores, non-retail retailing grows much faster than store retailing (door to door sales, vending machine sales, direct marketing, telephone marketing, television marketing, e-commerce, etc.)
- Retail associations: It is a type of retailing that is formed by various organizations that combine wholesale and retail functions in the distribution channels of integrated retailing with the aim of coordinating without financial autonomy of each institution (chain stores, cooperative stores, franchising stores, etc.).

## 2.1. Retail Stores in the World and in Turkey

Retailing is affected from the rapid technological development process in recent years all over the World. Contemporary retailing was begun between 1954 and 1957 and “Customer focused sales” concept has become important. In the United States, who is the center of the retailing industry, supermarkets that started to operate in the 1930s showed a rapid development process the 1950s. In 1950s as in the United States the increase in immigration in large metropolises also affects the number of employees and core families in Europe. Their shopping habits and consumption patterns have changed. As a result of these developments there have been changes in retail sales points. In Europe, France, the first country to enter the large-scale distribution event, has come to a certain degree in retailing activities. Germany has developed its retailing activities due to the impact of globalization. In the 1980s, in Europe, the strongest country is England in retailing activities with its chain stores.

On the other hand, in Turkey, at the beginning of the 1980s and in the 1990s very important developments were observed in the retail sector. Retailing and merchandising have also developed in Turkey due to the economic and social developments in recent years. Especially, there have been significant changes in the retail industry in the last twenty years. The growing trend of urbanization, the increase in the average life span, the increase in the participation rate of women in business, the changes in consumption habits and consumer expectations are the reasons of development of self-service methods in consumption centers, supermarkets, and discount store types all over the country [27].

When the state of the retail sector in Turkey in recent years examined, the highest increase in 2017 compared to 2016 is in automotive fuel (21.7%) trade sub-category, the least increase is in the electrical goods and furniture sector (2.4%). This result shows in 2017 that automotive fuel and electrical goods/furniture sectors are the most dynamic and stationary sectors in terms of both sales volume and turnover in retail trade, respectively [28]. The latest published data show that the retail trade industry grows at an average level of 10% each year in our country. This growth rate is upper than our country’s growth rate approximately 2-3 times. With these rates, positive contribution of the retail sector to the Turkish economy is felt in the area. In order to make the growth in the retail sector more sustainable and reliable, the sector it needs to respond quickly and in a coordinated manner to changing consumer demands [29-31].

## 3. Data Mining in Knowledge Discovery

Satellite data, medical data, shopping data, automation data and more the amount of data obtained in many areas is increased rapidly [32]. These data collection and storage are also a problem and these

problems have been tried to be solved with file systems and databases [33]. Especially in the area of databases with the cheaper computer hardware developments are very important solutions for these problems. Today, the amount of data arriving continues to grow at an extraordinary pace every day in a very short time. However, often only a small portion of the collected data is used. If the data's size is so large it cannot be analyzed without any mechanism and cannot be used in any decision support system.

Often, if they are not used well, the data stored in the databases becomes a problem. So the collected data's amount and the data's complexity are increased, the need for better analysis techniques is increased. At this point, Data Mining and Knowledge Discovery in Databases concepts have emerged.

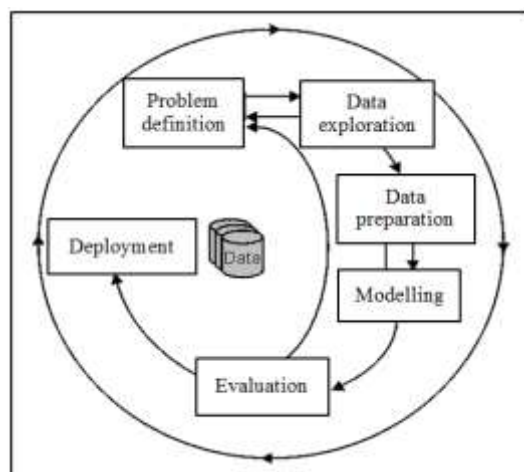
The process of data mining is about meaningful relationships and pattern extraction from the data. With data analysis, estimates of sales for the next month for a product can be done, customers can be grouped according to the goods they bought, potential customers can be identified for a new product and customers' behaviors can be estimated by examining movements of customers over time. The two most important characteristics of data mining are that they are kept in the data warehouse in a very large amount and meaningful information is obtained from these data [4].

Data mining is briefly the discovery period of confidential information. Each stage of the data mining process should be monitored carefully. The end of one stage is the beginning of another stage. Because of this reason each stage depends on the result of the previous stage.

### 3.1. Data Mining's Application Fields and Steps

The data mining process can become very complicated very quickly. For this reason, there is a standard process for data mining. This standard process has been determined by a consortium. The Cross-Industry Standard Process for Data Mining (CRISP-DM) consortium was founded by three companies in a young and immature data mining market towards the end of 1996. Daimler Chrysler (formerly Daimler-Benz) that the first one of these three companies has been the pioneer to the many industrial and commercial organizations for applying data mining techniques. SPSS that is the second company has provided various services on data mining since 1990. NCR, the third company, has established many data mining consultancy and technology expertise teams for serving the needs to their customers and providing value to the customers. CRISP-DM data mining process (DMP) consists of six stages [34; 35]. In Fig. 2 these six stages can be seen.

- **Problem definition:** It is the most important phase of DMP. The first condition for success in data mining operations is to specify the purpose of the application. The relevant business objective should be focused on the problem and must be expressed clearly.
- **Data exploration:** It is very important phase because the problems that will arise during the establishment of the model will lead to the return to this stage later.
- **Data preparation:** Collecting the data, combining, clearing and converting the data are steps of data preparation. In the data mining model building process, the first step of preparing the data is the collection of the data. The pre-determination of the resources that the data is collected from and with the reliability of these resources considerably reduce the risk of encountering problems in the future.
- **Modelling:** In order to get the most efficiency from the information sources in the data mining, the stage of establishment of the model is very important. A well-established model will also affect the quality of the results obtained from analysis. A good data mining practitioner should be able to predict what patterns will be found in the analysis result. If the model is not set up correctly, critical relationships that can be found in the data set cannot be presented correctly and no significant patterns can be detected.
- **Evaluation:** The evaluation the model is made by data mining experts. If they do not like the model and the model do not meet the expectations of them, they go back and rebuild the model.
- **Deployment:** The last phase of DPM is the use of established and validated models. This can be a direct application or a sub-part of another model can be used.



**Figure 2.** CRISP-DM data mining process [36]

Data mining is an interdisciplinary approach that encompasses many aspects. Although it is a new discipline, the field of its application is quite broad. Today, all businesses want to predict the behavior of their customers [37]. Data mining is a technique that can be used for this purpose. For this reason, data mining is currently used in a variety of marketing, retail, banking and finance, transportation, telecommunication, medical and other fields. For example, Liao et al. (2009) used data mining approach for sport marketing [38]. On the other hand, Şener et al. (2019) and Chen et al. (2006) used a data mining approach for retail knowledge discoveries [39-40]. While Zhang et al. (2013) and Louw and Marais (2018) applied data mining approach to finance sector, Gürbüz and Turna (2018) and Wang et al. (2017) used the same method to transportation analysis [41-44]. Keramati et al. (2014) and Mahendrawathi et al. (2015) mined the processes in telecommunication sector and Ricciardi et al. (2020) and Lara et al. (2014) applied data mining to medical sector [45-48]. Firat et al. (2013) classified of sediment amount and concentration with non-hierarchical clustering method [49].

### 3.2. Models and Methods of Data Mining

Models used in data mining are examined under two main headings as predictive and descriptive [50]. In predictive models, it is aimed to develop a model by moving the results from the known data and to estimate the result values for data clusters whose results are unknown by using this established model. In descriptive models, it is possible to identify patterns in existing statements that can be used to guide decision making.

There are other models besides these models in various researches. Classification and regression, clustering, ARM and sequential timing patterns, estimation based decision making, separation, exceptions (difference identification), text mining, web mining are some of these.

Methods used in data mining models in the literature can be examined under such topics as decision trees, artificial neural networks, genetic algorithms, k-nearest neighbors, memory based methods, traditional query tools, visual methods, slang analysis and evolutionary analysis [51]. For example, Han et al. (2019) studied on the Test Data Fault Mining Technology Based on Decision Tree, Czajkowski and Kretowski (2019) used Decision tree for underfitting in mining of gene expression data, Zhang et al. (2020) developed a novel artificial intelligence model to estimate the capital cost of mining projects using deep neural network-based ant colony optimization algorithm, Saplıoğlu and Acar (2020) detected the sediment transport with using artificial intelligence models formed with using k-means clustering algorithm, Guo et al. (2019) forecasted mining capital cost for open-pit mining projects based on artificial neural network approach, Carvalho and Freitas (2004) used a hybrid decision tree/genetic algorithm method for data mining, Gong et al. (2020) introduced a new evidential clustering algorithm based on finding the “cumulative belief peaks” and evidential K-nearest neighbor rule, Ltifi et al. (2016) used enhanced visual data mining process for dynamic decision-making [52-59].

### 3.3. ARM and Its General Definitions

Association rules are one of the important techniques of data mining. These rules used to discover multiple independent elements. One of the best known applications of ARM is the market basket analysis. A market basket involves the purchases of customers [60]. These items or item sets are purchased by a customer in a single transaction. ARM can be used to examine the asset sets when the customer's purchases or the number of items bought by the customer are too large. So that customers can find out which products they tend to buy together [4].

The mathematical model of the association rule was presented by Agrawal, Imielinski and Swami in 1993. The general definitions of the rules of association are as follows:

$I = \{i_1, i_2, \dots, i_m\}$  is a set of items. These items are given in  $DB$ . A set of transactions are contained by  $DB$ . Each  $T$  transaction is a set of items such that  $T \subseteq I$ . A set of purchased items is  $X$ . A transaction  $T$  is said to contain  $X$  if and only if  $X \subseteq T$ .  $X \Rightarrow Y$  represents an association rule. In this rule  $X \subseteq I$ ,  $Y \subseteq I$  and  $X \cap Y = \emptyset$ . The transaction set  $DB$  includes  $X \Rightarrow Y$  rule with confidence  $c$ .  $X$  as well as  $Y$  are contained by  $c$  %. In the transaction set  $s$  has been supported by  $X \Rightarrow Y$  rule if  $s$  % of the transactions in  $DB$  contains  $X \cup Y$ . The strength of the rule is confidence [52, 61].

Association rules find association relationships between large data sets. For example, when buying a product, buying another product is a rule of association. Association rules are often used for marketing and promotion purposes in retail stores. As the data collected and stored grow day by day, companies want to reveal the rules of association in their databases. Exploring interesting association relationships from large volumes of professional transaction records make the companies decision making more efficient. Association mining analyzes the customers' purchasing habits by finding the togetherness between the products in their shopping basket. The discovery of such association reveals the knowledge of customers which products they buy together, and market managers can develop more effective sales strategies in the light of this information [40, 50].

To find the rules of association, the problem is usually divided into two parts. Firstly, the frequently repeated items are found first. Then strong association rules are created from frequently repeated items. These rules must meet minimum support and minimum trust values. The method provides better information to gain an edge over the competition, and is a powerful tool in providing the information necessary for the business to understand itself, the customer and the market. The ability to quickly organize and analyze big data increases workplace efficiency and provides flexibility in using data. Besides the advantages of the method, it also has disadvantages: The method finds useful predictions, but it has no definitive answer. It is a costly, complex and long project. It takes a long time to get efficiency from applications [22].

### 4. The Application of ARM for a Retail Store Firm with Sales Slips

In this paper, we use ARM and clustering analysis model from data mining. This section provides information on these two analytical techniques and our application. With these two techniques used, it is possible to find the rules related to the sales that we collect through the sales departments of the textile company (shopping details: receipt no, receipt date, hour, received products, etc.) and with this information the intersegmental categorization, exhibition alternatives in stores, etc. will be provided.

Our sample company which is examined in this paper started its operations in 1952 and made its first export in 1956 with the aim of becoming a brand known to in the world with Turkish fabric. Our sample company, which was the first textile firm that awarded with the ISO 9001 Quality Certificate in 1992, is today one of the world's five largest integrated facilities in the production of woolen cloth. Nowadays, it responds to different trends and different lifestyles in fashion with a wide range of collections.

In calculations in this section, there are 2 stores of our textile company which is engaged in retail sales are used for analysis one of them is İstinye Park store in European side of İstanbul and the other one is Nautilus store in Anatolia side of İstanbul. Fig. 3 shows the locations of the stores on İstanbul map.

When the sales data of the firm is analyzed, it is seen that 60% of the customers in İstinye Park store and 3% of the customers in Nautilus store are tourists who visit İstanbul.

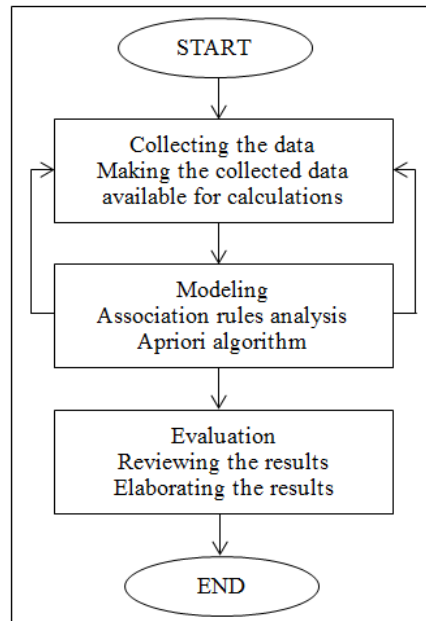


**Figure 3.** The location of two stores on İstanbul map

#### 4.1. The Structure of Model

This study was carried out by following the reference model CRISP-DM, which is a guiding process in data mining practice and used as a standard in most data mining applications. Using the CRISP-DM reference model, this research will also describe the problem assessment and examination of the data, the preparation of the data, and the modeling phases [62].

Market basket analysis will be carried out using the Apriori algorithm in the data obtained from the operation. At the same time, hierarchical clustering analyzes will be applied to determine the clusters that are formed during the sale of product categories. In Fig. 4, the basic flow chart of the article is shown.



**Figure 4.** The basic flow chart of the article

The name of the Apriori Algorithm is Apriori, meaning "prior", as it receives the information from the previous step. This algorithm has a repetitive nature at its core and is used to discover the most frequent sets of items in databases containing motion information. According to the Apriori algorithm, if the set of items with  $k$  elements provides the minimum support value, the subsets of this set also provide the minimum support criteria. The Apriori Algorithm, used for the first stage of the association rule, is the most popular and classic algorithm used in the mining of common items. In this algorithm, properties and data are evaluated by Boolean relationship rules [18, 22].

The method is more preferred than other algorithms since it has wide data preview and modeling techniques.

#### 4.1.1. Data description

Three years of store sales information for İstinye Park and Nautilus stores from 2014 to 2016 were obtained. Purchase order data are consisted of shopping details, such as date, receipt number, product group code, product sales. In Table 1 the product groups are shown which are used in the store. There are a total of 44 products in 7 product groups in both stores.

**Table 1.** Product groups used in the store.

Weaving	Knitting	Accessory	Outer wear	Denim	Knit wear	Swimming wear
Weaving sports trousers	Knitting capri bermuda	Winter accessory	Leather coat	Denim capri bermuda	Tricot cardigan	Swimming wear
Weaving capri	Knitting dress	Wallet	Coat	Denim dress	Tricot sweater	
Weaving dress	Knitting skirt	Scarf shawl	Overcoat	Denim skirt	Tricot vest	
Weaving skirt	Knitting trousers	Towel	Mounted	Denim shirt		
Weaving shirt	Sweatshirt	Gift		Denim trousers		
Weaving vest	T-shirt	Underwear				
Jacket	Cardigan	Shoes				
		Socks				
		Necktie				
		Belt				
		Classic bag				
		Pyjamas				
		Hat				
		Sports shoes				
		Sports bag				
		Suitcase				

#### 4.1.2. Data preprocessing

One of the most important problems about data is this data not fully available to use in data mining software. Shopping details are displayed line by line in Microsoft Excel software. In Fig. 5 original shopping details are shown.

Line tags	Date	Product	Sale quantity	Total amount	Total cost
20089000104590	01.01.2014	Sweatshirt	1	80,95	37,42
20089000104590	01.01.2014	Knitting dress	1	42,95	13,94
20089000104590	01.01.2014	Socks	2	22,9	6,01
20089000104591	01.01.2014	Sweatshirt	1	74,95	33,15
20089000104592	01.01.2014	Tricot sweater	1	60,95	15,81
20089000104593	01.01.2014	Tricot sweater	1	60,95	25,54
20089000104594	01.01.2014	Sweatshirt	1	92,95	39,45
20089000104595	01.01.2014	Weaving shirt	1	85,75	26,92
20089000104596	01.01.2014	Shoes	1	142,95	66,72
20089000104597	01.01.2014	Weaving shirt	1	68,95	22,18
20089000104598	01.01.2014	Weaving vest	1	142,95	38,41

**Figure 5.** Original shopping details

But in terms of data mining software analysis, it is necessary to quantify whether there is a sale for each product in a single development. In order to solve this problem, Microsoft Excel application has been adapted to the desired form by using the pivot structure. As a result of this process, the number of the plug of a shopping and the information of which categories of products are taken and the information of which category is not taken are collected in one row. In Fig. 6 shows the shopping details which were converted to Excel Pivot.

Line tags	Shoes	Jacket	Socks	Purse	Denim	Denim	Knittin	Knittin	Weavi	Sweatsh
20089000104590	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
20089000104591	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20089000104592	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20089000104593	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20089000104594	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20089000104595	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20089000104596	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20089000104597	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20089000104598	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20089000104599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 6. Shopping details converted to Excel Pivot

#### 4.1.3. Records aggregation

In Table 2 and in Fig. 7 the amount of sales movements of İstinye Park store and Nautilus stores according to the month from 2014 to 2016 can be seen.

Table 2. Sales made by stores in the three-year period

Months	Years	İstinye Park store	Nautilus store
January	2014 – 2015 - 2016	23635	12719
February	2014 – 2015 – 2016	21749	13679
March	2014 – 2015 – 2016	24116	10704
April	2014 – 2015 – 2016	20507	7805
May	2014 – 2015 – 2016	24358	13268
June	2014 – 2015 – 2016	23860	15258
July	2014 – 2015 – 2016	26510	15626
August	2014 – 2015 – 2016	27645	15621
September	2014 – 2015 – 2016	17169	12833
October	2014 – 2015 – 2016	14843	8974
November	2014 – 2015 – 2016	11697	8320
December	2014 – 2015 - 2016	19984	13806
<b>TOTAL</b>		<b>256073</b>	<b>149613</b>

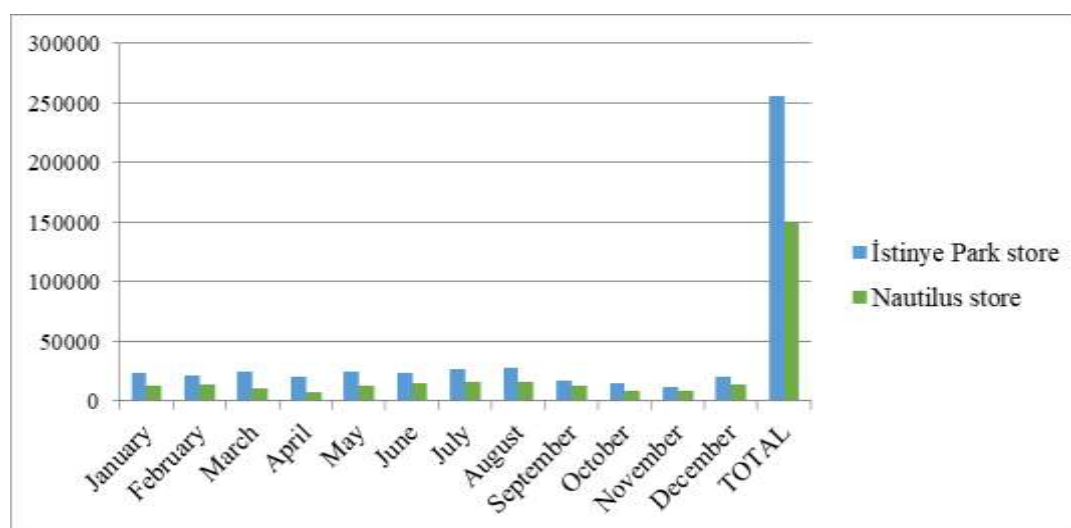
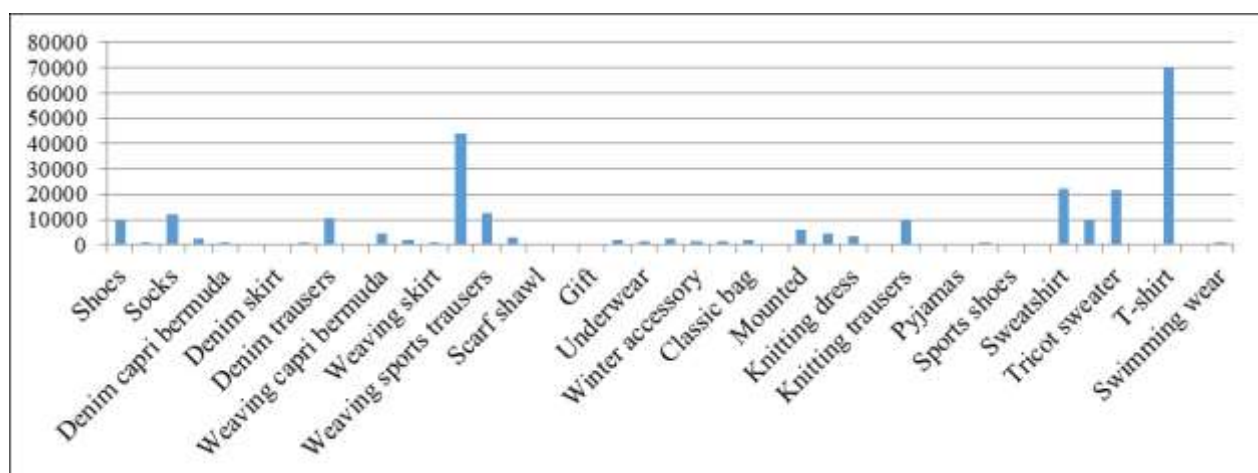


Figure 7. In three years all sales movements of the stores according to months



The data obtained are grouped according to the monthly sales in which the stores. It is seen that a total of 256,073 shopping movements were made for İstinye Park store in the analysis which was made; also for Nautilus store; 149,613 shopping movements were observed. When we examine the amount of movement in stores according to the months, for İstinye Park store the lowest sale was made in November is and highest sale was made in August. When we have examined for the Nautilus store; we can say that the sales movements have the highest density in July and the lowest in April. Therefore, it is seen that the sales increase in the summer season, when the tourist density is high in İstanbul.

In the İstinye Park store, preferred product categories are grouped according to the category regulation system used by the operator and this grouping is shown in Fig. 8. In the case of transferring the histogram, all sales movements' data taken from receipts of İstinye Park store were taken from Table 3.



**Figure 8.** Number of movements according to category in İstinye Park store

**Table 3.** Number of movements according to category in two stores in three years period

	İstinye Park	Nautilus		İstinye Park	Nautilus
Shoes	10179	5697	Denim capri bermuda	728	285
Jacket	798	397	Weaving capri bermuda	4559	2295
Socks	12006	10738	Weaving sports trousers	12403	10695
Wallet	2408	1295	Knitting capri bermuda	4388	3850
Denim dress	482	234	Weaving dress	1856	462
Denim skirt	332	523	Weaving skirt	666	635
Denim shirt	1060	1037	Weaving shirt	44042	24941
Denim trousers	10506	5632	Underwear	1294	547
Leather coat	394	101	Coat	2416	1842
Weaving vest	3127	1286	Winter accessory	1168	1021
Scarf shawl	538	240	Belt	1248	800
Towel	273	195	Classic bag	2108	1860
Gift	237	170	Necktie	101	80
Cardigan	2132	1216	Mounted	5843	22
Knitting dress	3322	2232	Hat	733	211
Knitting skirt	125	2159	Sports shoes	301	593
Knitting trousers	9982	118	Sports bag	175	97
Overcoat	602	3369	Sweatshirt	22020	10540
Pyjamas	71	52	Tricot cardigan	9679	6219
T-shirt	70287	38291	Tricot sweater	21742	16964
Suitcase	242	224	Tricot vest	21	14
Swimming wear	1108	332			

In the Nautilus store, preferred product categories are grouped according to the category regulation system used by the operator as in İstinye park store and this grouping is shown in Fig. 9. In the case of transferring the histogram, all sales movements' data taken from receipts of Nautilus store were taken from Table 3.

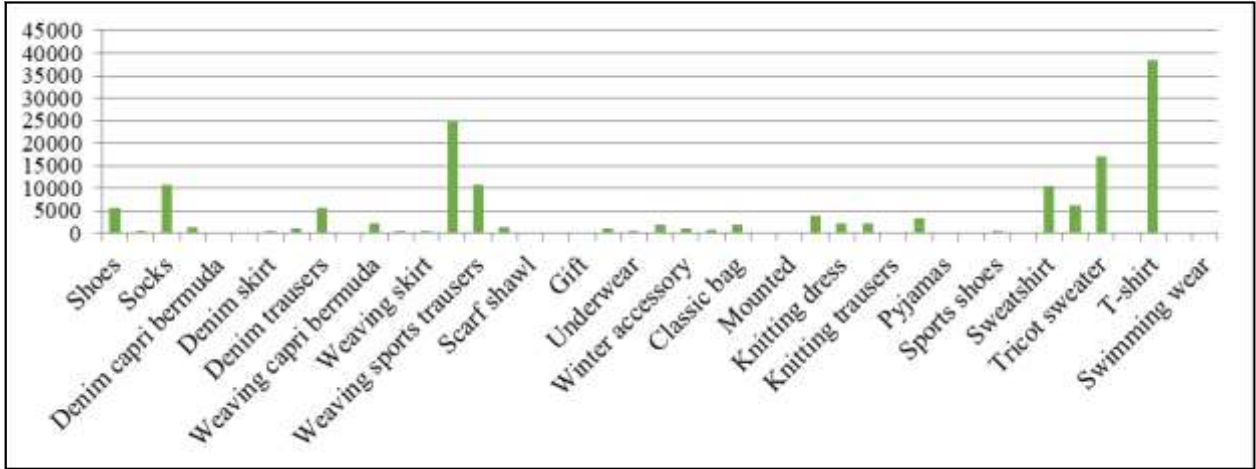


Figure 9. Number of movements according to category in Nautilus store

#### 4.1.4. Mapping

Apriori model was used in SPSS MODELER software to determine the association rules. The Apriori model extracts rules with the highest information content from a data set [63]. Support-generality and confidence-accuracy values are calculated when information content is found. In the general literature, support indicates the probability of co-existence of products, while confidence value indicates how many of the records containing the first product contains the second product. However, the support value obtained in the SPSS Clementine program indicates the percentage of total inclusion in the data set, the congestion type records that contain the confidence value precursor type, the rule support value indicates the percentage of coexistence of the two species. In other words, the concept of support in the literature is used as a rule support here. The definitions of the SPSS Clementine program were taken into account when assessing the tables. In the analysis, all category types will be examined first, then the categories will be examined on their own once a general view is obtained. In Fig. 10 and in Fig. 11 graphs show sales relationships between categories in İstinye Park store and Nautilus store, respectively.

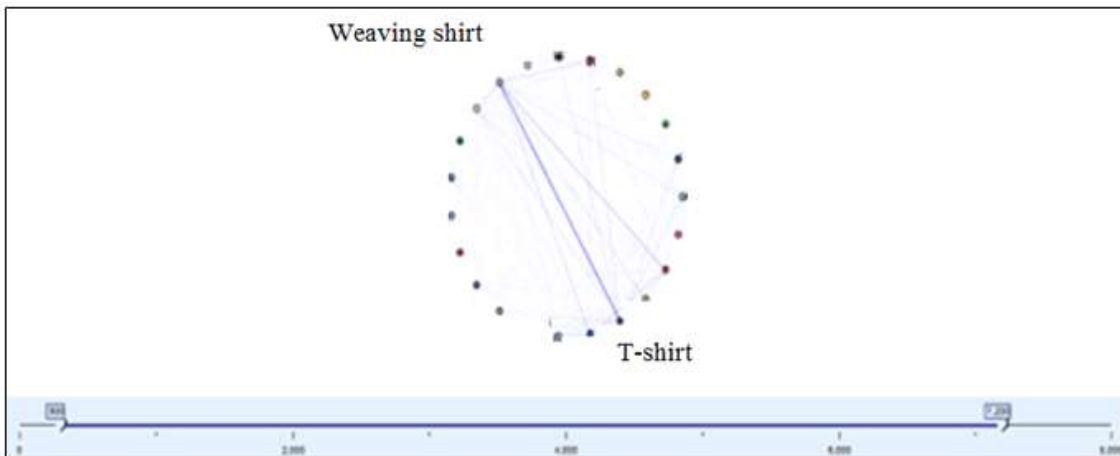
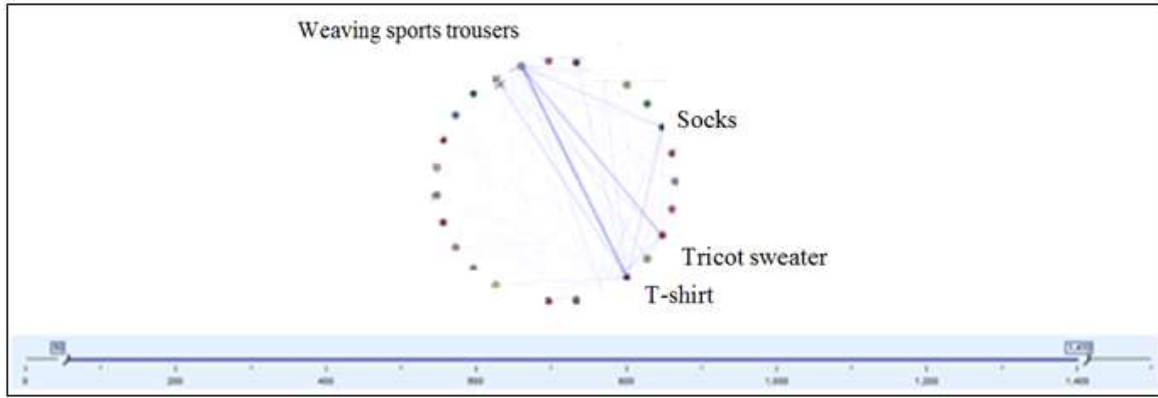
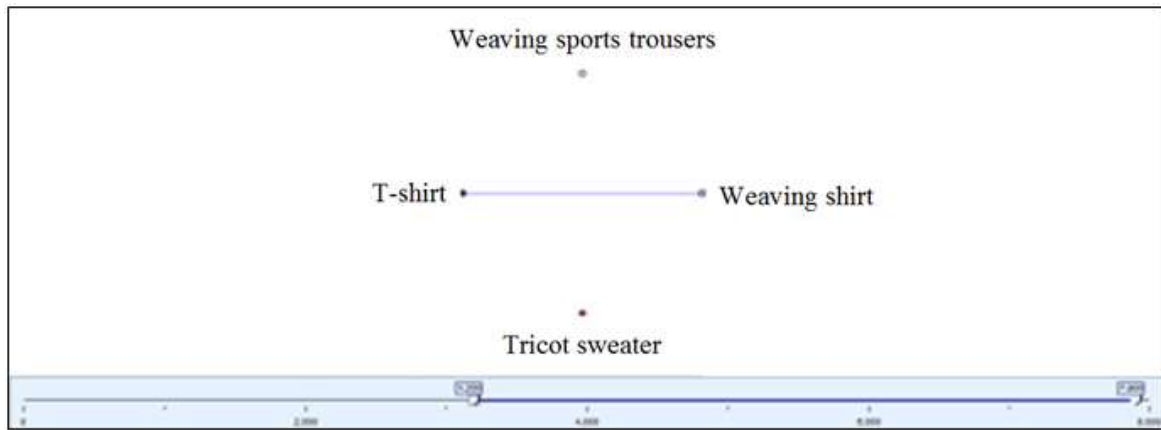


Figure 10. Graph showing sales relationships between categories in İstinye Park store

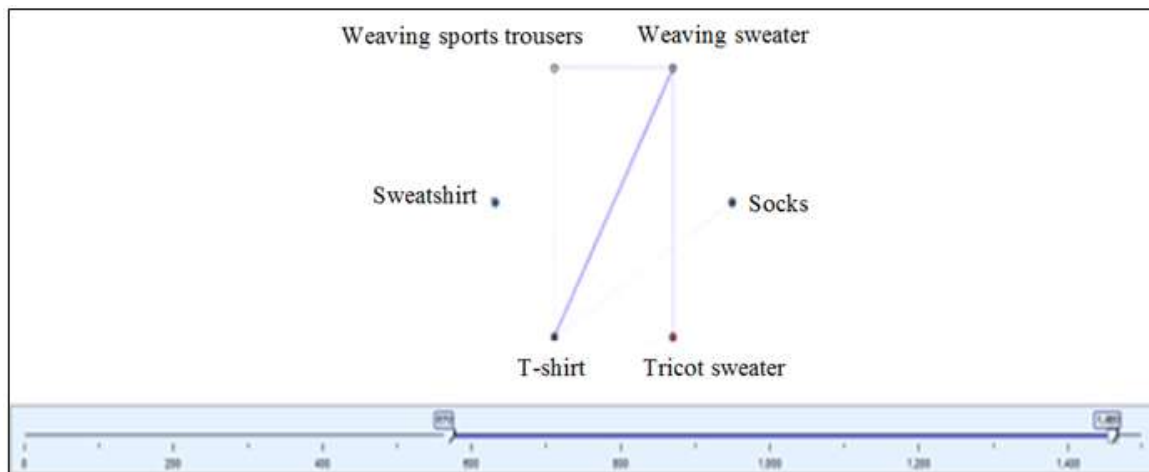


**Figure 11.** Graph showing sales relationships between categories in Nautilus store

When we examined the products that were most common for İstinye Park and Nautilus stores Fig. 12, Fig. 13(a) and Fig. 13(b) are obtained. Since two basic relationships can be established between products in the Nautilus store, all relationships are shown in Figure 13 (a) and (b).



**Figure 12.** Most common products in İstinye Park store



**Figure 13(a).** Most common products in Nautilus store

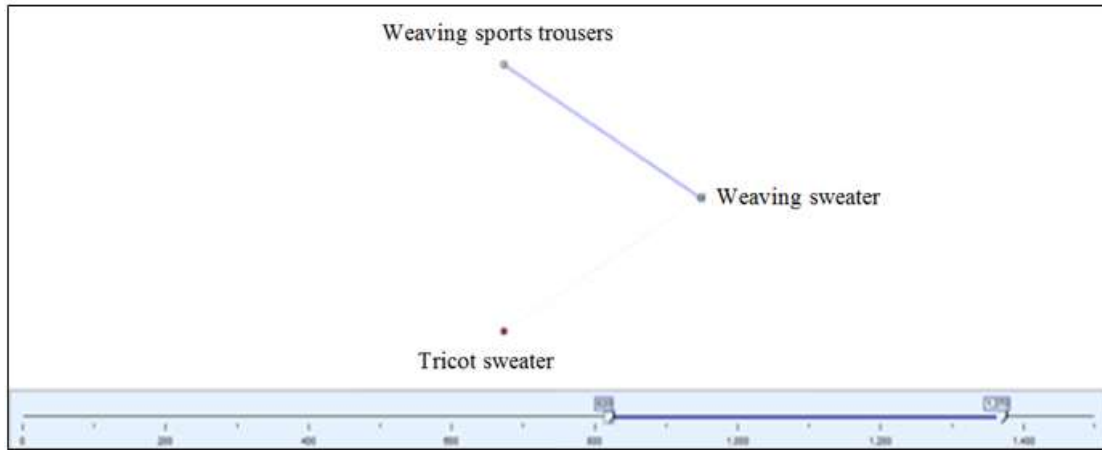


Figure 13(b). Most common products in Nautilus store

When the table which is shown in Fig. 14 is examined, it is seen that the largest rule support is 6.13% for t-shirt → and in the weaving shirt in İstinye Park store. That is to say, about 6% of the receipts contain t-shirt with weaving shirt categories. Approximately 23% of customers who received t-shirt also receive a weaving shirt category, while 19% of customers who received weaving shirt category also receive t-shirt. And then, weaving shirts and sweatshirts are following that. T-shirt, weaving shirts and tricot sweater groups are the products that have large logos for tourist customers.

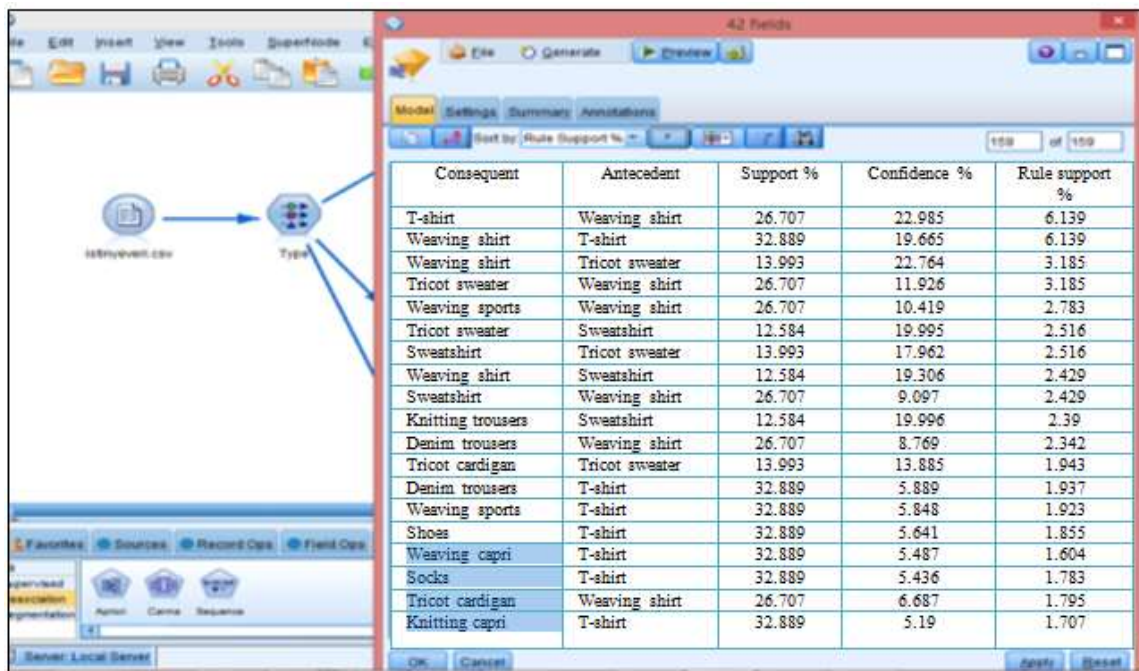
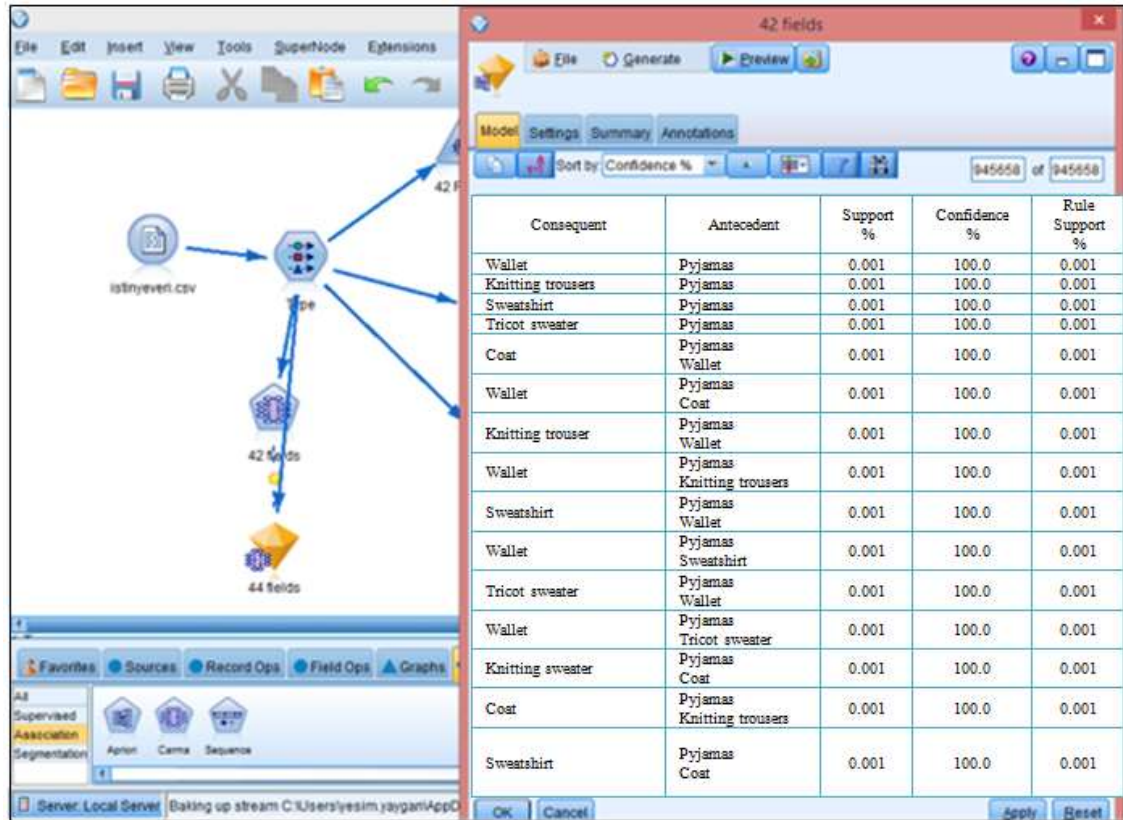


Figure 14. Results of Apriori Model applied to categorical (sorted by rule support) in İstinye Park store

Support value becomes important when making an assessment. So in the table that is below is the sort of analysis results sorted by support value. Even though the confidence value is high, the rule support (called as the total among the receipts) is low, so same relations are not included in the table can be examined in this way. The new graph can be seen in Fig. 15 for İstinye Park store.



**Figure 15.** Detailed results of Apriori Model applied to categorical (sorted by rule confidence) in İstinye Park store

When the table is examined which is shown in Fig. 15, it is seen that the highest confidence value is 100% between the wallet and the pyjamas. The customers who buy wallet also get products from the nearest pyjamas category. This result is found in about 1% of the receipts.

When we examine the results for Nautilus store, results of Apriori Model applied to categorical in Nautilus store can be seen in Fig. 16.

When the table is examined which is seen Fig. 16, it is seen that the largest rule support is 2.681% for the t-shirt → and weaving shirt. So, about 2.7% of the receipts are covered with t-shirt and weaving shirt categories. Approximately 12% of the customers who receive t-shirt also received a weaving shirt category, while 10% of the customers who received weaving shirt category also receive products from the t-shirt category. This is followed by a weaving shirt and sportswear.

In Fig. 17 there are detailed results of Apriori Model applied to categorical for Nautilus store.

When the table which can be seen in Fig. 17 is examined, it is seen that the highest confidence value is between 100% and Socks → pajama. The customers who buy socks take products from the nearest pyjamas category. This deflection is found in about 1% of the receipts. There is a similar situation in the other data.

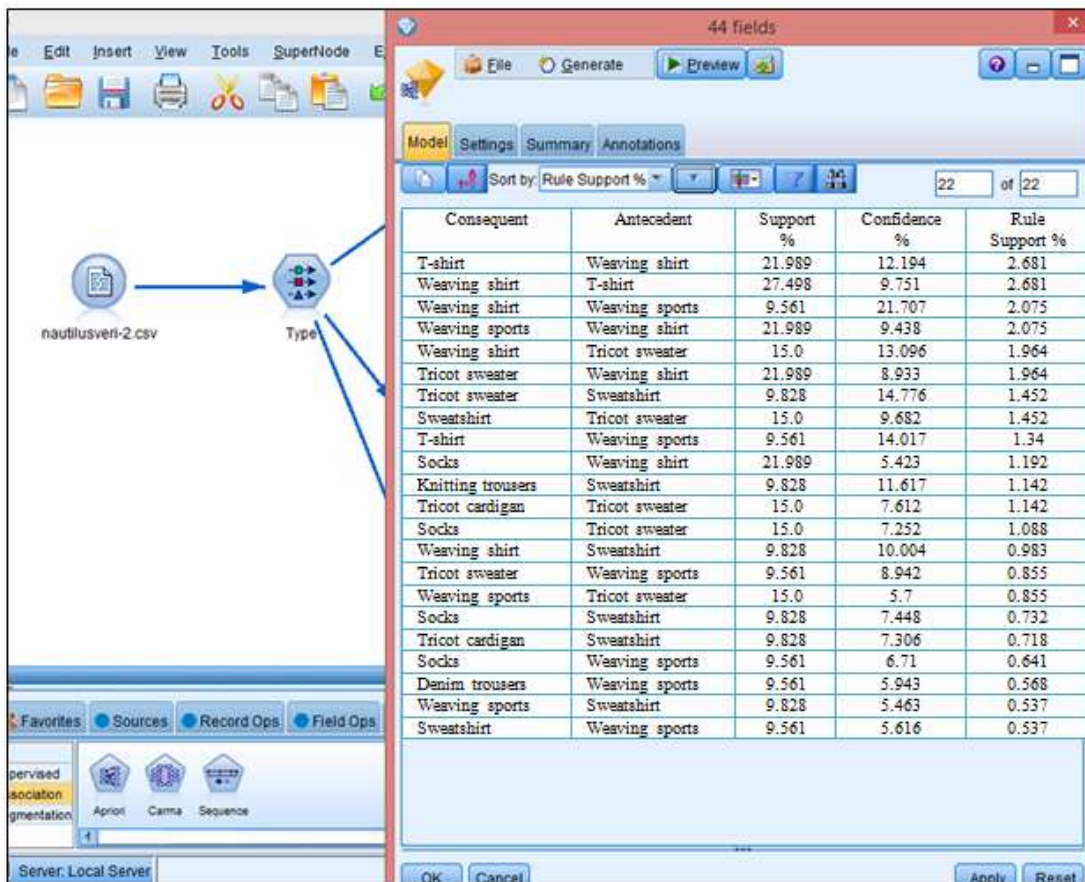


Figure 16. Results of Apriori Model applied to categorical (sorted by rule support) in Nautilus store

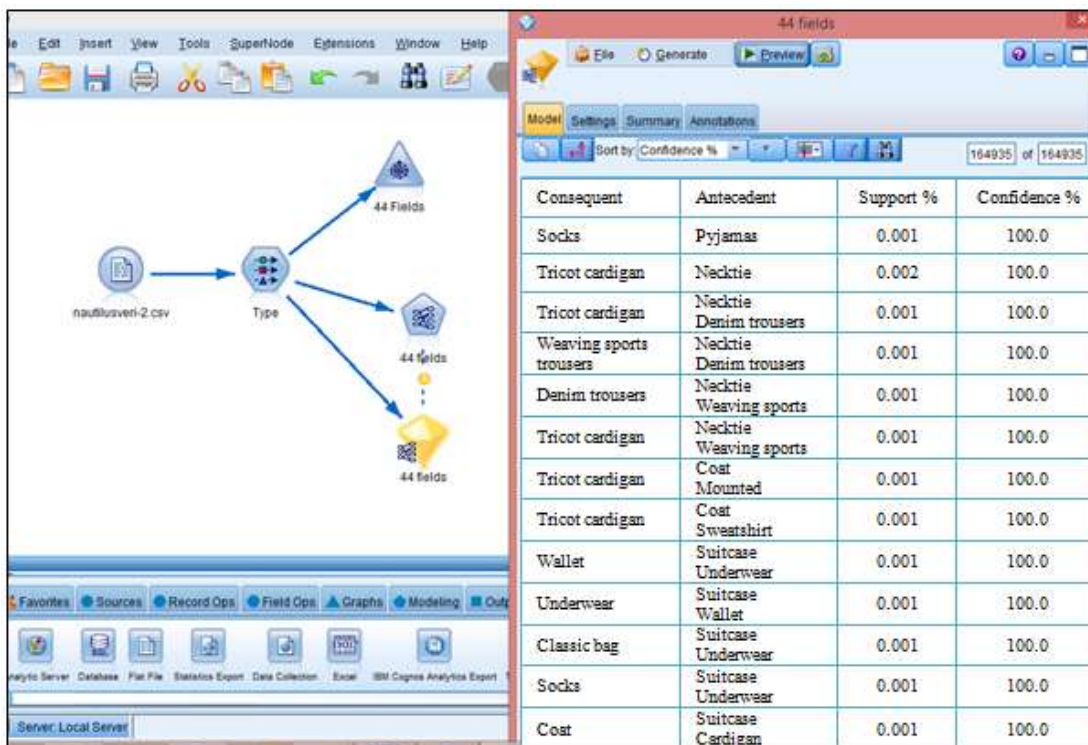


Figure 17. Detailed results of Apriori Model applied to categorical (sorted by rule confidence) in Nautilus store

#### 4.2. The Analysis of Binary Sales' Relationships in Product Categories

After the chi-square test is performed, the value of interest is calculated. 1 are complementary effects between X and Y, interest values below 1 are substitutable (interim) between X and Y. If the value of interest is 1 or very close to 1, it indicates situational independence between X and Y.

Whether the figures obtained through sampling is compatible with the population figures; In other words, it is determined by chi-square test whether the values observed comply with the expected values. The method allows testing whether one categorical variable is related to another [64]. In this study, the relationship data between the products obtained by chi square test are shown in Fig. 18 and Fig. 19.

In Fig. 18 lift rule support table analysis is seen for İstinye Park store. When we look at Fig. 18, it can be seen that there is a positive relationship between the shirt and the weaving shirt. Similarly, there is a positive relationship between the weaving shirt and the sweatshirt. However, there is a negative relationship between tricot sweater and sweatshirt due to proximity to 1. Because tricot sweaters and sweatshirts are exactly in the same category. Both of them are giving the same desire to the customers.

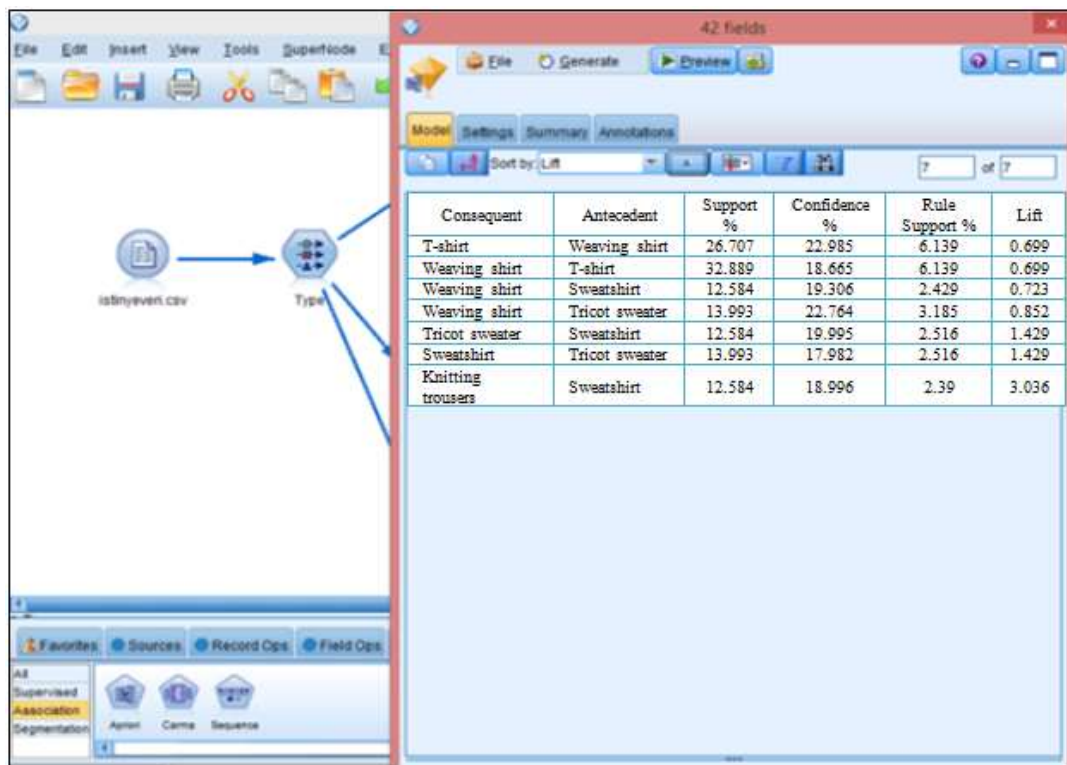


Figure 18. Lift rule support table for İstinye Park store

When we examine this analysis for Nautilus store, Fig. 17 is obtained. When we look at Fig. 19 we can see that there is a positive relationship between the T-shirt and the weaving shirt. There is also a positive relationship between the weaving shirt and the tricot sweater. There is a negative relationship between the denim pants and the weaving sport because of the closeness to 1 and they are exactly in the same category. Both of them are giving the same desire to the customers.

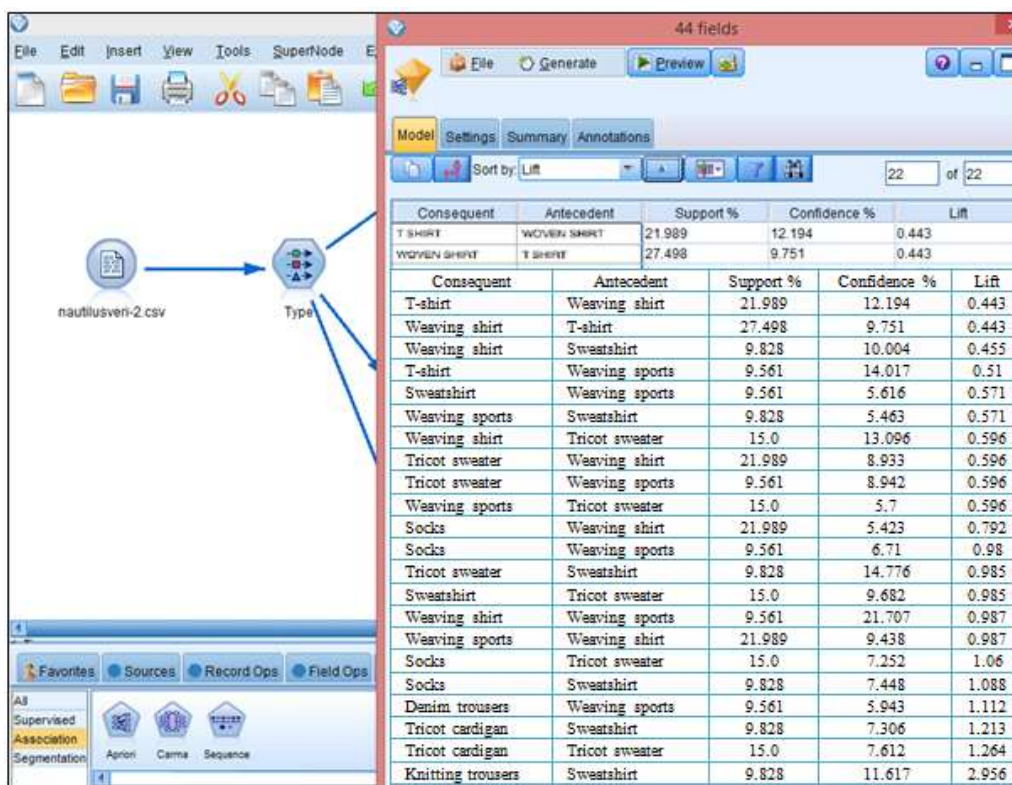


Figure 19. Lift rule support table for Nautilus store

### 4.3. Discussion

In İstinye Park store there is a strong relationship between t-shirt and weaving shirt. Approximately 23% of customers who received t-shirt also receive a weaving shirt category, while 19% of customers who received weaving shirt category also receive t-shirt. According to this result, the company should position t-shirt and weaving shirt side by side in this store.

In Nautilus store there is a strong relationship between t-shirt and weaving shirt. Approximately 12% of the customers who receive t-shirt also received a weaving shirt category, while 10% of the customers who received weaving shirt category also receive products from the t-shirt category. This is followed by a weaving shirt and sportswear. Also, it is seen that the highest confidence value is 100% between the wallet and the pyjamas for this store. According to these results, it can be said that the customers in this store are more modest and try to buy cheaper items.

With all these conclusions, the relationships between the products purchased by customers during shopping were examined and the buying habits of customers were determined. According to these results, our sample firm can reorganize its stores more affectively and more profitably. Also with these results the tourism effects were examined in two different branches. Depending on the purchase power, more expensive products can be sold in İstinye park store, while more modest products that can be offered to local customers should be included in the Nautilus store.

### 5. Conclusion and Limitations of the Paper

Creating a difference is important in today's world, whether it is in-house or out of business. Separating business processes from each other or thinking of them as different departments in any firm slows down the decision making mechanisms of the relevant firms and delays in reaching the desired results. Companies that want to be different have to consider all business processes inside and outside the company as a whole with the condition of not lagging behind developing technology.

In this paper, data mining method was discussed and an application related to customer relationship management was realized. The application about ARM has been examined in detail. According to the sales habits of our sample company's customers, what products should be sold in the product range of the company and which products should be sold in two branches that we decided?



We have proposed a model that explains customer behavior and makes forward-looking forecasts with the Data Mining application used in Customer Relationship Management to find out the answers to these questions. The model was evaluated by ARM based on past sales slips.

This study, which examines customer relations through the clustering analysis method in retail management, proposes a model that examines customer behavior in terms of location, price and customers' nationality. The sales slips from two different sales points (one of them is from Anatolia side of İstanbul and the other one is from Asia side of İstanbul) for the last 3 years are used in the analysis. With this study, the result of analysis indicates that the preferred products are differentiated in the stores where tourist customers are concentrated. In addition to this, it is seen that prices and product display structure are differentiated by being affected by the products sold together.

Using the results, we have obtained, we can recommend to the related firm to place the basic models and the models what attracting the customers in the front row for both stores. Apart from this, it can be said that we have examined the stores which have the same potential customer portfolio as the price sense, so that the product production for the demand of the customers will increase the sales. For this reason, the company can change its strategy to meet customer demands. In addition, in the stores where the tourist customers are concentrated, the products which they are interested in such as big logo, charming models etc. can be sent to these tourist attractions stores for selling.

The most important limitation of our work is that the model-based review takes a very long time and is troublesome. A detailed review of the models created for tourists can yield lots of data in SPSS software program. For this reason, we tried to overcome this crumbling by pulling data from the SQL system. Therefore, the sold product data were taken from SQL such as which season, how many pieces in which model were sold. It was a time consuming process to extract the data from SQL and integrate it into the SPSS system.

The model designed to analyze the behavior of retail customers in the textile sector can be used to explain the behavior of other sector customers in future studies. At the same time, it can be possible to compare the findings obtained by solving the existing problem with different data mining techniques.

### **Authors' Contributions**

Data mining method was discussed and an application was realized. The proposed model explains customer behavior, makes forward-looking forecasts and according to the buying habits it could be decided that what can be sold in which branches.

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

There is no conflict of interest between the authors.

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

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

### **References**

- [1] Caniato F., Kalchschmidt M., Ronchi S., Verganti R., Zotteri G. 2005. Clustering Customers to Forecast Demand. *Production Planning & Control*, 16 (1): 32-43.
- [2] Chang H.J., Hung L.P., Ho C.L. 2007. An Anticipation Model of Potential Customers' Purchasing Behavior based on Clustering Analysis and Association Rules Analysis. *Expert Systems with Applications*, 32: 753-764.
- [3] Sohn S.Y., Kim Y. 2008. Searching Customer Patterns of Mobile Service using Clustering and Quantitative Association Rule. *Expert Systems with Applications*, 34: 1070-1077.
- [4] Tsai C.F., Chen M.Y. 2010. Variable Selection by Association Rules for Customer Churn Prediction of Multimedia on Demand, *Expert Systems with Applications*, 37: 2006-2015.

- [5] Chiang W.Y. 2011. To Mine Association Rules of Customer Values via a Data Mining Procedure with Improved Model: An Empirical Case Study. *Expert Systems with Applications*, 38: 1716-1722.
- [6] Soysal Ö.M. 2015. Association Rule Mining with Mostly Associated Sequential Patterns. *Expert Systems with Applications*, 42: 2582-2592.
- [7] Sahoo J., Das A.K., Goswami A. 2015. An Efficient Approach for Mining Association Rules from High Utility Item Sets. *Expert Systems with Applications*, 42: 5754-5778.
- [8] Joo J.H., Bang S.W., Park G.D. 2016. Implementation of a Recommendation System using Association Rules and Collaborative Filtering. *Procedia Computer Science*, 91: 944-952.
- [9] Kaur M., Kang S. 2016. Market Basket Analysis: Identify the Changing Trends of Market Data using Association Rule Mining. *Procedia Computer Science*, 85: 78-85.
- [10] Lee D., Quadrifoglio L., Teulada B.S., Meloni I. 2016. Discovering Relationships between Factors of Round-Trip Car Sharing by using Association Rules Approach. *Procedia Engineering*, 161: 1282-1288.
- [11] Liao S.H., Chang H.K. 2016. A Rough Set-based Association Rule Approach for a Recommendation System for Online Consumers. *Information Processing and Management*, 52: 1142-1160.
- [12] Najafabadi M.K., Mahrin M.N., Chuprat S., Sarkan H.M. 2017. Improving the Accuracy of Collaborative Filtering Recommendations using Clustering and Association Rules Mining on Implicit Data. *Computers in Human Behavior*, 67: 113-128.
- [13] Zhang D., Lv J., Zhang B., Zhang X., Jiang H., Lin Z. 2020. The Characteristics and Regularities of Cardiac Adverse Drug Reactions Induced by Chinese Materia Medica: A Bibliometric Research and Association Rules Analysis. *Journal of Ethnopharmacology*, 252: 112582.
- [14] Triantaphyllou E., Yanase J., Hou F. 2020. Post-Consensus Analysis of Group Decision Making Processes by Means of a Graph Theoretic and an Association Rules Mining Approach. *Omega*, 94: 102208.
- [15] Xu C., Bao J., Wang C., Liu P. 2018. Association Rule Analysis of Factors Contributing to Extraordinarily Severe Traffic Crashes in China. *Journal of Safety Research*, 67: 65-75.
- [16] Li K., Liu L., Wang F., Wang T., Duic N., Shafie-khah M., Catalao J.P.S. 2019. Impact Factors Analysis on the Probability Characterized Effects of Time of Use Demand Response Tariffs using Association Rule Mining Method. *Energy Conversion and Management*, 197: 111891.
- [17] Ciarapica F., Bevilacqua M., Antomarioni S. 2019. An Approach based on Association Rules and Social Network Analysis for Managing Environmental Risk: A Case Study from a Process Industry. *Process Safety and Environmental Protection*, 128: 50-64.
- [18] Silva J., Varela N., Lopez L.A.B., Millan R.H.R. 2019. Association Rules Extraction for Customer Segmentation in the SMEs Sector Using the Apriori Algorithm. *Procedia Computer Science*, 151: 1207-1212.
- [19] Kargarfard F., Sami A., Ebrahimie E. 2015. Knowledge Discovery and Sequence-based Prediction of Pandemic Influenza using an Integrated Classification and Association Rule Mining (CBA) Algorithm. *Journal of Biomedical Informatics*, 57: 181-188.
- [20] Das S., Dutta A., Jalayer M., Bibeka A., Wu L. 2018. Factors Influencing the Patterns of Wrong-Way Driving Crashes on Freeway Exit Ramps and Median Crossovers: Exploration using 'Eclat' Association Rules to Promote Safety. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 7 (2): 114-123.
- [21] Zheng X., Wang S. 2014. Study on the Method of Road Transport Management Information Data Mining based on Pruning Eclat Algorithm and MapReduce. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 138: 757-766.
- [22] Bhandari A., Gupta A., Das D. 2015. Improved Apriori Algorithm Using Frequent Pattern Tree for Real Time Applications in Data Mining. *Procedia Computer Science*, 46: 644-651.
- [23] Pala M., Saygı B. 2004. Gıda Sanayinde Büyük Mağazaların Perakendeci Markalı Ürün Uygulamaları. İTO Istanbul Chamber of Commerce Publications, 73: 15-47.
- [24] Zhao Q., Jin J., Deng X., Wang D. 2017. Considering Environmental Implications of Distribution Channel Choices: A Comparative Study based on Game Theory. *Journal of Cleaner Production*, 167: 1155-1164.

- [25] Biçkes M.D., Kaplan M. 2002. Yeni Tüketici Eğilimleri ve Perakendecilik Sektöründeki Gelişmeler. *Pazarlama Dünyası*, 16 (6): 124-147.
- [26] Erkip F., Ozuduru B.H. 2015. Retail Development in Turkey: An Account After Two Decades of Shopping Malls in the Urban Scene. *Progress in Planning*, 102: 1-33.
- [27] Okumuş A. 2005. İndirimli Mağaza ve Süpermarket Müşterileri Arasındaki Farklılıkların Beklenti ve Memnuniyetlerine göre İncelenmesi. *İstanbul University Business Administration Journal*, 34 (1): 105-133.
- [28] Kaya K., Şenel M.C., Koç E. 2018. Perakende Ticaret Sektörünün Türkiye'deki Genel Durumu. *Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 10 (19): 502-515.
- [29] Öztürk İ. 2006. Türkiye'de Perakende Sektörü. *Çağ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3 (1): 69-81.
- [30] Kompil M., Çelik H.M. 2009. Türkiye'de Batı Tarzı Büyük Ölçekli Tüketim Mekânlarının Gelişimi ve Kentsel Perakende Alanlarının Yasal ve Yapısal Olarak Düzenlenmesi Gayretleri. *Megaron*, 4 (2): 90-100.
- [31] Özdemir E.D., Çırağ K. 2018. Gıda Perakende Sektöründe Yerel Rekabet Dinamiklerinin Değerlendirilmesi: Antalya İli Örneği. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6: 263-270.
- [32] Feng F., Cho J., Pedrycz W., Fujita H., Herawan T. 2016. Soft Set based Association Rule Mining. *Knowledge-Based Systems*, 111: 268-282.
- [33] Telikani A., Shahbhrani A. 2017. Data Sanitization in Association Rule Mining: An Analytical Review. *Expert Systems with Applications*, 000: 1-21.
- [34] Ozyirmidokuz E.K., Uyar K., Ozyirmidokuz M.H. 2015. A Data Mining based Approach to a Firm's Marketing Channel. *Procedia Economics and Finance*, 27: 77-84.
- [35] Morais A., Peixoto H., Coimbra C., Abelha A., Machado J. 2017. Predicting the Need of Neonatal Resuscitation using Data Mining. *Procedia Computer Science*, 113: 571-576.
- [36] Sharma S., Osei-Bryson K.M., Kasper G.M. 2012. Evaluation of an Integrated Knowledge Discovery and Data Mining Process Model. *Expert Systems with Applications*, 39: 11335-11348.
- [37] Khader N., Lashier A., Yoon S.W. 2016. Pharmacy Robotic Dispensing and Planogram Analysis using Association Rule Mining with Prescription Data. *Expert Systems with Applications*, 57: 296-310.
- [38] Liao S.H., Chen J.L., Hsu T.Y. 2009. Ontology-based Data Mining Approach Implemented for Sport Marketing. *Expert Systems with Applications*, 36 (8): 11045-11056.
- [39] Şener A., Barut M., Öztekin A., Avcılar M.Y., Yildirim M.B. 2019. The Role of Information Usage in a Retail Supply Chain: A Causal Data Mining and Analytical Modeling Approach. *Journal of Business Research*, 99: 87-104.
- [40] Chen Y.L., Chen J.M., Tung C.W. 2006. A Data Mining Approach for Retail Knowledge Discovery with Consideration of the Effect of Shelf-Space Adjacency on Sales. *Decision Support Systems*, 42 (3): 1503-1520.
- [41] Zhang L., Zhang L., Teng W., Chen Y. 2013. Based on Information Fusion Technique with Data Mining in the Application of Finance Early-Warning. *Procedia Computer Science*, 17: 695-703.
- [42] Louw H., Marais L. 2018. Mining and Municipal Finance in Kathu, an Open Mining Town in South Africa. *The Extractive Industries and Society*, 5 (3): 278-283.
- [43] Gürbüz F., Turna F. 2018. Rule Extraction for Tram Faults via Data Mining for Safe Transportation. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 116: 568-579.
- [44] Wang T., Li T., Xia Y., Zhang Z., Jin S. 2017. Risk Assessment and Online Forewarning of Oil & Gas Storage and Transportation Facilities Based on Data Mining. *Procedia Computer Science*, 112: 1945-1953.
- [45] Keramati A., Marandi R.J., Aliannejadi M., Ahmadian I., Mozaffari M., Abbasi U. 2014. Improved Churn Prediction in Telecommunication Industry using Data Mining Techniques. *Applied Soft Computing*, 24: 994-1012.
- [46] Mahendrawathi E.R., Astuti H.M., Nastiti A. 2015. Analysis of Customer Fulfilment with Process Mining: A Case Study in a Telecommunication Company. *Procedia Computer Science*, 72: 588-596.

- [47] Ricciardi C., Cantoni V., Improta G., Ippariello L., Latessa I., Cesarelli M., Triassi M., Cuocolo A. 2020. Application of Data Mining in a Cohort of Italian Subjects Undergoing Myocardial Perfusion Imaging at an Academic Medical Center. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 189: 105343.
- [48] Lara J.A., Lizcano D., Perez A., Valente J.P. 2014. A General Framework for Time Series Data Mining Based on Event Analysis: Application to the Medical Domains of Electroencephalography and Stabilometry. *Journal of Biomedical Informatics*, 51: 219-241.
- [49] Fırat M., Dursun Ö.F., Aydoğdu M., Dikbaş F. 2013. Hiyerarşik Olmayan Kümeleme Yöntemi ile Türkiye Akarsularındaki Askı Maddesi Konsantrasyonu ve Miktarının Sınıflandırılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (1): 61-67.
- [50] Kantardzic M. 2011. *Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms*. Second Edition, Institute of Electrical and Electronics Engineers, John Wiley & Sons, Inc.
- [51] Brandao A., Pereira E., Portela F., Santos M.F., Abelha A., Machado J. 2014. Managing Voluntary Interruption of Pregnancy using Data Mining, *Procedia Technology*, 16: 1297–1306.
- [52] Han H.L., Ma H.Y., Yang Y. 2019. Study on the Test Data Fault Mining Technology Based on Decision Tree. *Procedia Computer Science*, 154: 232-237.
- [53] Czajkowski M., Kretowski M. 2019. Decision Tree Underfitting in Mining of Gene Expression Data. An Evolutionary Multi-Test Tree Approach. *Expert Systems with Applications*, 137: 392-404.
- [54] Zhang H., Nguyen H., Bui X.N., Thoi T.N., Bui T.T., Nguyen N., Vu D.A., Mahesh V., Moayedı H. 2020. Developing a Novel Artificial Intelligence Model to Estimate the Capital Cost of Mining Projects using Deep Neural Network-based Ant Colony Optimization Algorithm. *Resources Policy*, 66: 101604.
- [55] Saplıoğlu K., Acar R. 2020. K-Means Kümeleme Algoritması Kullanılarak Oluşturulan Yapay Zekâ Modelleri ile Sediment Taşımının Tespiti. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1): 306-322.
- [56] Guo H., Nguyen H., Vu D.A., Bui X.N. 2019. Forecasting Mining Capital Cost for Open-Pit Mining Projects based on Artificial Neural Network Approach. *Resources Policy*, 101474.
- [57] Carvalho D.R., Freitas A.A. 2004. A Hybrid Decision Tree/Genetic Algorithm Method for Data Mining. *Information Sciences*, 163 (1-3): 13-35.
- [58] Gong C., Su Z.G., Wang P.H., Wang Q. 2020. Cumulative Belief Peaks Evidential K-Nearest Neighbor Clustering. *Knowledge-Based Systems*, 200: 105982.
- [59] Ltifi H., Benmohamed E., Kolski C., Ayed M.B. 2016. Enhanced Visual Data Mining Process for Dynamic Decision-Making. *Knowledge-Based Systems*, 112: 166-181.
- [60] Szalkai B., Grolmusz V.K., Grolmusz V.I. 2017. Identifying Combinatorial Biomarkers by Association Rule Mining in the CAMD Alzheimer's Database. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 73: 300-307.
- [61] Doostan M., Chowdhury B.H. 2017. Power Distribution System Fault Cause Analysis by using Association Rule Mining. *Electric Power Systems Research*, 152: 140-147.
- [62] Marban O., Segovia J., Menasalvas E., Fernandez-Baizan C. 2009. Toward Data Mining Engineering: A Software Engineering Approach. *Information Systems*, 34 (1): 87-107.
- [63] Wang J., Li H., Huang J., Su C. 2016. Association Rules Mining based Analysis of Consequential Alarm Sequences in Chemical Processes. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 41: 178-185.
- [64] Romera J.M.L., Ballesteros M.M., Gutierrez J.G., Riquelme J.C. 2019. External Clustering Validity Index based on Chi-Squared Statistical Test. *Information Sciences*, 487: 1-17.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Homojen Kum Zeminlerde Optimum İyileştirme Derinliğinin Deneysel Olarak Belirlenmesi**

Hüseyin Suha AKSOY<sup>1\*</sup>, Abdullah İÇEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ

<sup>2</sup>Munzur Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tunceli  
(ORCID: 0000-0003-0564-457X) (ORCID: 0000-0002-7721-1186)

---

### **Öz**

Bu çalışmada, taşıma gücü yetersiz zemin üzerine inşa edilecek bir temelin altında yapılacak iyileştirilmenin derinliği deneysel olarak araştırılmıştır. Bir yapının inşa edileceği zeminin özellikleri, o yapıdan gelecek yükleri karşılamaya yeterli değilse bu durumda zemin iyileştirilmesi yapılmaktadır. Zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan jet grout yöntemi ülkemizde de sıklıkla uygulanmaktadır. Zemin iyileştirilmesi yapılırken alttaki sağlam zemin tabakasına kadar iyileştirme yapılmalıdır. Ancak sağlam zemin tabakasının derinde olduğu durumlarda iyileştirilmenin hangi derinliğe kadar yapılacağı sadece elastisite teorisinden hesaplanmış kabullere dayanmaktadır. Zemini elastik ve sıkışmaz olarak kabul eden bu teorilere göre temel altı zeminlerde gerilmeler, temelin genişliğinin (B) 1,5-2,0 katı kadar derinliklere kadar etkili olmaktadır. Zemin iyileştirilmesi yüksek maliyetli bir işlem olduğundan iyileştirme derinliğinin doğru bir şekilde tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır. Yapılan çalışmada, farklı derinliklerde iyileştirilmiş zemine oturan temellerin taşıma gücü deneylerle belirlenmiştir. Taşıma gücü açısından yetersiz zeminleri ve temeli modellemek amacıyla gevşek ve orta sıklıktaki kumlu zemine oturan çelikten imal edilmiş bir sürekli model temel kullanılmıştır. Sürekli temelin altındaki iyileştirilmiş zemin ise beton bloklar kullanılarak modellenmiş ve deneysel sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, taşıma gücü yetersiz, gevşek zeminlerde yapılacak yüzeysel iyileştirilmenin taşıma gücü üzerinde büyük bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ancak iyileştirme derinliği arttıkça taşıma gücündeki artışlar büyük oranlarda olmaktadır. Sıkı zeminlerde ise, yapılacak yüzeysel bir iyileştirilmenin bile oldukça iyi taşıma gücü değerlerine ulaşılmasını sağladığı anlaşılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Zemin İyileştirme, İyileştirme Derinliği, Model Deneyler, Taşıma Gücü, Rölatif Sıklık.

---

## **Experimental Determination of Optimal Improvement Depth in Homogeneous Sand Soils**

---

### **Abstract**

In this study, the depth of the improvement which will be made under a foundation which lies on soft soil is investigated experimentally. If the characteristics of the soil on which a building will be constructed are not sufficient to bear the loads coming from that building, then the ground is improved. Jet grout It is one of the soil improvement methods and is frequently applied in our country. When stabilizing the soil, improvement should generally be made to the underlying stiff soil layer. However, in cases where the solid ground layer is deep, the depth to which the improvement is to be made depends solely on the assumptions made for the solids calculated from the elasticity theory. According to these theories, which consider the ground as elastic and incompressible, the stresses on the subsoil soils are effective up to a depth of 1,5-2,0 times the width (B) of the foundation. Since soil improvement is a costly process, engineers do not make improvements to these depths. In this study, the bearing capacity of the foundations which are improved at different depths was determined experimentally. In order to model the soft soils and foundations in terms of bearing capacity, a continuous steel model foundation resting on loose and medium-firm sandy ground was used. The improved soil under the continuous foundation was modeled by using concrete blocks and experimental results were obtained. It was determined that the superficial improvement to be made on loose soils with insufficient bearing capacity had no significant effect on bearing capacity. However, as the depth of improvement increases, the increase in bearing capacity increases to a

---

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

Geliş Tarihi: 16.07.2019, Kabul Tarihi: 05.12.2019

great extent. It is understood that even a superficial improvement to be made on hard soils provides very good bearing capacity values.

**Keywords:** Soil Improvement, Improvement Depth, Model Experiments, Bearing Capacity, Relative density.

## 1. Giriş

Temeller yapı yüklerini zemine aktaran elemanlardır [1]. Yapılacak olan temel, üst yapı yüklerinden gelen gerilmeleri karşılayabilmelidir. Temelin şekline ve boyutlarına üst yapı yüklerine ve zeminin cinsine göre karar verilmektedir. Genel olarak temeller yüzeysel ve derin temeller olarak iki ana başlıkta incelenmektedir. Yüzeysel temeller sürekli, tekil, şerit, radye olarak derin temeller ise kazık, kutu ve keson temel olarak ayrılmaktadırlar. Ancak günümüzde ekonomi ve güvenlik gibi sebeplerle, yüzeysel temel olarak şerit ve radye temeller, derin temel olarak da kazık temeller kullanılmaktadır.

Yapı tasarlanırken kullanılacak temel tipi için yapının ağırlığı, yer altı suyunun konumu, zeminin özellikleri, ana kayanın derinliği vb. faktörler göz önüne alınmaktadır. Ekonomik nedenlerden ötürü yüzeysel temeller ilk seçenek olarak değerlendirilmektedir. Eğer zemin, gelecek olan yapı yüklerini taşımaya elverişli değilse derin temel yapılması seçeneği değerlendirilmektedir. Derin temellerin daha az tercih edilmesinin en büyük nedeni yüksek maliyet ve iş gücü gerektirmesidir.

Bir temelin taşıma gücü, bulunduğu zeminin özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. Bunun yanında gömme derinliği, binadan etkileyen momentler ve yükleme hızı gibi birçok diğer parametre de temelin taşıma gücünü etkilemektedir. Bu nedenle temelin oturduğu zeminin iyi incelenmesi, gerekli önlemlerin alınması ve oluşabilecek olumsuz şartlar göz önünde bulundurulup, önceden önlemler alınarak tasarımın yapılması gereklidir. Toplam oturmaların ve temeldeki farklı oturmaların izin verilen sınırlar içinde kalmasına özen gösterilmelidir. Bir yapı ve temeli çeşitli afetlere karşı ayakta durabiliyorsa, ancak o zaman başarılı bir tasarım ve uygulama yapıldığı düşünülebilir [2].

Temel, üst yapıdan gelen yükleri zemine güvenli bir şekilde aktarmalıdır. Temeli taşıyan zemin bu temelin göçme ihtimaline karşı belirli güvenlikle inşa edilir. Bu güvenlik kriterini tanımlamak için zeminde bir güvenlik sayısı belirlenir. Verilen güvenlik sayısı sayesinde temel, kayma göçmesine ve oturmalara karşı yeterli emniyeti sağlamalıdır.

### 1.1. Jet Grout Yöntemi

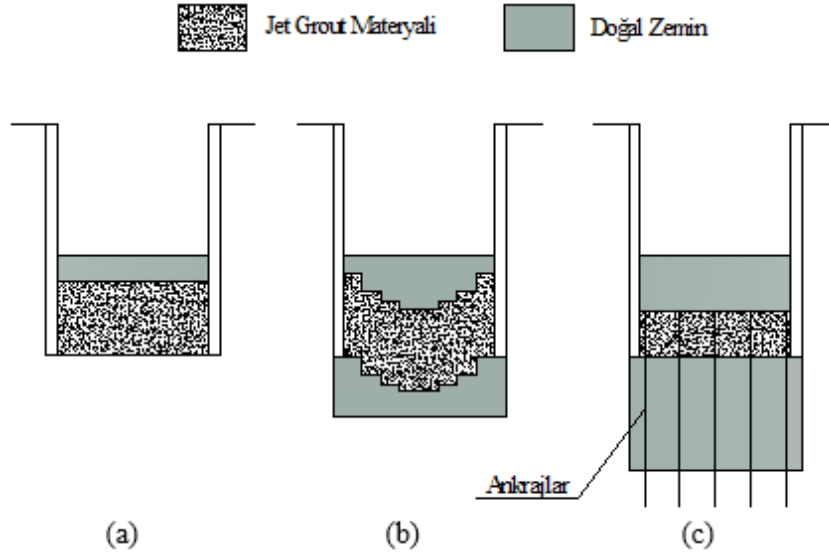
Zemin iyileştirme yöntemlerinden biri olan jet grout ülkemizde de hem hızlı olması hem de jet grout kolonlarında yüksek dayanım (kum ve çakıl için >15MPa) elde edilmesi [3] nedeniyle sıklıkla kullanılmaktadır. Jet grout diğer adıyla jet enjeksiyonu zemine, yer yer çimento şerbeti enjekte edip taşlaştırarak taşıma gücü yetersiz zeminin mukavemetinin artırılmasına dayalı bir tekniktir. Bu teknikte zeminin iyileştirilmesi ve üst yapıdan gelen yüklerin daha sağlam bir tabakaya aktarılması amaçlanmaktadır. Genel olarak jet grout, delme ve püskürtme aşaması olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Ayrıca jet grout yöntemi enjekte edilen akışkana göre tek, çift ve üç akışkanlı olarak adlandırılmaktadır. Özellikle sağlam zemin tabakasının derinde olduğu durumlarda, kazıklı temeller yerine jet grout yöntemi sıklıkla tercih edilmektedir. Bu iyileştirme işlemi sonucunda zeminin elastisite modülü ve taşıma gücü artarken geçirgenliği azalır. Jet grout kolonu zemine yüksek basınçta enjekte edilen su ve çimento karışımının zemini iterek genişletmesi sonucu oluşturulur. Su-çimento karışımı yüksek hızda zemine enjekte edilerek zemini yırtıp ve genişletir ve soilcrete adı verilen zemin çimento karışımını oluşturur [4].

Jet grout yönteminde özellikle kıyı ve liman yapılarında plug (tıpa) adı verilen bir uygulama yapılır. Bu uygulama için kolonlar çok sıkı şekilde aralarında hiç boşluk olmayacak şekilde imal edilir. Bu sayede inşa edilecek olan yapının altında yüksek dayanımlı bir blok imal edilmiş olur. Zeminin mukavemeti ciddi derecede artış gösterir ve geçirimsizlik sağlanır (Şekil 1).

Yaptıkları model deneylerde granüler dolgu tabakası serilerek güçlendirilen yumuşak killi zemine oturan sürekli temelin taşıma gücündeki değişimleri teorik olarak gözlemleyen Madhav ve Vitkar; Maksimum taşıma gücü değerinin elde edileceği, en küçük dolgu derinliğinin 2,5B–3,0B (B: Temelin kısa kenarı) arasında olduğunu öne sürmüşlerdir [5].

Das vd. Geogrid donatı ile güçlendirilmiş kum ve doygun killi zeminde şerit temel kullanarak deneyler yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada optimum toplam donatı derinliği, optimum ilk donatı

derinliği ve genişliği karşılaştırılmıştır. Kumlarda toplam donatı derinliği  $2B$ , killerde ise  $1,75B$  derinliğe kadar etkili olduğunu gözlemlemişlerdir. Maksimum taşıma gücünün elde edildiği ilk donatı derinliği ise kumlarda  $0,30 B$ , killerde  $0,40B$  olarak bulunmuştur [6].



Şekil 1. Jet grout tıpası örnekleri: (a) ağırlık; (b) ters kemer; (c) ankrajlı [7]

Yetimoglu ve diğerleri, yaptıkları çalışmada, geogridle güçlendirilmiş kumlu zemine oturan bir dikdörtgen temelin performansı laboratuvar ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Yapılan araştırmalarda ilk tabakanın derinliği, iyileştirilen tabaka sayısı ve yerleştirilen geogrid uzunluğunun taşıma gücüne etkisi incelenmiştir.  $70\text{cm} \times 70\text{cm}$  boyutlarında  $100\text{cm}$  derinliğindeki tank  $100\text{kN}$  kapasiteli hidrolik krika ile yüklenmiştir.  $0,076\text{-}2\text{mm}$  aralığındaki kumlu zemin  $\%70\text{-}73$  sıklıkta tanka yerleştirilerek, temel göçene kadar yüklemeye devam edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda ilk tabakanın derinliği, iyileştirilen tabaka sayısı ve yerleştirilen geogridin uzunluğunun temelin taşıma gücüne büyük etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Tek tabaka olarak serilen geogrid için optimum derinlik  $0,3B$ , çok tabakalı yerleştirme durumunda yaklaşık olarak  $0,25B$  ve geogrid boşluklarının  $0,2B$  ile  $0,4B$  arasında olmasının ideal olduğu belirlenmiştir.  $1,5B$ 'ye kadar taşıma gücünde artış görülmüştür bu derinlikten sonra, artış azalmıştır. Bu sebeple etkili iyileştirme derinliği  $1,5B$  olarak belirlenmiştir[8].

Kum zemin içine donatı yerleştirip farklı boyutlardaki ( $30, 46, 61, 91\text{cm}$ ) kare temellerin donatılı zemindeki taşıma güçlerini inceleyen Adams ve Collin [9]. Parametre olarak donatılar arası mesafe, donatı tabakasını boyu, tabaka sayısı ve zeminin sıklığı seçmiştir. Bu bulgular sonucunda donatı tabaka sayısı ( $N$ ) 1 ile 3 arasında seçilmiş olup en yüksek taşıma gücüne 3 tabakalı donatı serilmesi durumunda ulaşılmıştır.

Latha ve Somwanshi, Yaptıkları çalışmada iyileştirilmiş zemine oturan kare bir temelin taşıma gücünü geosentetiklerin çekme dayanımı, sayısı, yerleşme düzeni ve tabaka sayısı gibi faktörleri değiştirerek bu değişimlerin taşıma gücüne etkisini incelemiştir. Deneyler için zemin  $\%70$  sıklıkta hazırlanmış olup kumlu zemin kullanılmıştır. Deneyler için dayanımı zayıftan güçlüye olacak şekilde 4 farklı geogrid kullanılmıştır. Yapılan deneysel ve nümerik çalışmalar sonucunda efektif iyileştirme derinliğinin temel tabanından itibaren  $2B$  derinlik olduğu belirlenmiştir [10].

Yıldırım ve Yıldız, yaptıkları deneylerde killi bir zeminde geogrid kullanılarak yapılan dolgu ile iyileştirmenin etkisi model deneyleri ile incelemişlerdir. Deney için  $60\text{cm}$  çapında rijit dairesel çelik model temel kullanılmıştır. Kil zemin üzerine farklı yüksekliklerde yerleştirilen stabilize dolgu ve belli bir  $H$  yüksekliğinde stabilize dolgu içerisine yerleştirilen tek sıra ve iki sıra geogridin, kil zeminin taşıma gücüne etkisi ve oturma davranışına etkisi incelenmiştir. Deneylerde  $H$  stabilize yapılacak dolgu derinliği olmak üzere  $H$ , temelin çapı ( $D$ ) ile orantılı olacak şekilde değiştirilmiş ve yüklemeler yapılmıştır. Geogrid donatılı stabilize dolgu tabakası için  $2,2 \times 2,2\text{m}$  boyutunda bir alan kullanılmıştır. Deneylerde, dolgu ve donatı nedeniyle oluşan stabilizasyonun yorumlanması sırasında taşıma gücü değeri olarak, temel çapının  $\%5$ 'ine karşılık gelen oturmanın olduğu gerilme değerleri alınmıştır. Stabilize dolgu tabakası ( $H=4/6.D$ ) içerisine, tek tabaka geogridin  $u=1/6.D$  derinliğinde yerleştirilmesi

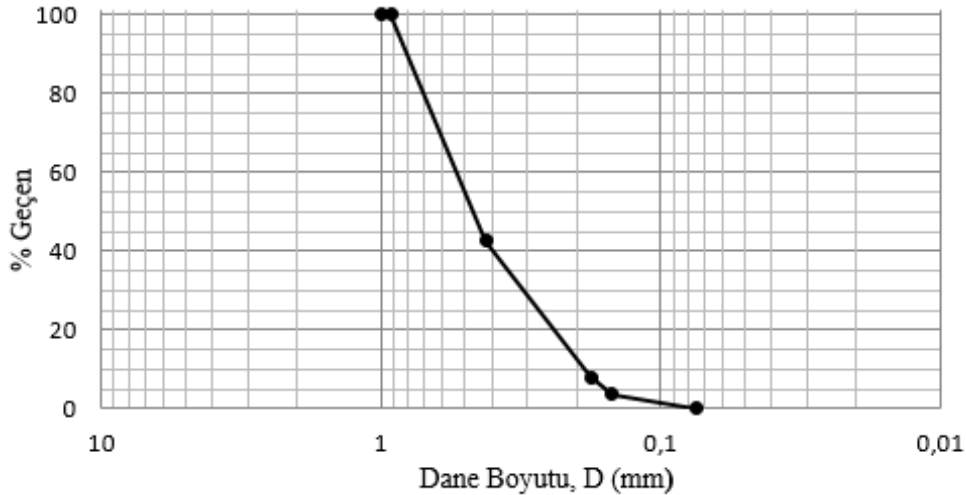
durumunda, kil zeminin taşıma kapasitesinde %67 artış meydana gelmiştir. Stabilize dolgu tabakası ( $H=4/6.D$ ) içerisinde, geogrid donatı derinlikleri  $u_1=1/6.D$  ve  $u_2=3/6.D$  iki tabaka geogrid donatı yerleştirilmesi ile, kil zeminin taşıma kapasitesinde %74 artış meydana gelmiştir. İki tabaka geogrid donatı kullanılması durumunda, kil zeminin oturması, yaklaşık %75 azalmıştır [11].

Bağrıaçık yaptığı çalışmada, şerit bir temel ( $B=10,0$  cm) altında, donatı ile güçlendirilmiş zeminlerdeki optimum ilk donatı tabakasının derinliği, deneysel olarak belirlenmiştir. Geogrid donatı, çeşitli derinliklere ( $U=2/20B$ ,  $U=3/20B$ ,  $U=4/20B$ ,  $U=5/20B$ ,  $U=6/20B$ ,  $U=7/20B$  ve  $U=8/20B$ ) yerleştirilerek  $Z=2$  B derinlikte meydana gelen gerilme değerleri ölçülmüştür. Zemin,  $\gamma_k=15,03$  kN/m<sup>3</sup> olacak şekilde yerleştirilmiştir. Deneyler sonucunda, temel tabanından farklı derinliklere ( $U=2/20B$ ,  $U=3/20B$ ,  $U=4/20B$ ,  $U=5/20B$ ,  $U=6/20B$ ,  $U=7/20B$  ve  $U=8/20B$ ) donatı tabakası yerleştirilmesi halinde, donatısız duruma göre yaklaşık %10,7, %27,2, %30,4, %38,2, %51,7, %52,9 ve %53,6 oranlarında ek gerilme düşüşleri oluşmuştur. Bu bulgular sonucunda  $U/B=6/20$ 'ye kadar  $\sigma/q$  oranlarında azalmalar meydana geldiği,  $U/B=6/20$ 'den daha derinde bu azalmaların sabit olduğu görülmüştür. Temel merkezinden itibaren donatı tabakasının derinliği arttıkça, gerilme değerlerinin ( $\sigma/q$ ), belirli bir donatı tabakası derinliğine kadar azaldığı ( $U/B=6/20$ ), bu derinlikten sonra ise önemli bir azalmanın meydana gelmediği belirlenmiştir. Buna bağlı olarak ise ilk donatı tabakasının optimum derinliği, şerit temel genişliğinin 0,30 katı ( $U/B=6/20$ ) olarak belirlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar ışığında optimum iyileştirme derinliği kare temel için 0,40B dairesel temel için 0,35D ve sürekli temel için 0,30B olarak belirlenmiştir [12]. Bunların yanı sıra birçok araştırmacı geogridle güçlendirilmiş kare temel altındaki zemin üstünde çeşitli parametreleri değiştirerek model deneyler yapmışlardır [13-17].

Daha önce yapılmış çalışmalar incelendiğinde genellikle kare temeller üzerine model deneylerin yapıldığı, özellikle şerit temeller ile ilgili çalışmaların fazla sayıda olmadığı görülmüştür. Ayrıca yapılan iyileştirme araştırmalarının neredeyse hepsinde zemin, geogrid, geotekstil gibi donatılarla iyileştirilmiştir. Jetgrout ile yapılan iyileştirmelerin laboratuvarında modellenmesini amaçlayan araştırmalar literatürde yok denecek kadar azdır.

## 2. Materyal ve Metot

Yapılan deneylerde, Elazığ ili Murat Nehri yatağında kurulan kum ocağından temin edilen kum kullanılmıştır. Deneyde kullanılan kumun granülometrisi Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Yapılmış deneylerde kullanılan kum zeminin dane dağılım grafiği

Zemin iyileştirmesi için yapılan deneylerde kullanılan zeminin parametrelerini belirlemek için, rölatif sıklık ASTM C128-15 [18], özgül ağırlık ASTM D854-14 [19] ve elek analizi ASTM D422-02 [20] standartlarına uygun şekilde yapılan deneyler sonucunda bu zeminin endeks özellikleri elde edilmiştir ve Tablo 1'de gösterilmiştir. Yukarıda verilen rölatif sıklıkta hazırlanmış kum numuneler üzerinde ASTM D3080 / D3080M-11 [21] standardına uygun olarak kesme kutusu deneyleri yapılmıştır. Kesme kutusu deneyleri sonucunda her bir sıklıktaki numuneler için içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) değerleri belirlenmiştir. Yapılan sıkıştırma deneylerinin sonuçları Tablo 2'de görülmektedir.



**Tablo 1** Deneyleerde kullanılan kum zeminin endeks özellikleri

Dane Birim Hacim Ağırlığı, $G_s$	2,77
$D_{10}$ (mm)	0.18
$D_{50}$ (mm)	0,45
Maksimum – Minimum Dane Boyutu, $D_{max}-D_{min}$ (mm)	1 - 0,074
Maksimum Kuru Birim Hac. Ağ. ( $kN/m^3$ )	17,5
Minimum Kuru Birim Hac. Ağ. ( $kN/m^3$ )	14,3
Minimum Boşluk Oranı, $e_{min}$	0,553
Maksimum Boşluk Oranı, $e_{max}$	0,903
Su Muhtevası (Laboratuvar ortamında) (%)	1,02

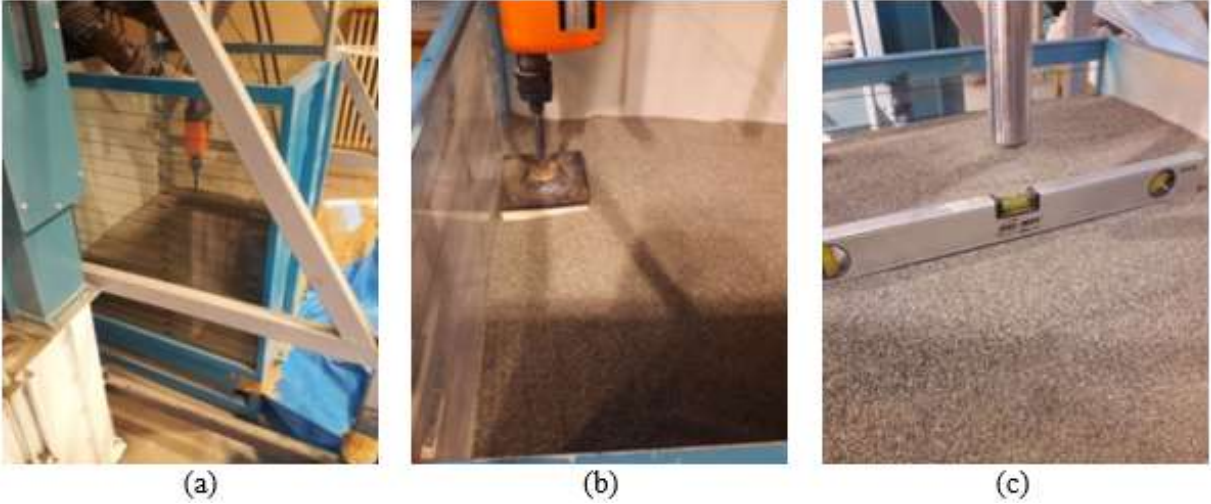
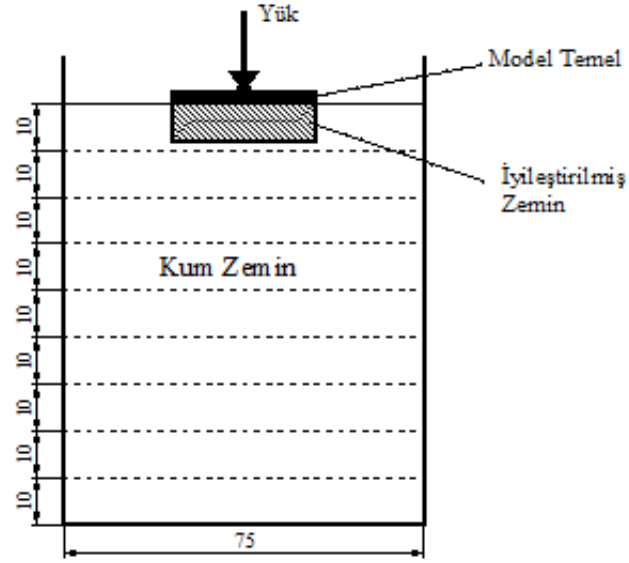
**Tablo 2.** Kum malzemesinin relatif sıklık ve sıkıştırma yöntemi arasındaki ilişkileri

Sıkıştırma Yöntemi	Ortalama Kuru Birim Hac. Ağ. ( $\gamma_{korr}$ ), ( $kN/m^3$ )	Boşluk Oranı (e)	Rölatif Sıklık ( $D_r$ , %)	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )
10cm yükseklikten kuru yağmurlama	14,83	0,868	10	36
20cm yükseklikten kuru yağmurlama	15,11	0,833	20	41
30cm den yağmurlama sonrasında el kompaktörü ile 1sn vibrasyon uygulanması	15,71	0,763	40	48

Deneyleer için gerekli olan temel boyutları sınır etkisini minimuma indirecek şekilde seçilmiştir. Önceden yapılan hesaplamalar ve deneme deneyleeri sonucunda 75x75x100cm boyutlarındaki tank için kullanılması uygun olan temel boyutları 6x30cm ( $L= 5B$ ) olarak seçilmiş [22], bu durumda tankın çeperlerinde meydana getirdiği gerilmenin minimum olduğu yapılan teorik hesaplarla görülmüştür. Deneyle sisteminin şematik gösterimi Şekil 3’de verilmiştir.

Yükleme tankı yağmurlama yapılarak kum zemin ile doldurulmuştur (Şekil 4a. ve 4b.). Daha sonra zeminin yüzeyi düzeltilerek (Şekil4c.) önce iyileştirilmiş zemini temsil eden beton blok ve ardından 6cm genişliğinde 30cm uzunluğundaki sürekli temel, kum zeminin yüzeyine yerleştirilmiştir (Şekil 5a ve b). Temel, zemine paralel şekilde oturtulduktan sonra iki ucuna oturmaları ölçmek için deplasman ölçerler (LVDT) yerleştirilmiştir. Hidrolik yükleme ünitesi yardımıyla yüklemeler yapılmıştır. Yükler ve deplasmanlar bilgisayara Testbox 1001 marka data logger yardımıyla kaydedilerek alınan veriler incelenmiş ve grafikler yardımıyla temellerin taşıma gücü bulunmuştur.

Zeminin iyileştirilmiş durumunun temsili için temelin altında rijit bir tabaka oluşturulmaya çalışılmıştır. Kullanılan zemine çimento eklenerek 10 MPa dayanımında elde edilen 6cm genişliğinde 30cm uzunluğunda ve 2cm, 4cm, 8cm yüksekliğinde beton bloklar dökülerek zeminin altına konulmuştur. İyileştirilmemiş zeminler üzerinde yapılan deneylelerden sonra temelin altına bu beton bloklar yerleştirilerek elde edilen oturma-yük grafiğinden taşıma güçleri belirlenmiştir. Tankın içerisindeki zemin belirli bir yüksekliğe kadar doldurulmuş, daha sonra 2, 4 ve 8cm yüksekliğindeki beton bloklar temelin altına gelecek şekilde yerleştirilerek yüklemeler tamamlanmıştır. Şekil 4 a.’da zeminin içine yerleştirilen çelik model temel ve beton blok görülmektedir.



Şekil 4. (a-b) Deney takında istenilen sıklığın elde edilmesi için kompaktör uygulanması c) Su terazisi kullanılarak temelin oturacağı yüzeyin kontrol edilmesi



Şekil 5. a) Zemin yüzeyi düzleştirildikten sonra yerleştirilen beton blok b) Şerit temel

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada yapılan model deneylerinin sonuçları incelendiğinde iyileştirme yapılması taşıma gücünü tüm deneylerde arttırmıştır. Fakat yapılan iyileştirme sonucunda elde edilen taşıma gücünün iyileştirilme yapılmamış duruma oranı olarak tanımlanan taşıma kapasitesi oranının (TKO) doğrusal olarak artmadığı gözlemlenmiştir. Taşıma kapasitelerinin ve TKO'larının değişimleri Tablo 3'de görülmektedir.

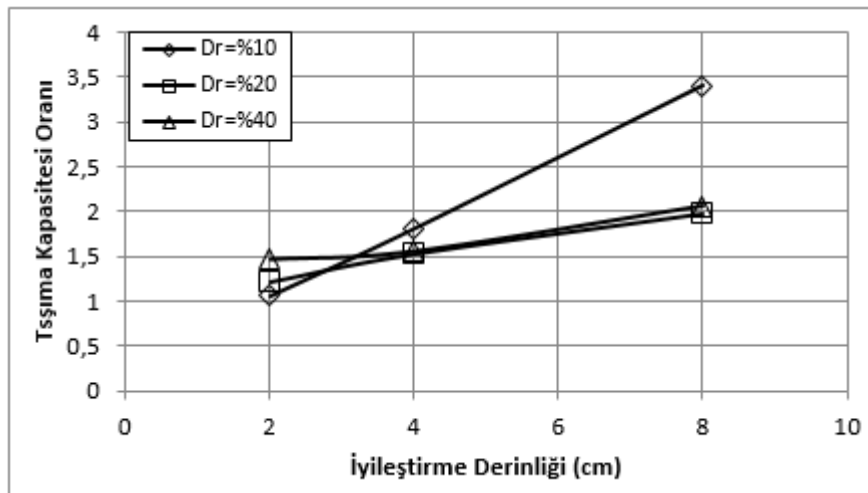
**Tablo 3.** Taşıma güçleri ve taşıma kapasitesi oranlarının sıklıkla değişimi

İyileştirme Derinliği	%10 Sıklık		%20 Sıklık		%40 Sıklık	
	Taşıma Gücü (kN)	TKO	Taşıma Gücü (kN)	TKO	Taşıma Gücü (kN)	TKO
0	0,47		1,29		5,90	
B/3	0,50	1,06	1,57	1,22	8,7	1,47
2 B/3	0,85	1,81	1,97	1,53	9,20	1,56
4 B/3	1,60	3,40	2,55	1,98	12,17	2,06

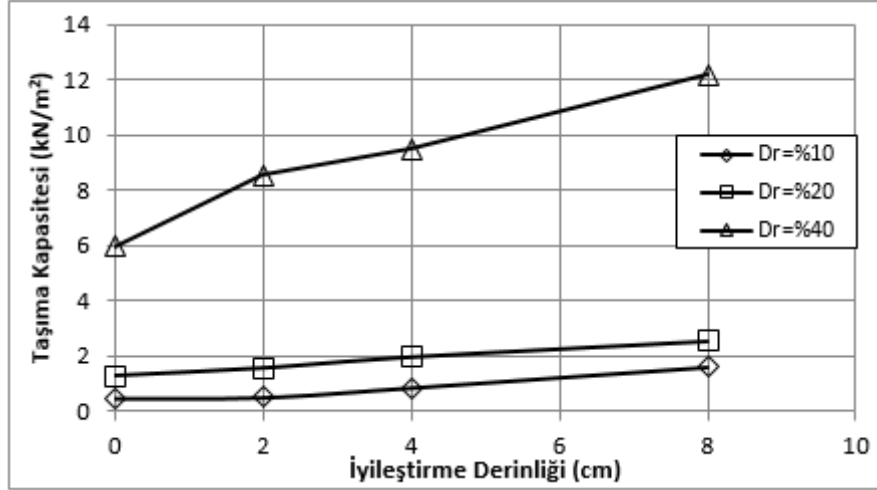
Dr=%10 olan zeminde B/3 derinliğinde yapılan iyileştirmenin çok bir etkisinin olmadığı (%6 artış) görülmektedir. Ancak iyileştirme derinliği arttıkça TKO'nun geometrik olarak arttığı ve 4B/3 iyileştirme derinliğinde %240 artışa neden olduğu belirlenmiştir. Dr=%20 olan zeminde B/3 derinliğinde yapılan iyileştirmenin taşıma gücünde %22 artışa sebep olurken 4B/3 iyileştirme derinliğinde %98 artışa neden olduğu belirlenmiştir. Dr=%40 olan zeminde ise B/3 derinliğinde yapılan iyileştirmenin taşıma gücünde %47 artışa sebep olurken 4B/3 iyileştirme derinliğinde %106 artışa neden olduğu belirlenmiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi gevşek zeminlerde yüzeysel iyileştirmenin taşıma kapasitesine büyük bir katkısı olmamaktadır. Daha sıkı zeminlerde ise yapılacak yüzeysel bir iyileştirmenin bile oldukça iyi taşıma gücü değerlerine ulaşılmasını sağladığı anlaşılmaktadır. Ancak bu zeminlerde iyileştirme derinliğinin artması TKO'nunda büyük artışlara sebep olmamaktadır. Dr=%40 zeminde yüzeysel (B/3) iyileştirme %47 artışa neden olurken iyileştirme derinliğinin 4 kat artması taşıma gücünü ancak 2 kat artmasına sebep olmuştur. Oysaki gevşek zeminde (Dr=%10) bu artış 3.4 kat olmuştur. Taşıma güçlerindeki değişimler Şekil 6. de görülmektedir.

B/3 derinlikte (2cm) iyileştirme yapılması durumunda, TKO'nun sıklıkla arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte iyileştirilen tabakanın derinliği arttırıldıkça taşıma kapasitesi oranında büyük bir artışın olmadığı görülmektedir, 2B/3(4cm) ve 4B/3(8cm) derinliklerde yapılan iyileştirmenin en etkili olduğu sıklık %10'dur. Şekil 7.'daki grafik incelendiğinde, genel olarak her sıklık için iyileştirme derinliği arttıkça taşıma kapasitesi artmıştır.



**Şekil 6.** Taşıma kapasitesi oranının iyileştirme derinliği ile değişimi



Şekil 7. Taşıma kapasitesinin iyileştirme derinliği ile değişimi

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, taşıma gücü yetersiz zemin üzerine inşa edilecek bir temelin altında yapılacak iyileştirilmenin derinliği, laboratuvarında model deneyleri yapılarak araştırılmıştır. Deney sonuçlarından da görüleceği (Şekil 6 ve 7) gibi taşıma gücü yetersiz, gevşek zeminlerde yapılacak yüzeysel iyileştirmenin taşıma gücü üzerinde büyük bir etkisinin olmayacağı anlaşılmaktadır. Ancak iyileştirme derinliği arttıķça taşıma gücündeki artışlar büyük oranlarda olmaktadır. Sıkı zeminlerde ise yapılacak yüzeysel bir iyileştirmenin bile oldukça iyi taşıma gücü değerlerine ulaşılmasını sağladığı anlaşılmaktadır. Ancak bu zeminlerde iyileştirme derinliğinin artması taşıma kapasitesi oranında büyük artışlara sebep olmamaktadır. Yine sıkı zeminlerde iyileştirme derinliği arttıķça taşıma gücü artmakta ancak artış oranları daha sınırlı olmaktadır. Çok gevşek zeminlerde, yetersiz iyileştirmenin taşıma gücünde önemli bir artışa neden olmadığı belirlenmiştir. Sıkı zeminlerde inceleme derinliğinin 4 kat artması taşıma gücünü 2 kat artırırken, gevşek zeminlerde inceleme derinliğinin 4 kat artması taşıma gücünü 3,4 kat artmasına neden olmuştur. Bu nedenle zemin iyileştirmesinin taşıma gücü yetersiz zeminlerde daha makul bir çözüm olduğu anlaşılmaktadır.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmaya her iki yazar da eşit oranda katkı sunmuştur.

#### ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] Uzuner B.A. 2007. Temel Zemin Mekaniği. Derya Kitabevi, 485s, Trabzon.
- [2] inicioğlu S.F. 2005. Zeminlerde statik ve dinamik yükler altında taşıma gücü anlayışı ve hesabı. İMO Seminer, 19-20 şubat, İstanbul, pp.1-25.
- [3] Baumann V. 1984. Das soilcrete-verfahren in der baupraxis. Vortrage der Baugrundtagung, 13-15 September, Dusseldorf, pp.49-83.
- [4] Toğrol E. 1998. Jet-Grout Kolonların Yapımında Kalite Denetimi. 7. Ulusal Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Kongresi, 22-23 Ekim, İstanbul, pp. 393-402.

- [5] Madhav M.R., Vitkar P.P. 1978. Strip Footing on Weak Clay Stabilized with a Granuler Trench or Pile. *Canadian Geotechnical Journal*, 15 (4): 605-609.
- [6] Das B.M., Shin E.C., Omar M.T. 1994. The Bearing Capacity of Surface Strip Foundations on Geogrid Reinforced Sand and Clay. *Geotech. and Geological Eng.*, 12 (1): 1-14.
- [7] Modoni G., Flora A., Lirer S., Ochmański M., Croce P. 2016. Design of jet grouted excavation bottom plugs. *Journal of Geotech. and Geoenvir. Engineering*, 142 (7): 04016018.
- [8] Yetimoglu T., Wu J.T., Saglamer A. 1994. Bearing capacity of rectangular footings on geogrid-reinforced sand. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120 (12): 2083-2099.
- [9] Adams M.T., Collin J.G. 1997. Large Model Spread Footing Load Tests on Geosynthetic Reinforced Soil Foundation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng.*, 123 (1): 66-72.
- [10] Latha G.M., Somwanshi A. 2009. Bearing capacity of square footings on geosynthetic reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 27 (4): 281-294.
- [11] Yıldırım D., Yıldız A. 2010. Geogrid Donatılı Stabilize Dolgu Tabakası İle Kil Zeminlerin İyileştirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22 (2): 29-38.
- [12] Bağrıaçık B. 2016. Donatı Tabakasının Optimum Derinliğinin Farklı Temel Şekilleri için Değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (2): 187-194.
- [13] Akinmusura J.O., Akinbolade J.A. 1981, Stability of Loaded Footings on Reinforced Soil. *ASCE Journal of Geotechnical Engineering Division* 107 (6): 819-827.
- [14] Saglamer A., Duzceer R., Gokalp A., Yilmaz E. 2001. Recent applications of jet grouting for soil improvement in Turkey. *Proceedings of the International Conference on Soil Mechanics And Geotechnical Engineering*, 27-31 August, Istanbul, pp. 1839-1842.
- [15] Patra C.R., Mandal J.N., Das M.B. 2005. Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundation on Geogrid-Reinforced Sand. *Proceedings of the 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotech. Eng.*, 12-15 September, Osaka, Japan, pp.12-16.
- [16] Deb K., Dey A., Chandra S. 2007. Modeling of Layered Soil System. *1st Indian Young Geotechnical Engineers Conference*, 11-23 September, Hyderabad, India, pp. 50-55.
- [17] Kumar A., Ohri L.M., Bansal K.R. 2007, Bearing Capacity Tests of Strip Footings on Reinforced Layered Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 25 (2): 139-150.
- [18] ASTM C128-15. 2015. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. *American Society of Testing and Materials ASTM*.
- [19] ASTM D854-14. 2014. Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer. *American Society of Testing and Materials ASTM*.
- [20] ASTM D422-02. 2006. Standard Test Method for Particle Size-Analysis of Soils. *American Society of Testing and Materials ASTM*.
- [21] ASTM D3080/D3080M-11. 2011. Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. *American Society of Testing and Materials ASTM*.
- [22] Önalp A., Sert S. 2016. *Geoteknik Bilgisi III – Bina Temelleri*. Birsen Yayınevi, 375s. İstanbul.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Dizel Motorlarda EGR Gazlarının Soğutulmasında Harici Elektronik Kontrollü Soğutma Stratejisinin BSFC ve NO<sub>x</sub> Emisyonlarına Etkisi**

Halil İbrahim AKOLAŞ<sup>1\*</sup>, Alırıza KALELİ<sup>2</sup>, Kadir BAKIRCI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Bitlis

<sup>2</sup>Samsun Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Samsun

<sup>3</sup>Atatürk Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Erzurum

(ORCID:0000-0002-3153-8044) (ORCID:0000-0002-3234-5922) (ORCID:0000-0001-5447-4955)

---

### **Öz**

Dizel motorlar insan ve çevre sağlığı açısından zararları etkileri olan azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve partikül madde (PM) yayarlar. Dizel motorlarda NO<sub>x</sub> salınımını düşürmek için kullanılan etkin ve yerleşik sistemlerden biri egzoz gaz resirkülasyon (EGR) sistemidir. Bu deneysel çalışmada, EGR sisteminin NO<sub>x</sub> ve fren özgül yakıt tüketimi (BSFC) üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışmada emme manifolduna giren EGR gaz sıcaklıkları ile EGR oranları birlikte ele alınmıştır. Deneyler kararlı durum çalışma koşullarında, 1700 d/d, 2000 d/d'da, %5, %10, %15 EGR oranlarında, yüklü ve yüksüz koşullarda yapılmıştır. EGR gaz sıcaklıklarının etkin bir şekilde kontrol edilebilmesi için EGR soğutucusu, motor ana soğutma sisteminden ayrılmıştır. Radyatör, elektrikli su pompası, elektrikli fan, sıcaklık sensörleri ve kontrolcüden oluşan harici elektronik kontrollü bir soğutma sistemi tasarlanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda eş zamanlı olarak, %15 EGR ve 75°C'de optimum NO<sub>x</sub> ve BSFC değerlerinin elde edildiği görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Dizel motor, NO<sub>x</sub>, EGR soğutucu, BSFC.

---

## **The Effect of External Electronically Controlled Cooling Strategy in Diesel Engines on BSFC and NO<sub>x</sub> Emissions in EGR Gas Cooling**

---

### **Abstract**

Diesel engines emit nitrogen oxide (NO<sub>x</sub>) and particulate matter (PM), which have harmful effects on human and environmental health. Exhaust gas recirculation (EGR) system is one of the efficient and built-in systems used to reduce NO<sub>x</sub> emissions in diesel engines. In this experimental study, the effects of EGR system on NO<sub>x</sub> and brake specific fuel consumption (BSFC) were investigated. In this study, EGR gas temperatures entering the intake manifold and EGR ratios are discussed together. The experiments were carried out under steady-state operating conditions, at 1700 rpm, 2000 rpm, 5%, 10%, 15% EGR ratio, under load and no load conditions. The EGR cooler is disconnected from the engine main cooling system to effectively control EGR gas temperatures. An external electronically controlled cooling system consisting of radiator, electric water pump, electric fan, temperature sensors and controller is designed. As a result of the experiments carried out, it was observed that optimum NO<sub>x</sub> and BSFC values were obtained simultaneously at 15% EGR and 75°C.

**Keywords:** Diesel engine, NO<sub>x</sub>, EGR cooler, BSFC.

---

### **1. Giriş**

Modern dünyamızda hızla artan nüfus, gelişen bilim ve teknoloji içten yanmalı motorlu taşıtların kullanımı giderek artırmaktadır. Özellikle dizel motorlu taşıtların düşük yakıt tüketimi ve yüksek verimlerinden dolayı karayollarında ulaşım, taşıma ve yardımcı güç gereksinimlerini karşılama amaçlı kullanımları giderek artmaktadır. Motorlu taşıtların yoğun kullanımı atmosferde sera gazı olarak bilinen karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) miktarındaki artışa ve bu artışın sonucu olarak “Küresel Isınma” ve “İklim

---

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

Geliş Tarihi: 08.09.2019, Kabul Tarihi: 06.05.2020

Değişikliği” gibi canlı yaşamı tehdit eden çok ciddi çevre sorunlarına sebep olmaktadır [1]. Motorlu taşıt emisyon düzenlemelerinin giderek katılaşmasına paralel olarak, dizel motorların birincil emisyonları olan azot oksit ( $\text{NO}_x$ ) ve partikül madde (PM) gibi zararlı kirleticilerin azaltılması için uluslararası bir çaba gösterilmektedir [2]. Dizel motor yakıtının kimyasal yapısının sağlamış olduğu yüksek sıkıştırma oranı nedeniyle fakir karışımla çalışırlar [3]. Yüksek sıkıştırma oranı sayesinde kendiliğinden tutuşma sıcaklığına ulaşırlar ve bu nedenle benzinli motorlara kıyasla daha yüksek bir termik verime sahiptirler [4, 5]. Dizel motorlar atmosfere, benzin motorlara oranla daha az hidrokarbon (HC) ve karbon monoksit (CO) yaymalarına karşılık daha fazla  $\text{NO}_x$  ve PM yayarlar. Dolayısı ile bu motorlarda egzoz emisyon değerlerinin azaltılması her zaman başarılması gereken bir hedef olarak görülmüştür [6]. Taşıt emisyon değerleri, çevresel sorunların azaltılması ve doğal yaşamın korunması adına yasalarla giderek kısıtlanmaktadır.

Benzinli ve dizel motorlar farklı yanma stratejileri altında çalıştılarından dolayı her iki motor farklı emisyon seviyeleri yayar ve bu motorlarda farklı emisyon azaltma yöntemleri kullanılır. Sıkıştırma ateşlemeli motorların egzoz gazındaki  $\text{NO}_x$  miktarını azaltmaya yönelik silindir içi yanma stratejileri olan; pilot enjeksiyon, egzoz gaz resirkülasyonu (EGR), su buharı yöntemlerinin yanı sıra yanma sonrası egzoz hattında son işlem olarak; seçici katalitik indirgeme (SCR), dizel partikül filtresi (DPF), dizel oksidasyon katalizörü (DOC), fakir  $\text{NO}_x$  tuzağı (LNT)) ve son olarak yakıtla bağlantılı emisyonları azaltma stratejileri veya bunların değişen kombinasyonları uygulanmaktadır. Bahsi geçen bu yöntemlerden EGR, dizel motorlarda  $\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltmada maliyeti ve faydası göz önüne alındığında etkili, yerleşik yöntemlerin başında gelmektedir [2, 7, 8]. Bu yöntemde  $\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltmak adına egzoz gazı tekrardan emme manifolduna yönlendirilerek temiz hava ile birlikte yanma işlemine tabi tutulur. EGR gazlarının yoğunluğu  $\text{CO}_2$  ve su buharından ( $\text{H}_2\text{O}$ ) oluşması, ateşleme gecikmesinde bir artışa ve yanma başlangıcında bir uzamaya neden olur. EGR'nin dizel motorlarda uygulanması, emme dolgusunun hem bileşenlerinin ( $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$  ilavesi ile) hem de fiziksel koşullarının (sıcaklık, yoğunluk) değişimine neden olur. Bu değişiklikler yanma işlemi ve sonuç olarak egzoz emisyonlarını etkiler [9]. Pek çok araştırma, dizel motorlarda EGR'nin  $\text{NO}_x$  emisyonlarını azaltmada oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, yakıt tüketimi ve diğer emisyonları da artırmaktadır. Ancak bu artış enjeksiyon parametrelerini optimize ederek, gaz hareketini iyileştirerek ve gerekirse DPF eklenerek kabul edilebilir seviyelere düşürülebilir [7]. EGR sistemi sayesinde silindir içi sıcaklığın düşürülmesi motor servis ömrünün uzamasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca EGR sayesinde dizel motorlar daha az miktarda toksik madde oluştururlar [10]. Bu olumlu taraflarının aksine fazla miktarda EGR, emme dolgusunun sıcaklığını, duman oluşumunu ve partikül madde miktarını artırmaktadır [11]. Aynı şekilde egzoz gazında bulunan sülfürik tuzlar, piston segmanı ve silindir gömlekleri gibi mekanik parçaların aşınmasına ve çürümesine neden olabilmektedir [5, 12].

EGR sistemine sahip motorlarda sıcak egzoz gazları, emme dolgusu sıcaklığını artırır. Bu durum hacimsel verimin kötüleşmesine ve silindir içi yanma sürecinin bozulmasına sebep olur. Bu süreçte yanma odası içerisindeki bu bozulmanın  $\text{NO}_x$  oluşumundaki negatif etkilerini azaltmak için egzoz gazlarının emme dolgusu ile karışmadan önce soğutulması gerekir. EGR gazlarının soğutulması genellikle motor soğutma sistemi ile bağlantı olan bir ısı değiştiriciden geçirilerek soğutulur.

Klasik motor soğutma sisteminde devir daim pompasının, motor devir sayısı ile bağlantılı olması, taşıt motorunda enerji kayıplarına neden olmakta ve EGR gazların sıcaklığı olması gereken değerlerden uzaklaşmaktadır. Bu nedenle klasik motor soğutma sistemleri bu sıcaklık ayarlamasına imkân tanımaz. Dolayısıyla harici ve kontrol edilebilir bir soğutma sistemi sayesinde EGR soğutucudan çıkan egzoz gazlarının sıcaklığı istenen seviyelerde tutulabilir.

Bu çalışmada motor ana soğutma sisteminden bağımsız, motor hızına ve termostatik valfe bağlı olmayan, gelişmiş bir termal yönetim sistemi ile kontrolü sağlayan bir elektronik kontrollü harici soğutma sistemi devreye entegre edilmiştir. Bu sistem ayrı bir radyatör, elektrikli su pompası, elektrikli fan, sıcaklık sensörü ve elektronik kontrolcüden ibarettir. Bu yöntem sayesinde daha hassas sıcaklık ayarlama noktaları tespit edilebilir ve daha optimum  $\text{NO}_x$  emisyon oluşumlarına imkân tanınabilir.

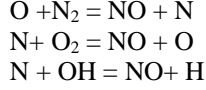
## 1.2. $\text{NO}_x$ Oluşum Mekanizması

$\text{NO}_2$ , etkin bir kokuya sahip olup koyu renkli bir gazdır. Düşük dozlarda bile akciğere, dokulara ve mukoza zarına zarar verir. Kimyasal bir yapısı olan bu gazın işletme ortamında etkisiz olduğu ve müsaade edilen azami konsantrasyon değeri  $9 \text{ mg/m}^3$ 'tür [13].  $\text{NO}_x$  silindir içerisinde sıcaklığın yüksek

olduğu bölgelerde, özellikle kıvılcımın (alevin) oluştuğu bölge gerisinde meydana gelen bir kimyasal reaksiyon ürünleridir. Dizel yakıtın sıkıştırma basıncı etkisi altında hava ile yanmaya tabi tutulması neticesinde aşağıdaki kimyasal denklemdaki ürünler atmosfere salınır.

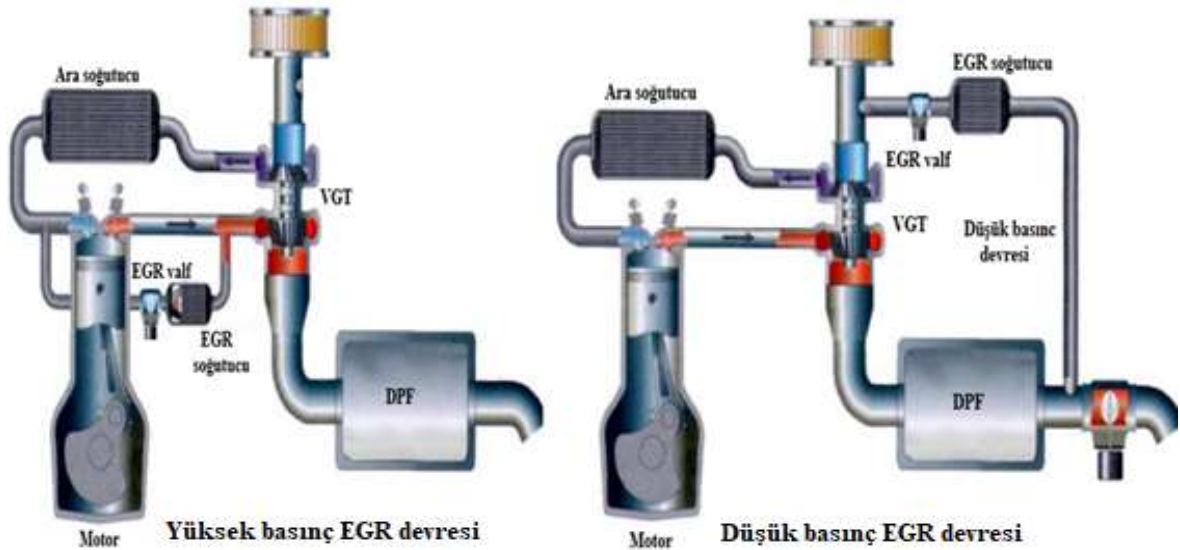


Yukarıda bahsedildiği üzere yanma odası içerisindeki bu kimyasal reaksiyon ile oluşan bozulma ve NO<sub>x</sub> emisyonları, genişletilmiş Zeldovich mekanizması ile açıklanabilir [13]. NO<sub>x</sub> oluşumunu başlatan ana reaksiyon iyonları aşağıdaki gibidir [10].



### 1.3. Egzoz Gaz Resirkülasyon (EGR) Sistemi

Modern dizel motorların imalat-bakım masraflarındaki düşüş ve motor verimlerinin fazla olması sebebiyle dizel motorların kullanımı benzinli motorlara göre daha çok tercih sebebi olmuştur. Fakat dizel motordan kaynaklı NO<sub>x</sub> ve PM emisyonlarının atmosfere salınımları, benzinli motorlara oranla daha yüksektir. Bu yüzden, motorun verimliliğini bozmadan emisyonları düşüren sistemlere ihtiyaç vardır. Bu sistemlerden biri olan Egzoz Gaz Resirkülasyon (EGR) sistemi, NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmak için etkin ve geçerli bir sistemdir. EGR sisteminde arzu edilen oranda egzoz gazı, çevrim esnasında tekrardan emme manifolduna gönderilir. Bu yöntemin uygulanması dizel motorun yanma sürecini ısı, kimyasal ve seyreltme olarak farklı şekillerde etkiler [14]. Egzoz gazlarının büyük kısmı nem (H<sub>2</sub>O) ve karbondioksit den (CO<sub>2</sub>) meydana geldiği için emme dolgusu içerisindeki O<sub>2</sub> miktarı, EGR gaz ilavesi ile düşürülür. Oksijen miktarındaki bu düşüş silindir içerisinde yanma sıcaklığının düşmesine ve bunun sonucu olarak NO<sub>x</sub> salınımlarında bir azalmaya neden olur. Egzoz gazlarının bir diğer etkisi ise, egzoz gazlarının havaya nispeten daha fazla özgül ısıya sahip olmalarıdır. O<sub>2</sub> ile reaksiyona giren azot moleküllerinin azalması nedeniyle yanma sıcaklığındaki düşüş NO<sub>x</sub> oluşumunda bir azalmaya neden olurken EGR sistemine sahip olmayan bir motora göre daha fazla duman (PM ve yanmamış HC) üretimine sebep olmaktadır [15]. EGR'li dizel motorlar üzerinde NO<sub>x</sub> salınımlarını azaltmak adına kararlı durum çalışma koşullarında pek çok deneysel çalışma gerçekleştirilmiş ve bu çalışmalar EGR uygulamasının NO<sub>x</sub> salınımlarında yaklaşık %50 azalma, PM miktarında ise %100 artışa sebep olduğu görülmüştür [16, 17]. Şekil 1'de dizel motorlarda en sık kullanılan EGR sistem türleri görülmektedir.



Şekil 1. Yaygın olarak kullanılan egzoz gaz resirkülasyon sistemleri [15]

EGR sisteminin kullanılması; kurum emisyonları (PM emisyonlarının önemli bir parçası olan ve yanma odası sıcaklığına bağlı olan yanmamış HC) açısından EGR'siz motorlardan daha çok



hidrokarbon (%20-30) ve daha düşük oranda egzoz gazı yayarlar. Çünkü arzu edilen miktarda egzoz gazının (EGR oranı miktarınca) tekrardan emme manifolduna yönlendirilmesinden kaynaklanır. Emme dolgusu sıcaklığındaki yükselme, daha kısa tutuşma gecikmesine sebep olur ve ısı verimi artırabilir [18]. EGR gaz miktarındaki artış emme havası sıcaklığının artmasına sebep olurken oksijen konsantrasyonlarında bir düşüşe (Termal kısılma) sebep olur. Bu durum, PM artışına neden olur [11]. EGR gazları direk silindir içine gönderilirse sıcak EGR, bir ısı değiştiricide soğutulmuş silindirlere gönderiliyorsa soğutulmuş EGR olarak adlandırılırlar [5].

EGR uygulaması  $NO_x$  emisyonlarını azaltırken PM artışına neden olur. Bu durum EGR'li motorların kronik sorunlardan biridir. Dolayısı ile motor performansında kayıp olmadan  $NO_x$  ile PM arasında bir denge olması gerekir. EGR gazları, emme dolgusu sıcaklığında artışa sebep olması; hacimsel verimi, yanma sürecini ve  $NO_x$  oluşumunu olumsuz yönde etkileyeceğinden, EGR gazları emme dolgusu ile karışmadan önce soğutulmalıdır. Emme dolgusu sıcaklığındaki azalma yakıt tasarrufunu korurken optimum  $NO_x$  elde etmeye büyük katkı sağlar. Mevcut dizel motorlar; EGR soğutucu etkinliğini optimum seviyelere ayarlanmasına izin vermez. Çünkü klasik EGR sisteminde egzoz gazları, motor ana soğutma sistemi tarafından soğutulur. Bu durum soğutucu akışkanın motor hızına ve termostatik valfe bağlı olarak çalıştığından soğutucu akışkan debisinin kontrolüne izin vermez [19].

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. EGR Oranı ve Hesaplanması

Literatürde emme dolgusuyla karışacak EGR oranı hesaplamalarında, devir daim edilen egzoz gazının kütlelerinin, silindire dolan toplam emme dolgusunun kütlelerine oranıyla hesaplanır Eş. (1). En yaygın olarak kütle bazlı ve gaz konsantrasyon bazlı olmak üzere iki matematiksel tanım kullanılmaktadır [20]. Bu çalışmada gaz konsantrasyon bazlı yaklaşım tercih edilmiştir.

$$(\%) EGR = \frac{M_{EGR}}{M_i} \times 100 \quad (1)$$

Burada (%) EGR oranı,  $M_{EGR}$  emme dolgusuna yönlendirilen EGR gazlarının kütlelerini,  $M_i$  ise toplam silindire giren emme dolgusunun kütlelerini ifade etmektedir. Emme dolgusu, dikkate alınmayacak miktarda  $CO_2$  içerirken, egzoz manifoldunda ise kayda değer oranda  $CO_2$  bulunur. Bundan dolayı, egzoz ( $CO_{2\_egzoz}$ ) ve emme manifolduna yönlendirilen egzoz gazındaki karbondioksit ( $CO_{2\_EGR}$ ) konsantrasyonlarının ölçülmesi, EGR oranının hesaplanmasında tercih edilen bir yoldur [21]. Emme ve egzoz manifoldlarındaki karbondioksit miktarlarını ölçmek için NonDispersive InfraRed (NDIR) sensörler kullanılır ve (%) EGR oranı Eş. (2) deki gibi hesaplanmıştır [22-24].

$$(\%) EGR = \left[ \frac{CO_{2\_EGR} - CO_{2\_atm}}{CO_{2\_egzoz} - CO_{2\_atm}} \right] * 100 \quad (2)$$

Geleneksel olarak evrensel egzoz gazı oksijen sensörleri (UEGO) genellikle hava-yakıt oranı (AFR) ve hava fazlalık katsayısı ( $\lambda$ ) ölçümleri için motorlarda kullanılmaktadır. UEGO sensörleri 80 ms gibi hızlı tepki süresine sahip olmaları sebebiyle dizel motorlarda da kullanılmaktadır. Bu sensörler ile (%) EGR oranının hesaplanması Eş. (3) de verilmiştir [25]. Bu deneysel çalışmada EGR oranının hesaplanmasında emme ve egzoz manifoldlarında iki adet Bosch marka LSU 4.9 geniş band UEGO sensörleri kullanılmıştır.

$$EGR = \frac{O_{2\_atm} - O_{2\_emme}}{O_{2\_atm} - O_{2\_egzoz}} \quad (3)$$

$O_{2\_emme}$ , emme dolgusundaki,  $O_{2\_egzoz}$  egzozdaki ve  $O_{2\_atm}$  ise ortamdaki oksijen miktarlarını temsil etmektedir. UEGO sensörleri aracılığı ile oksijen miktarlarının hesaplanmasında Bosch'un teknik dokümanlarından alınan Eş. (4) deki formül ile hesaplanmıştır.

$$xO_2 = \frac{3*(\lambda-1)}{(1+3*K*\lambda)} \quad (4)$$

Burada  $xO_2$  oksijen yüzdesini,  $\lambda$  lambda,  $K$  ise kalibrasyon katsayısı olup serbest hava oksijen konsantrasyonuna bağlıdır ve 4.76 ya da 4.77 olarak hesaplanmaktadır. Geniş bantlı bir sensör, fazla oksijen moleküllerini etkisizleştirmek için düşük bir pompa akımı ile sağlanan küçük bir gaz ölçüm haznesine (difüzyon odası) sahiptir. Bu şekilde, pompa akımı örneklenen gazdaki doğrudan oksijen yüzdesidir. UEGO sensörünün çıkışı (pompa akım voltajı) LabVIEW modülüne bağlanır. Ölçülen pompa voltajı Eş. (5) kullanılarak pompa akımına dönüştürülür ve ayrıca Bosch sensör el kitabından arama tablosu kullanılarak (%) oksijene dönüştürülür.

$$I_p = \frac{V_A - 1.5}{496} \quad (5)$$

Burada  $I_p$ ,  $A$ 'da ki pompa akımını,  $V_A$  ise pompa voltajını ifade etmektedir. Okunan Oksijen konsantrasyonları eş zamanlı olarak LabVIEW programında yukarıda verilen Eş. (3) ile EGR oranı hesaplanmıştır.

## 2.2. Deneysel Kurulum

Bu deneysel çalışmada; dört zamanlı Ford marka 92 kW, 2.2 TDCİ dizel motoru kullanılmış olup, Tablo 1'de teknik özellikleri verilmiştir. Ayrıca egzoz emisyon ölçümünde kullanılan Bosch marka BEA 270 emisyon cihazının ölçüm aralığı ve hassasiyeti Tablo 2'de verilmiştir.  $NO_x$  emisyon ölçümlerinde National Instruments firmasına ait NI 9755 Powertrain Controls CompactRIO  $NO_x$  sensör modülü kullanılmıştır. Bunun dışında, yakıt tüketimi ölçümünde Kistler DFL3X-5 bar yakıt akış ölçer, egzoz gazlarının ve soğutucu akışkanın; EGR soğutucu eşanjör giriş ve çıkışındaki sıcaklık değişimleri K tipi termokupullar ile ölçülmüştür. Motor soğutma suyu sıcaklığı, motor devri, yakıt basıncı, emme manifold basıncı, emme havası sıcaklığı ve hava akış miktarı (MAF) ölçümleri on-board diagnostics (OBD II) üzerinden okunarak veri toplama ve kontrol ünitesine iletilmiştir. Tüm ölçümler ve kontrol sinyalleri bilgisayarda LabVIEW ortamında hazırlanan kodlarla gerçekleştirilmiş ve eş zamanlı alan programlanabilir kapı dizisi (FPGA) şasisi üzerinden koşturulmuştur. Deneysel çalışmalar Erzurum Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon biriminin destekleriyle, Atatürk Üniversitesi makine mühendisliği bölümü enerji laboratuvarı şartlarında gerçekleştirilmiştir.

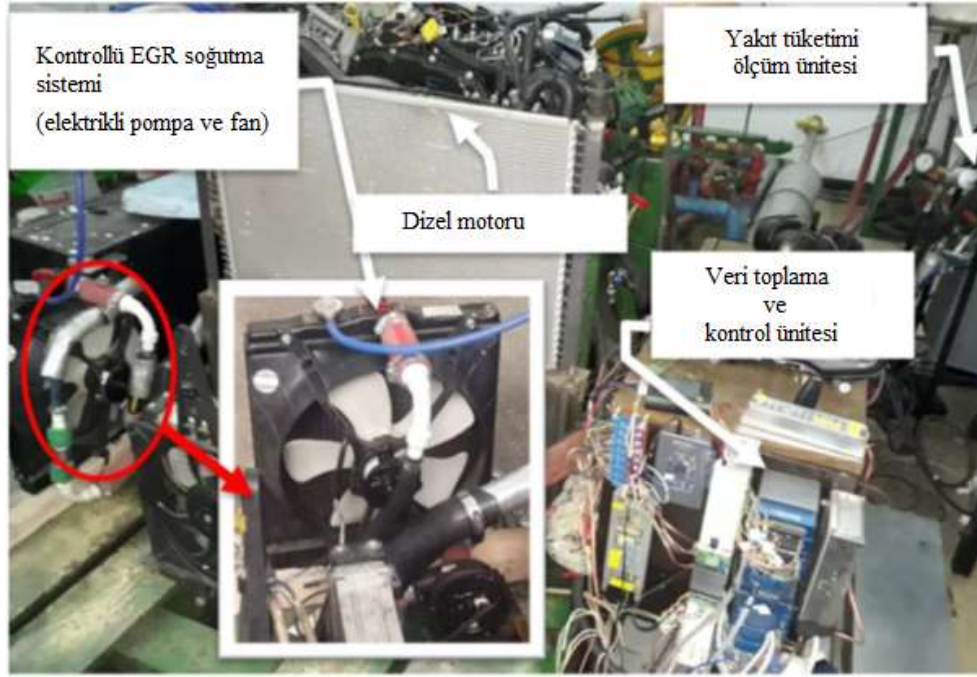
**Tablo 1.** Bosch BEA 270 emisyon cihazı ile ölçülen gazlar, ölçüm aralığı ve hassasiyeti

Bileşenler	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0,000 – 10,00 % Hacim	0,001 % Hacim
CO2	0,00 – 18,00 % Hacim	0,01 % Hacim
HC	0 – 9,999 ppm Hacim	1 ppm Hacim
O2	0,00 – 22,00 % Hacim	0,01 % Hacim
Lambda	0,500 – 9,999	0,001
NO	0 – 5000 ppm Hacim	$\leq 1$ ppm Hacim

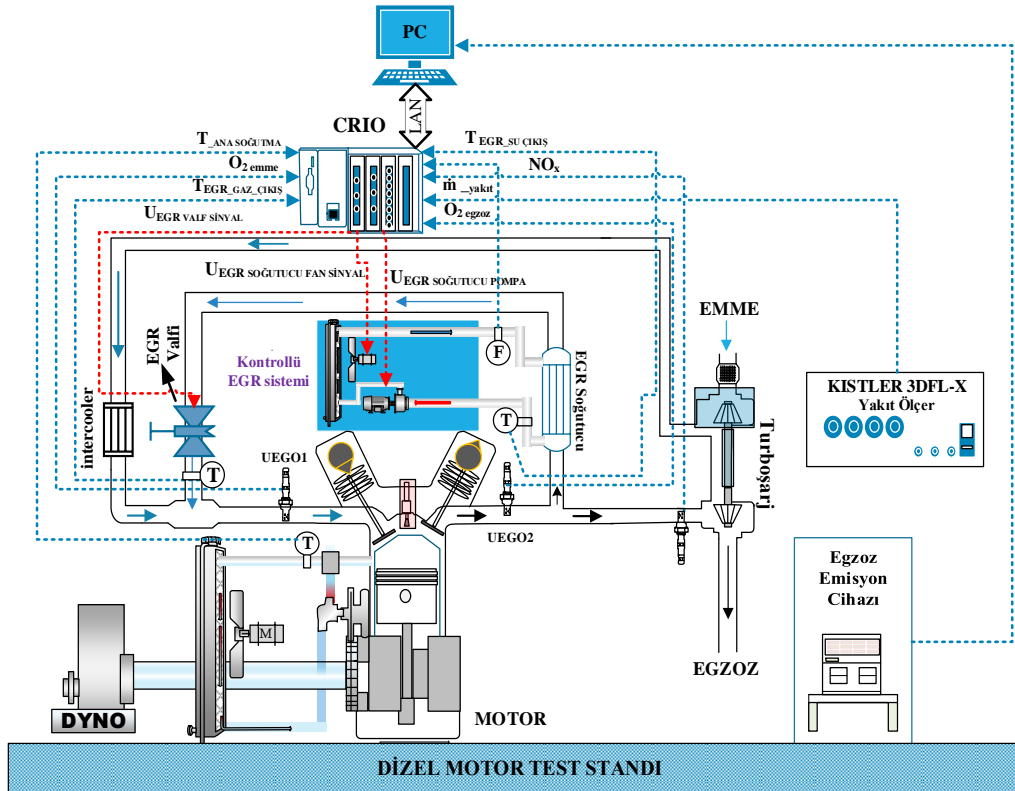
**Tablo 2.** Deney motorunun teknik özellikleri

Motor	FORD PUMA
Silindir sayısı	4
Turboşarjlı	EGR (High pressure)
Maksimum güç/devir (kW/(d/d))	92/3500
Maksimum tork/devir (Nm/(d/d))	350/(1450-2000)
Toplam silindir hacmi	2198.1 cc
Kurs boyu	94.6 mm
Piston çapı	86 mm
Sıkıştırma oranı	15.5:1

Gerçek motor deney düzeneği Şekil 2'de, deneysel düzeneğin şematik görüntüsü ise Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 2. Gerçek motor deney düzeneği



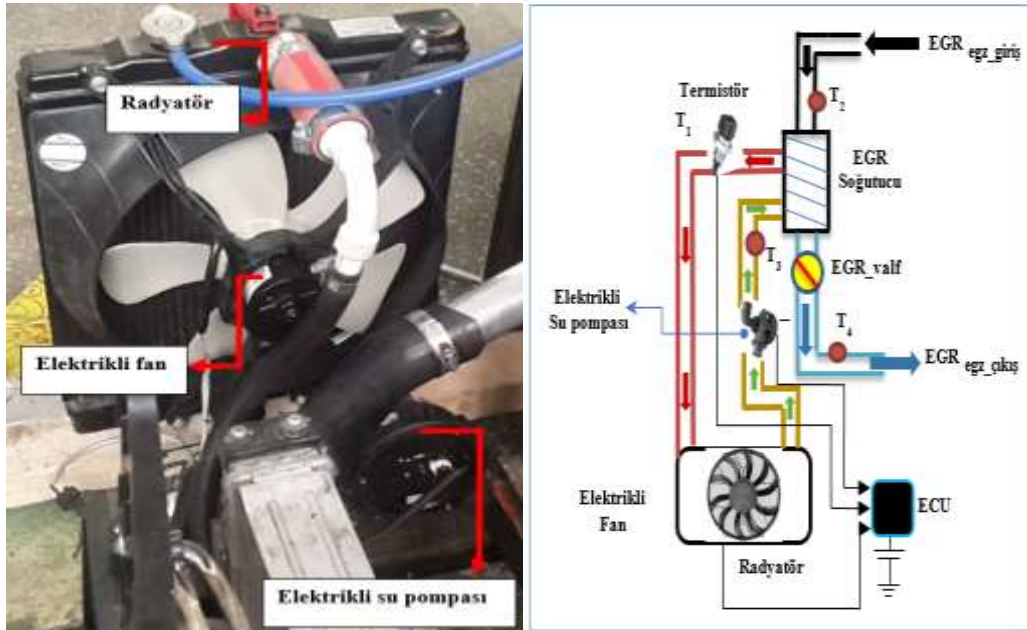
Şekil 3. Gerçek motor deney düzeneğinin şematik görünümü

### 2.3. Harici Elektronik Kontrollü EGR Soğutma Sistemi

Motor yükü, EGR verimliliğini etkileyen faktörlerden biridir. Yüksek yüklerde, soğutulmuş EGR istenir. Çünkü EGR kütlesini arttırmak giriş dolgusu sıcaklığını daha da düşürür ve EGR gaz yoğunluğunu artırır. Bununla birlikte, düşük yüklerde, daha yüksek bir EGR oranı kararsız yanmaya neden olabilir. Fakat daha yüksek EGR giriş sıcaklığı yanmayı dengeleyeceğinden, düşük yüklerde daha yüksek EGR sıcaklığı istenir. EGR sisteminde EGR gaz sıcaklıklarını optimum NO<sub>x</sub> emisyonu elde

edebilmek için deneysel düzende EGR gazlarının soğutulması, motor ana soğutma sisteminden ayrılmıştır. Klasik bir motor soğutma sistemi, mekanik su pompası, soğutma fanı, radyatör ve mum tipi termostat olmak üzere dört ana bileşene sahiptir. Bu bileşenler çeşitli motor sürüş koşullarından bağımsız değildir [26].

Klasik motor soğutma sistemlerinin verimliliği motorun çalışma devrine bağlı olduklarından mekanik su pompası, termostat ve fan tepkilerinde bir takım zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, termal yönetim sisteminin esnek bir şekilde kontrol edilmesi, mevcut soğutma teknolojisi ile büyük zorluklar yaşamaktadır. Teknolojik alandaki gelişmeler sayesinde elektronik kontrollü pompalar ve aktüatörler önemli ölçüde geliştirilmiştir [27]. Bu nedenle, klasik soğutma sistemlerindeki aksaklıklar, mekanik olarak tahrik edilen sistemin elektronik olarak kontrol edilebilir olanlarıyla değiştirilmesi sayesinde daha verimli hale gelebilir. Bu deneysel çalışmada EGR'nin soğutulması için, harici kapalı döngüde çalışan elektronik kontrollü bir soğutma sistemi tasarlanmıştır. Bu sistemde kontrol edilen çıkış değişkeninin ölçülmesi ( $NO_x$ ) geri beslenerek istenilen EGR gaz giriş sıcaklığı ile karşılaştırıldığı kapalı devre kontrol sistemidir. Sistemin çıkışı, istenilen çıkış değerini karşılayacak biçimde giriş büyüklüğü ile ayarlanabilen klasik oransal (Proportional) integral (Integral) (PI) kontrol yapısına sahiptir. Tasarlanan bu sistem, EGR gazının sıcaklığını kontrol edebilmek için 12 DC volt elektrik motorlu su pompası (EWP), 12 DC volt fırçasız elektrik motorlu fan, radyatör, NTC tip sıcaklık sensörü ve elektronik kontrolcüden oluşmaktadır (bk. Şekil 4). Elektronik kontrolcü sistem, elektrik motorlu su pompasını, hedeflenen EGR gaz sıcaklığını korumak için tam olarak doğru akış hızında çalıştıracak gerilimle besleyen bir mikroişlemciye sahiptir. Optimum  $NO_x$  salınımı ve en uygun EGR gaz çıkış sıcaklığında tutabilmek için sistem dışardan ayarlanabilmektedir.



Şekil 4. Harici elektronik kontrollü EGR Soğutma sistemi ve şematik görünümü

Tasarlanan EGR devresinde bulunan pompa ve fan gibi elektromekanik bileşenlerin denetlenmesi klasik PI kontrol yapısı ile gerçekleştirilmiştir. EGR soğutma sisteminde akışkan pompası ve fan için üretilen kontrol işaretleri kompakt formda aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$[N_{pump}, N_{Cooling fan}] = (K_p e + K_I \int e dt) + u_0(N_{pump,0}, N_{Cooling fan,0}) \quad (6)$$

Burada  $K_p$  ve  $K_I$  sırasıyla oransal ve integral pozitif kazanç sabitleridir.  $u_0$  ise kontrol edilen parametrelerin başlangıç giriş değerleridir. Bu çalışmada  $K_p$  ve  $K_I$  oransal ve integral optimal kazanç değerlerinin belirlenmesinde "Pattern search" optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmada referans değerinin izlenme hatası amaç fonksiyonu olarak tanımlandı ve denetleyici parametrelerinin optimal değerleri için 100 tekrarlanma gerçekleştirildi. Deneyler motorun kararlı çalışma koşullarında irasıyla 1700 d/d ve 2000 d/d da yüklü (60-70 Nm) ve yüksüz (20-30 Nm) koşullarda yapılmıştır.

Motorun tüm bu çalışma koşullarında EGR oranları %5, %10 ve %15 olarak ayarlanmıştır. Her devir için %EGR oranları ve EGR soğutucu akışkan çıkış sıcaklıkları dikkate alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Elektronik kontrollü EGR soğutma sisteminde soğutucu akışkan ( $H_2O$ ) çıkış sıcaklıkları en düşük  $40^\circ C$ , en yüksek  $100^\circ C$  arasında  $10^\circ C$  artımlarla EGR gazlarının sıcaklık değişimlerini ve buna bağlı olarak  $NO_x$  ve BSFC değerleri analiz edilmiştir. Tablo 3’de harici elektronik kontrollü EGR soğutma sistemi deney koşulları verilmiştir.

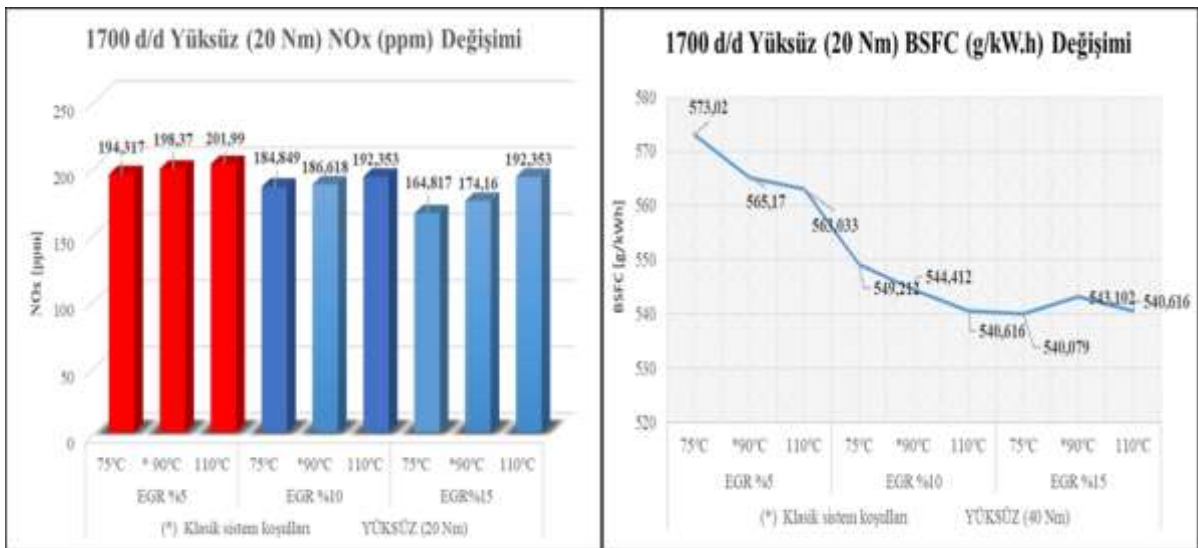
**Tablo 3.** Harici elektronik kontrollü EGR soğutma sistemi deney koşulları

Motor devri (d/d)	Yüklü/yüksüz koşullar (Nm)	EGR Oranı (%)	EGR Su çıkış ( $^\circ C$ )	EGR Egzoz çıkış ( $^\circ C$ )
1700 $\pm$ 50	20 $\pm$ 2 (Yüksüz durum) 60 $\pm$ 2 (Yüklü durum)	%5-10-15 $\pm$ 1	40-50-60-70-80-90-100	75-90-110 $\pm$ 5
2000 $\pm$ 50	30 $\pm$ 2 (Yüksüz durum) 70 $\pm$ 2 (Yüklü durum)	%5-10-15 $\pm$ 1	40-50-60-70-80-90-100	75-90-110 $\pm$ 5

### 3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan deneysel çalışmada; kararlı durum ve belirtilen yük şartlarında alınan  $NO_x$  ve BSFC değerleri, 1700 d/d ve 2000 d/d için analiz edilmiştir. Analizler sırasında dizel motoru ile Tablo 2’de belirtilen şartlar dikkate alınarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Egzoz gazlarının içeriğindeki  $H_2O$  ve  $CO_2$ ’nin silindire yönlendirilmesi silindir içerisinde seyreltme, kimyasal, termal etkilerinin yanında ateşleme gecikmesine de neden olmaktadır. Yanma odası içerisinde oksijen konsantrasyonunda ki azalma silindir içi yanma sıcaklığında bir düşmeye sebep olmaktadır.  $NO_x$  emisyonlarındaki değişim silindir içi sıcaklığa bağlı olarak değiştiklerinden,  $NO_x$  emisyonu sıcaklığın bir fonksiyonudur. Ayrıca yüksek motor devirlerinde, yakıt ve havanın daha iyi karışması nedeniyle yanma süreci gelişir. Yanma sürecindeki bu iyileşme püskürtülen yakıtın buharlaşmasını daha da kolaylaştırır.

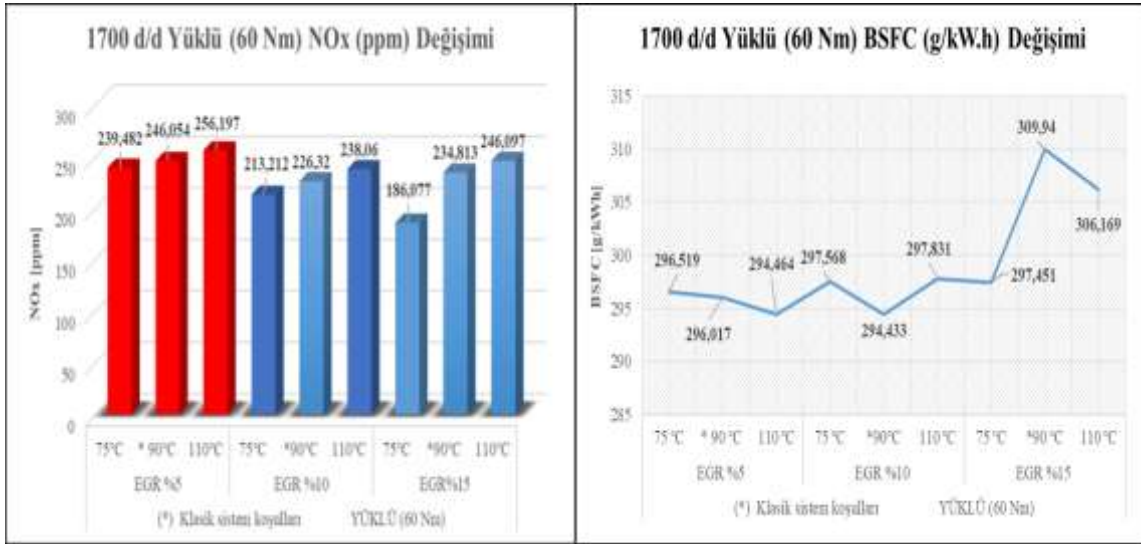
Yapılan deneysel çalışmada EGR gazlarının EGR soğutucudan çıkış sıcaklıklarını  $75^\circ C$ - $90^\circ C$  (\*klasik soğutma sistem koşulları) ve  $110^\circ C$ ’de kontrol edebilen ve klasik PI kontrol yapısına sahip elektronik denetleyici ile EGR gazlarının soğutucudan çıkış sıcaklıklarını belirtilen sıcaklıklarda tutarak her bir sıcaklık bölgesi için  $NO_x$  ve BSFC verileri alınmıştır. Silindir içerisine alınan EGR gaz sıcaklıklarının artması, emme dolgusu sıcaklığını artıracığından  $NO_x$  emisyonlarında artma gözlenecektir. Klasik EGR soğutma sistemine sahip motorlarda, kararlı durum çalışma koşullarında EGR gazları motor ana soğutma sistemi sayesinde EGR soğutucudan yaklaşık  $90^\circ C$ ’de emme manifolduna yönlendirilmektedir. Motor devrine, yüküne ve EGR oranına bağlı olarak sıcaklık sınır koşulları minimum  $75^\circ C$  ile maksimum  $110^\circ C$  olarak şekilde bu değerler referans alınmıştır.



**Şekil 5.** Tasarlana sistemin 1700 d/d yüksüz (20 Nm) koşullardaki  $NO_x$  ve BSFC değişimleri

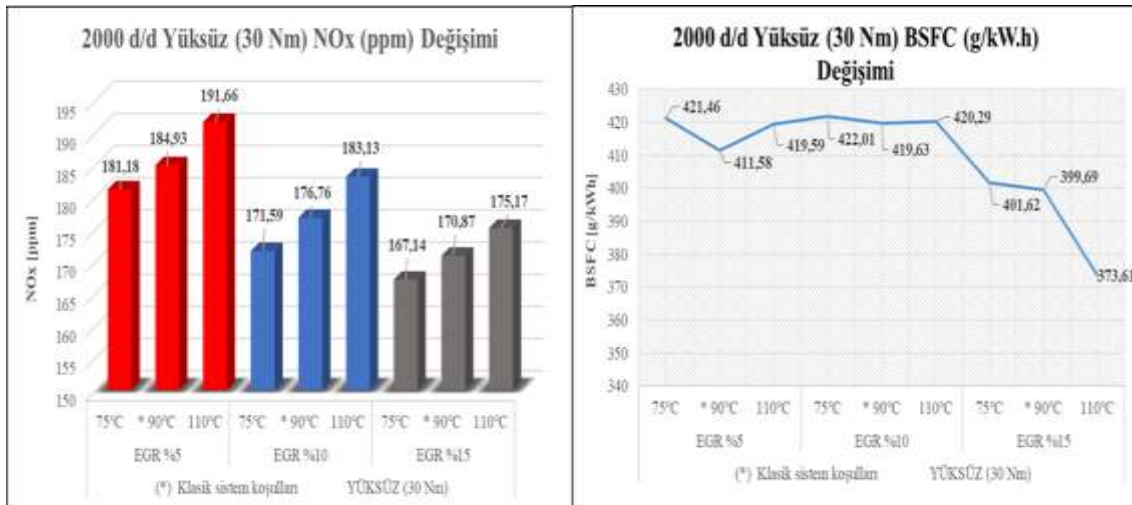
Şekil 5’de 1700 d/d da yüksüz koşullardaki NO<sub>x</sub> ve BSFC değişimleri görülmektedir. Şekil dikkatle incelendiğinde tüm EGR oranlarında belirtilen sınır sıcaklık koşulları, 90°C çıkış sıcaklığı olan klasik sistemdeki veriler ile kıyaslanmıştır. EGR oranının artırılması NO<sub>x</sub> emisyonlarını düşürecektir. Ancak sınır sıcaklık değerleri olan 75°C ve 110°C deki NO<sub>x</sub> değişimleri BSFC ile birlikte ele alındığında %15 EGR oranında ve 75°C sıcaklık koşullarında klasik sistem sıcaklığına (90°C) göre NO<sub>x</sub>’da %5,36 BSFC’de ise %0,55 oranında bir iyileşme sağladığı görülmüştür.

Tasarlanan sistemle benzer karşılaştırma Şekil 6’da görüldüğü üzere 1700 d/d da yüklü koşullar için incelendiğinde klasik sisteme göre %15 EGR ve 75°C’de %20.76 oranında NO<sub>x</sub> emisyonlarında azalma olurken BSFC’de %4 (12.48 g/kWh) düşüş gözlenmiştir.



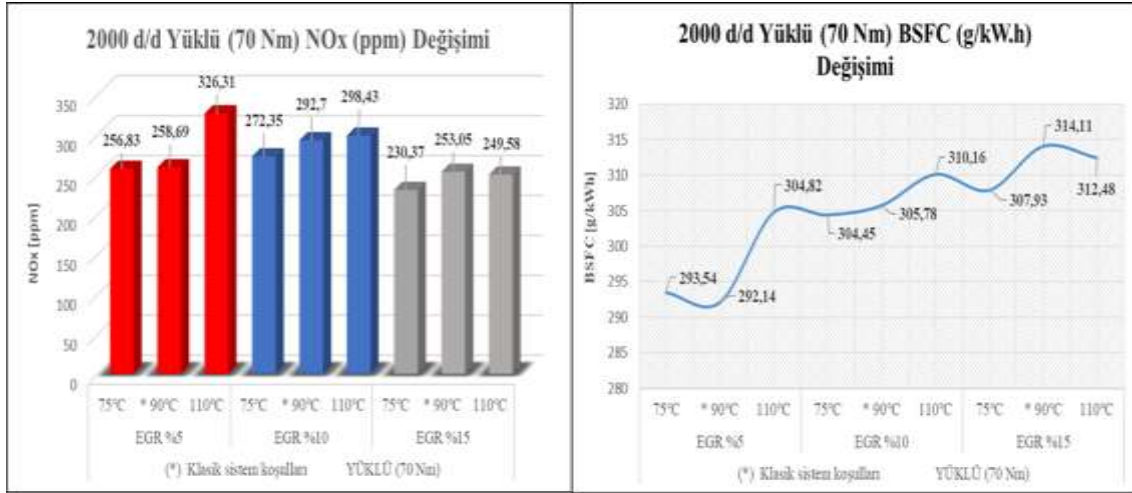
Şekil 6. Tasarlana sistemin 1700 d/d yüklü (60 Nm) koşullardaki NO<sub>x</sub> ve BSFC değişimleri

Dizel motor devri yükteki artışa karşılık daha verimli olmasının nedeni, silindirdeki azami havayı güç üretmek için kullanabilmesidir. BSFC, içten yanmalı bir motorun tüketmiş olduğu yakıtı karşılık krank milinde üretmiş olduğu gücün verimini ifade eder ve yük arttığında en aza indirir. Motor devrinin artması hacimsel verimin iyileşmesine ve BSFC tüketiminde bir azalmaya sebep olur. Şekil 7’de 2000 d/d, yüksüz, %5, %10 ve %15 EGR oranlarında yapılan deneysel sonuçların, NO<sub>x</sub> ve BSFC değişimleri görülmektedir. Grafikler incelendiğinde; klasik sisteme göre 75°C ve %15 EGR oranı optimum sıcaklık ve EGR oranıdır. Çünkü bu sıcaklık ve EGR koşullarında NO<sub>x</sub>’da %5.44 azalma meydana gelirken BSFC’de %0.48 oranında düşük bir artışa sebep olmuştur.



Şekil 7. Tasarlana sistemin 2000 d/d yüksüz (30 Nm) koşullardaki NO<sub>x</sub> ve BSFC değişimleri

BSFC, EGR ile çalışan motorlarda EGR'siz olandan daha düşüktür. Bununla birlikte, motor yükü azaldıkça, EGR ile EGR'siz çalışma arasında BSFC açısından bir fark yoktur. Motor yükü en yüksek seviyede olduğunda, aşırı yakıt enjeksiyonu nedeniyle, EGR'li motorlarda hava yakıt-oranı değişir ve böylece BSFC artar [10]. Bu durum Şekil 8'de belirgin olarak görülmektedir. Öte yandan Şekil 8'deki grafikler incelendiğinde klasik sisteme göre etkin  $NO_x$  düşüşleri  $75^\circ C$  sıcaklıkta artan %15'lik EGR oranında %8.96  $NO_x$  ve BSFC'de %1.96 oranında eş zamanlı azalmaya sebep olduğu görülmüştür.



Şekil 8. Tasarlanan sistemin 2000 d/d yüklü (70 Nm) koşullardaki  $NO_x$  ve BSFC değişimleri

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Tasarlanan kontrollü EGR soğutma sistemi ile klasik EGR soğutma sistemi belirtilen sıcaklıklarda, EGR oranlarında ve yük koşullarında karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar tasarlanan sistemin 1700 d/d yüksüz koşullarda  $NO_x$ 'da %5.36 (9.34 ppm) BSFC'de ise %0.55 (3.02 g/kWh) oranında azalmaya sebep olmuştur. Ayrıca 1700 d/d yüklü koşullarda, %15 EGR ve  $75^\circ C$ 'de %20.76 oranında (48.73 ppm)  $NO_x$  emisyonlarında azalma olurken BSFC'de %4 (12.48 g/kWh) düşüş gözlenmiştir. Deneyler 2000 d/d'da aynı çalışma şartlarında tekrarlanmış olup yüksüz koşullarda  $75^\circ C$  ve %15 EGR oranında  $NO_x$ 'da %5.44 (3.73 ppm) azalma görülürken BSFC'de %0.48 (1.93 g/kWh) oranında bir artışa sebep olmuştur. 2000 d/d yüklü çalışma koşullarında ise %8.96 (22.68 ppm)  $NO_x$  ve BSFC'de %1.96 (6.18 g/kWh) oranında eş zamanlı azalmaya sebep olduğu görülmüştür. Soğutulmuş EGR uygulaması ile gelişmiş bir ısı yönetim sisteminin birleşimi öngörülen şartlara bağlı kalarak sıcaklıkları düzenleme yeteneğine sahiptir, bu nedenle minimum emisyon çıktıkları ile optimum motor performansı için uygun bir seviyede çıkış sıcaklıklarını koruma amaçlı bir kontrol problemi bulunmaktadır. Tasarlanan sistem sayesinde, belirtilen, yük, devir, EGR oranlarında ve kararlı durum çalışma koşullarında EGR gaz sıcaklıklarının  $NO_x$  ve BSFC değişimlerinde önemli bir etkiye sahip olduğu gözlenmiştir.

#### Teşekkür

Yapılan bu çalışma Atatürk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimince desteklenmiştir (Proje Numarası: 2015/362).

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar makalenin hazırlanmasında ve düzenlenmesinde eşit oranlarda 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] Reşitoğlu İ.A., Altinişik K., Keskin A. 2015. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 17 (1): 15-27.
- [2] Jung H., Choi S. 2016. Model based burnt gas fraction controller design of diesel engine with VGT/Dual loop EGR system. *International Journal of Automotive Technology*, 17 (4): 555-566.
- [3] Levendis Y.A., Pavlatos I., Abrams R.F. 1994. Control of Diesel Soot, Hydrocarbon and NO<sub>x</sub> Emissions with a Particulate Trap and EGR. SAE International, International Congress and Exposition, 28 February- 3 March, Michigan.
- [4] Yamada T., Ikeya N., Kondoh N. 1998. New EGR system for heavy duty diesel engines. International Congress and Exposition, SAE transactions, 23-26 February, Michigan, pp: 1056-1064.
- [5] Zheng M., Reader G.T., Hawley J.G. 2004. Diesel engine exhaust gas recirculation—a review on advanced and novel concepts. *Energy Conversion and Management*, 45 (6): 883-900.
- [6] Arcaklioğlu E., Çeliktan İ. 2005. A diesel engine's performance and exhaust emissions. *Applied energy*, 80 (1): 11-22.
- [7] Egnell R. 2000. The Influence of EGR on Heat Release Rate and NO Formation in a DI Diesel Engine. SAE International, International Spring Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, 19-22 June, Paris.
- [8] Abd-Alla G.H. 2002 Using exhaust gas recirculation in internal combustion engines: a review. *Energy Conversion and Management*, 43 (8): 1027-1042.
- [9] Ladommatos N., Abdelhalim S., Zhao H. 2000. The effects of exhaust gas recirculation on diesel combustion and emissions. *International Journal of Engine Research*, 1 (1): 107-126.
- [10] Agarwal D., Singh S.K., Agarwal A.K. 2011. Effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance, emissions, deposits and durability of a constant speed compression ignition engine. *Applied Energy*, 88 (8): 2900-2907.
- [11] Kakoi Y., Tsutsui Y., Ono N., Umezawa K., Kondo N. 1998. Emission Reduction Technologies Applied to High-Speed Direct Injection Diesel Engine. SAE International, International Congress and Exposition, 23-26 February, Michigan.
- [12] Ishiki K., Oshida S., Takiguchi M., Urabe M. 2000. A study of abnormal wear in power cylinder of diesel engine with EGR-wear mechanism of soot contaminated in lubricating oil, SAE Technical Paper, SAE World Congress 6-9 March, Michigan.
- [13] Schäfer F., Van Basshuysen R. 2013. *Reduced emissions and fuel consumption in automobile engines*, Springer Science and Business Media.
- [14] Hountalas D.T., Mavropoulos G.C., Binder K.B. 2008. Effect of exhaust gas recirculation (EGR) temperature for various EGR rates on heavy duty DI diesel engine performance and emissions. *Energy*, 33 (2): 272-283.
- [15] Langridge S., Fessler H. 2002. Strategies for High EGR Rates in a Diesel Engine. SAE International, SAE World Congress, 4-7 March, Michigan.
- [16] Satoh K., Zhang L., Hatanaka H., Takatsuki T., Yokota K. 1997. Relationship between NO<sub>x</sub> and SM emissions from DI diesel engine with EGR. *JSAE Review*, 18 (4): 369-375.
- [17] Shirawaka T., Miura M., Itoyama H., Aiyoshizawa E., Kimura S. 2001. Study of Model-based Cooperative Control of EGR and VGT for a Low-temperature, Premixed Combustion Diesel Engine. SAE International, Spring Fuels and Lubricants Meeting and Exhibition, 4-7 March, Florida.
- [18] Vivek A., Sayali J., Tejas P., Mosim A. 2017. A Review Study of the effect of Exhaust Gas Recirculation (EGR) on performance and emission characteristics of diesel engine in National Conference “MOMENTUM-17”, 14-15 February, International Journal of Research in Advent Technology (IJRAT) Special Issue, India.



- [19] Chalgren R.D., Parker G.G., Arici O., Johnson J.H. 2002. A Controlled EGR Cooling System for Heavy Duty Diesel Applications Using the Vehicle Engine Cooling System Simulation. SAE International, SAE World Congress 4-7 March, Michigan.
- [20] Asad U., Zheng M. 2014. Exhaust gas recirculation for advanced diesel combustion cycles. *Applied Energy*, 123: 242-252.
- [21] De Serio D., De Oliveira A., Sodré J.R. 2017. Effects of EGR rate on performance and emissions of a diesel power generator fueled by B7. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39 (6): 1919-1927.
- [22] Sutela C., Collings N., Hands T. 2000. Real Time CO<sub>2</sub> Measurement to Determine Transient Intake Gas Composition under EGR Conditions. International Fall Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, 16-19 October, Maryland.
- [23] Desantes J.M., Galindo J., Guardiola J., Dolz V. 2010. Air mass flow estimation in turbocharged diesel engines from in-cylinder pressure measurement. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 34 (1): 37-47.
- [24] Dangar H., Rathod G.P. 2013. Combine effect of exhaust gas recirculation (EGR) and varying inlet air pressure on performance and emission of diesel engine. *SAE International, IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 6 (5): 26-23.
- [25] Hegarty K., Dickinson P., Cieslar D., Collings N. 2013. Fast O<sub>2</sub> Measurement using Modified UEGO Sensors in the Intake and Exhaust of a Diesel Engine. SAE International.
- [26] Choi K.W., Kim K.B., Lee K.H. 2009. Effect of New Cooling System in a Diesel Engine on Engine Performance and Emission Characteristics. *SAE International Journal of Engines*, 2 (1): 77-82.
- [27] Haghghat A.K., Roumi S., Madani N., Bahmanpour D., Olsen M.G. 2018. An intelligent cooling system and control model for improved engine thermal management. *Applied Thermal Engineering*, 128: 253-263.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bir Üretim İşletmesinde Departmanların Analitik Hiyerarşi Prosesi Yöntemi ile Ergonomik Analizi**

Melek IŞIK<sup>1\*</sup>, Cansu DAĞSUYU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Çukurova Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana

<sup>2</sup>Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Adana  
(ORCID: 0000-0001-6078-7026) (ORCID: 0000-0001-7280-7733)

---

### **Öz**

Üretim işletmelerinde üretim, kalite kontrol, insan kaynakları başta olmak üzere araştırma geliştirme, üretim planlama, satın alma-lojistik, stok kontrol, muhasebe ve bilgi işlem gibi pek çok departman bulunmakta olup, bu departmanların her biri farklı ergonomik koşullara ihtiyaç duymaktadır. Bu farklılıktan dolayı departmanların ergonomik değerlendirilmesinde kullanılan faktörler bu çalışmada çevresel, fiziksel ve psikolojik olmak üzere üç ana başlıkta gruplandırılmıştır. Departman bazında ergonomik faktörlerin önem seviyeleri Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile belirlenmiştir. Çalışma sonucuna göre, ergonomik faktörlerin üretim işletmelerinin üretim departmanlarında en büyük, bilgi işlem departmanlarında ise en düşük önem seviyesine sahip olduğu söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Analitik hiyerarşi prosesi, ergonomi, üretim işletmesi.

---

## **Ergonomics Analysis of Departments in a Production Enterprise by Analytical Hierarchy Process Method**

---

### **Abstract**

There are many departments in production enterprises such as production, quality control, research and development, production planning, purchasing-logistics, inventory control, accounting and information processing, and each of these departments need different ergonomics conditions. Because of this difference, the factors used in the ergonomics evaluation of the departments in this study are grouped under three main headings as environmental, physical and psychological. The importance levels of ergonomics factors on the basis of department are determined by Analytical Hierarchy Process (AHP). According to the results of the study, it can be said that ergonomics factors have the greatest importance in the production departments of the production enterprises and the lowest in the information processing departments.

**Keywords:** Analytical hierarchy process, ergonomics, production enterprise.

---

### **1. Giriş**

Günümüzde gelişen teknolojiyle yaşanan hızlı ilerlemeler endüstride çalışma koşullarının önemini artırmıştır. Bu durum, iş çevresinde makine-insan ilişkisinin ivme kazanmasına neden olmaktadır. Ergonomi, insan, makine, çalışma alanı ve çevresi arasındaki ilişkileri inceleyen ve bunlardan doğan problemler setine anatomi, fizyoloji ve psikoloji bilimlerinin temel bulgularını uygulamaya çalışan bir bilim dalıdır [1].

Ergonominin temel amacı en yüksek performansla en uygun çalışma koşulları ile ulaşmaktır. Çalışma ortamında yapılacak küçük ve basit düzenlemeler ile verimlilik artışı sağlanmaktadır. Ergonominin amacı [2];

- Çalışanların etkinliğini arttırmak,
- Gereksiz ve aşırı zorlamalardan kaçınmak,
- Çalışmanın yöntemli bir şekilde düzenlenmesini sağlamak,

---

\*Sorumlu yazar: [demirtasm@cu.edu.tr](mailto:demirtasm@cu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10.09.2019, Kabul Tarihi: 03.05.2020

- Lüzumsuz aktiviteleri önlemek,
- İnsan-makine-çevre uyumunu sağlamaktır.

İşverenlerin üretkenlikle ilgili düşünce kalıplarının değiştirilmesi, çalışanlar için uygun çalışma koşulları yaratılmasıyla sağlanabilir [3]. İşletmelerde, ergonomik koşulların sağlanması konusunda dikkate alınacak pek çok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin ergonomik koşullar üzerindeki etkisi birbirinden farklıdır. İşletmelerde ergonomik koşulların iyileştirilmesi istendiğinde maliyet ve zaman kısıtları göz önüne alınarak en önemli parametreden başlanarak iyileştirmeler yapılmalıdır. Parametrelerin etkilerinin ve önem seviyelerinin belirlenmesinde çok kriterli karar verme teknikleri/yöntemleri kullanılabilir. Çok kriterli karar verme yöntemleri, birden fazla kriterle dayalı karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden yaygın olarak kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP), çok kriterli ve çok seçenekli problemlerin sonuca ulaşmasında karar vericiye önemli yardımlar sağlamaktadır [4].

Literatürde, ergonomik çalışma koşullarını karar verme tekniklerini kullanarak uygulayan çalışma sayısı oldukça sınırlıdır. Yüksel ve Dağdeviren [5], Ankara ilinde faaliyet gösteren bir üretim işletmesi için iş sistemlerinde hatalı davranışa neden olabilecek farklı ana faktör ve alt faktörleri içeren bir model geliştirmişlerdir. Modelde karar problemlerinin çözülmesi için AHP yöntemi kullanılmıştır. Yapılan model, işletmede yer alan gerçek iki iş sistemi üzerinde uygulanmıştır. Hayta [6], çalışmada işçi sağlığını, güvenliğini ve verimliliğini etkileyen faktörlere yer vermiştir. Çalışma ortamı koşullarının fiziksel ve psikolojik açıdan çalışanların yaşam fonksiyonlarını tehdit etmeyen, rahatsızlık ve sıkıntıya yol açmayan, ısı, nem, havalandırma, aydınlatma, gürültü, titreşim ve benzeri konularla ilgili sorunlardan arındırılmış olması gerektiğini vurgulamışlardır. İş sistemlerinde hatalı davranış riskini belirlemek için Dağdeviren ve Yüksel [7], bulanık AHP yöntemi önermişlerdir. Gerçek bir üretim sistemi üzerinde uygulama yapılmıştır. Faktörler, ağırlıklandırma ve bulanık değişkenler kullanılarak değerlendirilmiştir. Taha ve Hastutiningsih [8], iş istasyonlarının yerleşiminin güvenilirliğini AHP metoduyla analiz etmişlerdir. Üç ana kriter ve alt kriterler tanımlanmıştır. Üç alternatif yerleşim tasarımını mobilya üreten bir firma üzerinde yapmışlardır. Uygun ergonomik koşulları oluşturmak adına Beno ve ark. [3] çok kriterli karar verme modeli önermişlerdir. Ergonomik risk faktörlerini AHP yöntemi kullanarak değerlendirmişlerdir. Maldonado ve ark. [9], ergonomik uyumluluk kriterlerini içeren bulanık TOPSIS (Technique for Order of Preferences by Similarity to Ideal Solution) yöntemi kullanmışlardır. Sonuç olarak, üç alternatif bilgisayar kontrollü freze makinelerinin değerlendirilmesi ve seçilmesi için sayısal örneklem yapmışlardır. Tortorella ve ark. [10], yalın üretim ile sosyo-teknik ve ergonomi arasındaki ilişkiyi göz önünde bulundurmışlardır. Bir şirket üzerinde yapılan uygulamada, eksikliklerin tanımlanmasını sağlayan ve bunların daha iyi sürdürülmesi için iyileştirme fırsatlarının önceliklendirildiğini gösteren tekniklerin bir kombinasyonunu içeren bir çalışma önermişlerdir. Bougrine ve ark. [11], yeniden yapılandırma kararlarının daha gerçekçi bir değerlendirmesini elde etmek için çalışmalarında hem teknik hem de ergonomik göstergeler önermişlerdir. Üretim sistemini yeniden yapılandırırken alternatif bir konfigürasyonun değerlendirilmesi ve seçimi için TOPSIS karar verme tekniğini kullanmışlardır. Halder ve ark. [12], Bangladeş'te kamyon sürücülerinin koltuk tasarımı için antropometrik ölçülere bakarak AHP-TOPSIS uygulaması sunmuşlardır. Çalışmanın sonucunda, koltuk genişliğinin, kamyon sürücülerinin koltuğu tasarlanırken tasarımcıların çok dikkat etmesi gereken en belirleyici tasarım parametresi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

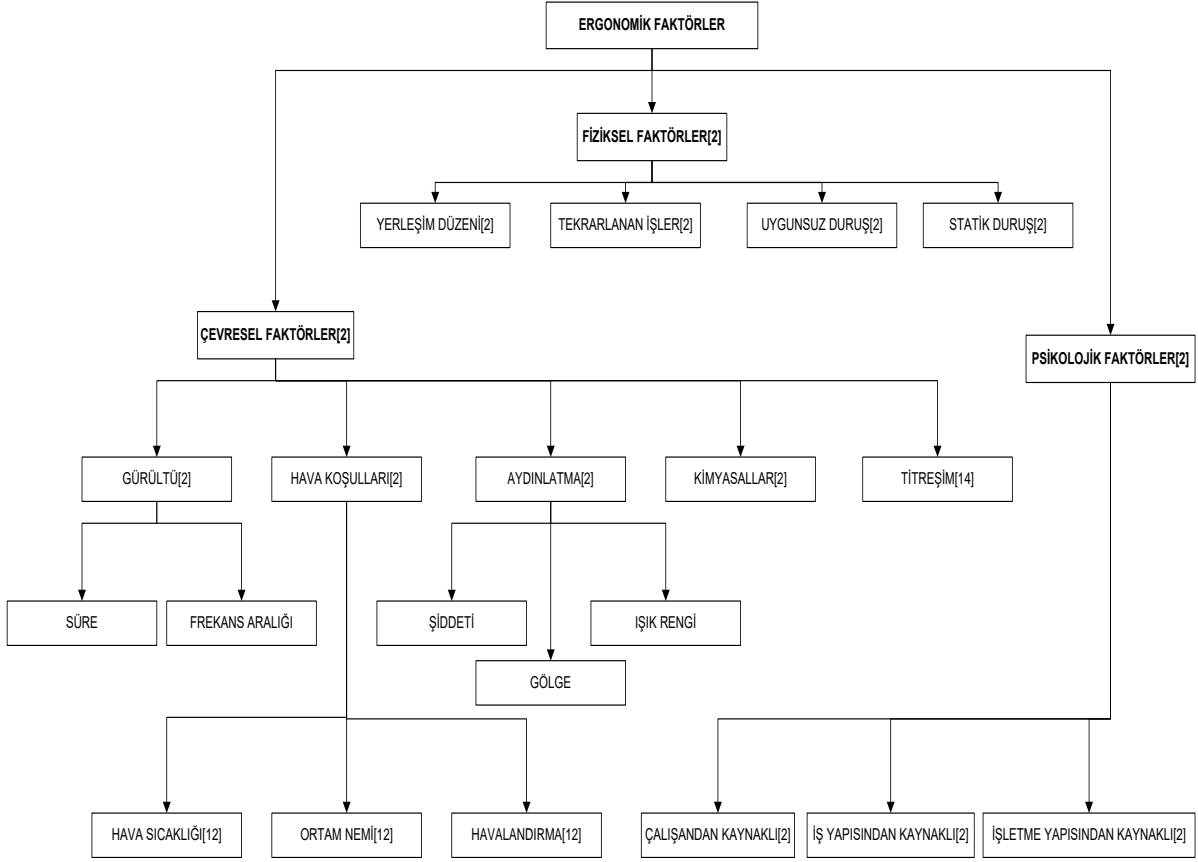
Bu çalışmada, üretim işletmelerinde bulunan üretim, kalite kontrol, insan kaynakları, araştırma geliştirme, üretim planlama, satın alma-lojistik, stok kontrol, muhasebe ve bilgi işlem departmanları dikkate alınmıştır. Departmanlar; çevresel, fiziksel ve psikolojik ana kriterleri Ulucan ve Zeyrek [2] baz alınarak belirlenmiş olup bu ana kriterler ve bu kriterlere bağlı alt kriterler dikkate alınarak ergonomik açıdan AHP karar verme tekniği kullanarak analiz edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

İşyerlerinde sağlıklı, güvenli ve verimli olarak çalışabilmesi; çalışma yerleri ve gerekli donanımların, ses, aydınlatma, çevre sıcaklığı gibi faktörlerin, iş organizasyonu ve yönetime yönelik sistemlerinin iş görenlerin yapısal, boyutsal ve psikolojik özelliklerine uygun olarak düzenlenmesiyle mümkündür [13]. Ergonomik faktörlerin önceliklendirildiği bu çalışmada literatür ve uzman görüşleri doğrultusunda

ergonomik faktörler çevresel, fiziksel ve psikolojik olmak üzere üç ana başlıkta incelenmiştir. Ana kriterlere bağlı alt kriterlerin de belirlendiği çalışmada oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Ergonomik faktörler hiyerarşisi

### 2.1.1. Çevresel Faktörler

Çevresel faktörler, çalışma performansının düşmesindeki önemli sebepler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada yapılan örnekler ışığında çevresel faktörler öncelikle beş alt kriter ile irdelenmiştir. Bu faktörler Şekil 1’de görüldüğü gibi gürültü, hava koşulları, aydınlatma, kimyasallar ve titreşimdir [2]. Ayrıca gürültü; süre ve frekans aralığına, hava koşulları; hava sıcaklığı, ortam nemi ve havalandırma, aydınlatma; şiddet, gölge ve ışık rengi olmak üzere detaylandırılmıştır (Şekil 1).

Rahatsız edici sesler gürültü olarak tanımlanabilmektedir. Duyarlı olunan ses aralığı insanlar için 0 dB – 140dB arasındadır [14]. Çalışma ortamında ses aralığının bu sınır değerlerinin dışında olması çalışanların sağlığı açısından olumsuzluk oluşturmaktadır. Gürültünün çok fazla olması personel üzerinde olumsuz etki yaratmakla beraber çalışanın performansı üzerinde de olumsuz etki oluşturmaktadır. Gürültü kadar önemli bir başka faktör ise çalışma ortamının hava koşullarıdır. Çalışanlar buldukları ortamdaki havayı sürekli solumak zorunda kaldıkları için ortamın hava koşullarının standartlara uygun olması gerekmektedir. Hava koşullarının bileşeni olarak sıcaklık, nem ve havalandırma tanımlanabilir [15]. Bu nedenle standartlar yerine getirilirken bileşenler de dikkate alınmalıdır.

Çalışma ortamlarında işlerin kalite standartlarına uygun yapılmasında ve çalışanın göz sağlığının korunmasında ise aydınlatma tekniği önemlidir. Tuzuk ve yönetmeliklerle işyerlerindeki aydınlatma şiddetleri belirlenmiştir. Aydınlatmanın daha iyi analiz edilebilmesi için şiddet, ışık rengi ve gölge bu kriter için alt bileşenler olarak dikkate alınmıştır. Çevresel faktörlerden kimyasallar kapsamında ise patlayıcı, kanserojen maddeler örnek olarak verilebilir. İşletmelerde kullanılan ve içeriğinde kimyasal karışım içeren maddeler zamanla zararlı hale dönüşmektedir [16]. Çevresel faktörler kapsamında beşinci kriter olarak titreşim dikkate alınmıştır. Titreşim; cisimlerin durağan halden çıkıp

sürekli salınımlarda bulunma durumudur [17]. Çalışanların uzun süre titreşime maruz kalması duyuşsal kayıplar gibi insan sağlığı üzerinde çok ciddi zararlar oluşturabilmektedir.

### 2.1.2. Fiziksel Faktörler

Ergonomi ile ilişkilendirilen fiziksel faktörler insanların anatomik, antropometrik, fizyolojik ve biyomekanik unsurlarını ortaya koymaktadır. Fiziksel faktörler çalışmada yerleşim düzeni, tekrarlanan işler, uygunsuz duruş ve statik duruş olmak üzere dört başlıkta incelenmiştir. İşletmede veya departmanda yapılacak işin niteliği ve iş akışları dikkate alınarak çalışma ortamı tasarlanmalıdır. Uygunsuz duruş çalışanın antropometrisine uygun olmayan duruşları [18], statik duruş ise yorgunluk ve zedelenmeye neden olan çalışanın aynı pozisyonda uzun süre durarak çalışması gereken duruşları ifade etmektedir [19]. Her iki duruş tipinin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerini minimize edecek ortam şartları sağlanmalıdır.

### 2.1.3. Psikolojik Faktörler

Psikolojik faktörler sosyal, kültürel ve fiziksel bir ortam içerisinde oluşan problemlerdir. Bu çalışmada psikolojik faktörler üç grupta değerlendirilmiştir. Çalışandan kaynaklanan faktörler; çalışanın çevresiyle yaşadığı zorluklardan oluşan negatif unsurları [20], işin yapısından kaynaklanan faktörler işin standardından kaynaklanan sorunları [21] ve işletmenin yapısından kaynaklanan faktörler ise kariyer planlaması ve ücret dağılımı gibi durumlarda yapılan adaletsizliklerden oluşan olumsuzlukları tanımlamaktadır [22]. Bu üç faktörden oluşan olumsuzluklar çalışanların psikolojileri üzerinde olumsuz etki oluşturarak çalışanın ve dolayısıyla işletmenin performansını düşürmektedir.

## 2.2. Metot

Karar verme teknikleri günlük yaşantımızın yanı sıra firmalarda karşımıza çıkan problemlerle ilgili çözüm önermede önem göstermektedir. Çok kriterli karar verme tekniklerinden Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) en sık kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. AHP tekniği kaynak yönetimi, lojistik, ergonomi vb. alanlarda uygulanabilir bir yöntemdir. Bu yöntem ile üretim ve hizmet sektörü açısından değerlendirmeler yapılabilir. Bu yöntemin güçlü yanları olarak uygulanabilir olması ön plana çıkmaktadır. Ayrıca karmaşık işlemlerden ise daha temel işlemler yapılarak sonuca ulaşılmaktadır. Bu yöntemin hiyerarşik dizilimi sayesinde kriter ve alt kriterler net bir şekilde ortaya konulmaktadır. Bu özelliklerine nazaran kriterler ve alternatifler arasında beklenen sonucun aksine zıtlıklar oluşabilmektedir. Birçok kriter ve alt kriterin tanımlanması problemi karmaşık hale getirmekte ve çözümde tutarsızlıklar oluşabilmektedir. Ayrıca uzman görüşüne başvurulduğu için sonuçlar taraflı olabilmektedir. Bu sorunlar, tutarlılık indeksi hesaplanarak minimize edilmekte ve yöntem başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir.

Çalışmada, Şekil 1'deki hiyerarşide bulunan tüm seviyeler için AHP yöntemi uygulanmıştır. AHP yöntemi Saaty (1987) tarafından geliştirilmiş olup ikili karşılaştırmalar prensibine dayanmaktadır [23]. AHP yönteminin adımları aşağıda verilmiştir [24].

- Problemin hiyerarşik bir yapı şeklinde gösterilmesi
- İkili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması
- İkili karşılaştırma matrislerinin öncelik değerlerinin bulunması
- Tutarlılık oranının hesaplanması
- Nihai öncelik değerlerinin belirlenmesi

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada üretim alanında faaliyet gösteren bir firmanın üretim, kalite kontrol, insan kaynakları, araştırma geliştirme (arge), üretim planlama, satın alma-lojistik, stok kontrol, muhasebe ve bilgi işlem departmanları ergonomik açıdan AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmada AHP matrisleri oluşturulurken, AHP puanları beyin fırtınası tekniği ile belirlenmiştir. Üretim alanında faaliyet gösteren işletmede 3-5 yıl iş deneyimine sahip iki uzman tarafından puanlar belirlenmiştir. Uzmanlar puanlamaları yaparken gerektiği zaman ilgili departmanları da beyin fırtınasına dahil etmiştir.

Çalışmanın ilk adımında Şekil 1’de bulunan hiyerarşik yapı oluşturulmuştur. Hiyerarşik yapıda bulunan ana ve alt kriterlerin belirlenmesinden sonra ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuş ve her bir kriter için öncelik değerleri bulunmuştur. Tablo 1’de ana kriterler için oluşturulan AHP tablosu verilmiştir. Ana kriterler için tutarlılık oranı 0,05 olarak hesaplanmıştır. Bu değer 0,10’dan küçük veya eşit olması elde edilen AHP puanlarının kullanılabilceğini göstermektedir [23].

**Tablo 1.** Ana kriter önem seviyeleri

Kriterler	Çevresel	Fiziksel	Psikolojik	Ağırlık
Çevresel	1	3	7	0,65
Fiziksel	1/3	1	5	0,28
Psikolojik	1/7	1/5	1	0,07

Tablo 1’e göre uygulamanın yapıldığı firmada ergonomik açıdan ana kriterlerin önem seviyesi sırasıyla çevresel faktörler, fiziksel faktörler ve psikolojik faktörler şeklindedir. Bu durum ergonomik açıdan iyileştirmeler yapılacağına önceliğin çevresel faktörlere verilmesinin firma açısından daha olumlu sonuçlar doğuracağını göstermektedir. Her bir alt kriter ve alt kriterlere ait alt kriterler için AHP tabloları oluşturulmuştur. Tutarlılık indeksleri çevresel faktörler, fiziksel ve psikolojik faktörler için sırasıyla 0,09, 0,10 ve 0,05 olarak bulunmuştur. AHP analizleri sonucunda elde edilen ağırlık puanları Tablo 2’de özet olarak verilmiştir.

Tablo 2’ye göre çevresel faktörler içerisinde bulunan alt kriterlerin önem seviyeleri sırasıyla gürültü, hava koşulları, aydınlatma, kimyasallar ve titreşimdir. Gürültü alt kriterine bağlı kriterlerde süre; hava koşulları alt kriterlerine bağlı alt kriterlerde hava sıcaklığı ve aydınlatma alt kriterlerine bağlı alt kriterlerde ise şiddet en önemli kriterler olarak belirlenmiştir.

Fiziksel faktörler ana kriterine bağlı alt kriterlerin önem seviyeleri AHP sonucunda sırasıyla yerleşim düzeni, tekrarlanan işler, uygunsuz duruş ve statik duruş olarak belirlenmiş ve önem seviyeleri Tablo 2’de verilmiştir. Psikolojik faktörler değerlendirildiğinde ise en önemli alt kriterin çalışan kaynaklı olduğu görülmektedir. Çalışan kaynaklı faktörleri sırasıyla iş yapısından kaynaklı ve işletme yapısından kaynaklı alt kriterler takip etmektedir.

Ana ve alt kriterlerin AHP metodu ile önem seviyeleri belirlendikten sonra işletmede bulunan her bir departman (üretim, kalite kontrol, insan kaynakları, arge, üretim planlama, satın alma-lojistik, stok kontrol, muhasebe ve bilgi-işlem) her bir alt kriter bazında AHP metodu ile değerlendirilmiştir. Tablo 3’de çevresel ana kriterine bağlı en yüksek önem derecesine sahip gürültü alt kriteri için yapılan AHP tablosu bulunmaktadır. Tablo 3’e göre departman bazında bakıldığında gürültü alt kriteri 0,36 ağırlık puanı ile en büyük öneme üretim departmanında sahiptir.

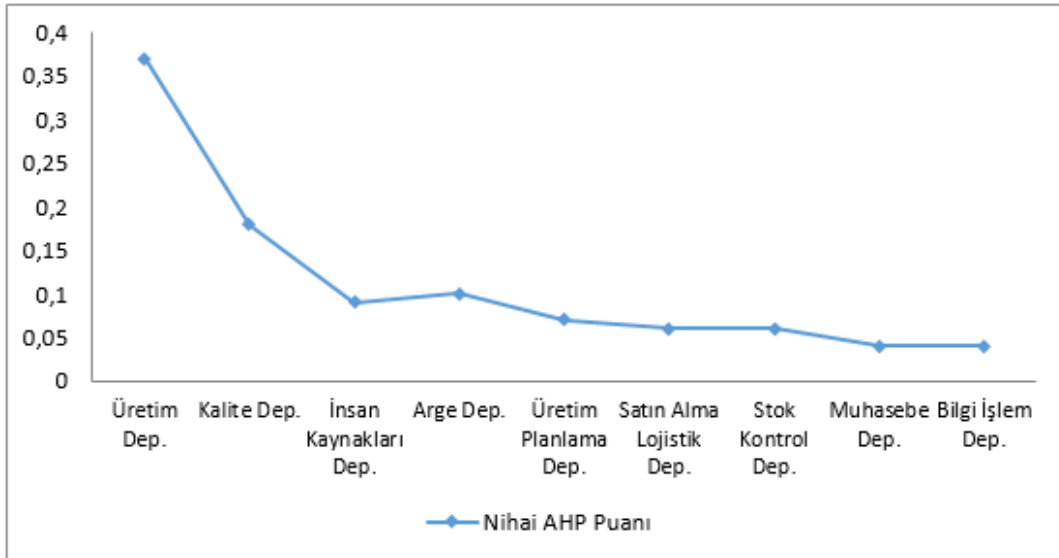
**Tablo 2.** Alt kriterlerin önem seviyeleri

Ana Kriter	Alt Kriter-1	Ağırlık Puanı	Alt Kriter-2	Ağırlık Puanı
Çevresel Faktörler	Gürültü	0,55	Süre	0,83
			Frekans aralığı	0,17
	Hava Koşulları	0,22	Hava sıcaklığı	0,72
			Ortam nemi	0,19
			Havalandırma	0,09
Aydınlatma	0,12	Şiddet	0,74	
		Gölge	0,15	
Kimyasallar	0,07			
Fiziksel Faktörler	Yerleşim düzeni	0,64		
	Tekrarlanan işler	0,19		
	Uygunsuz duruş	0,09		
	Statik duruş	0,09		
Psikolojik Faktörler	Çalışandan kaynaklı	0,71		
	İş yapısından kaynaklı	0,18		
	İşletme yapısından kaynaklı	0,11		

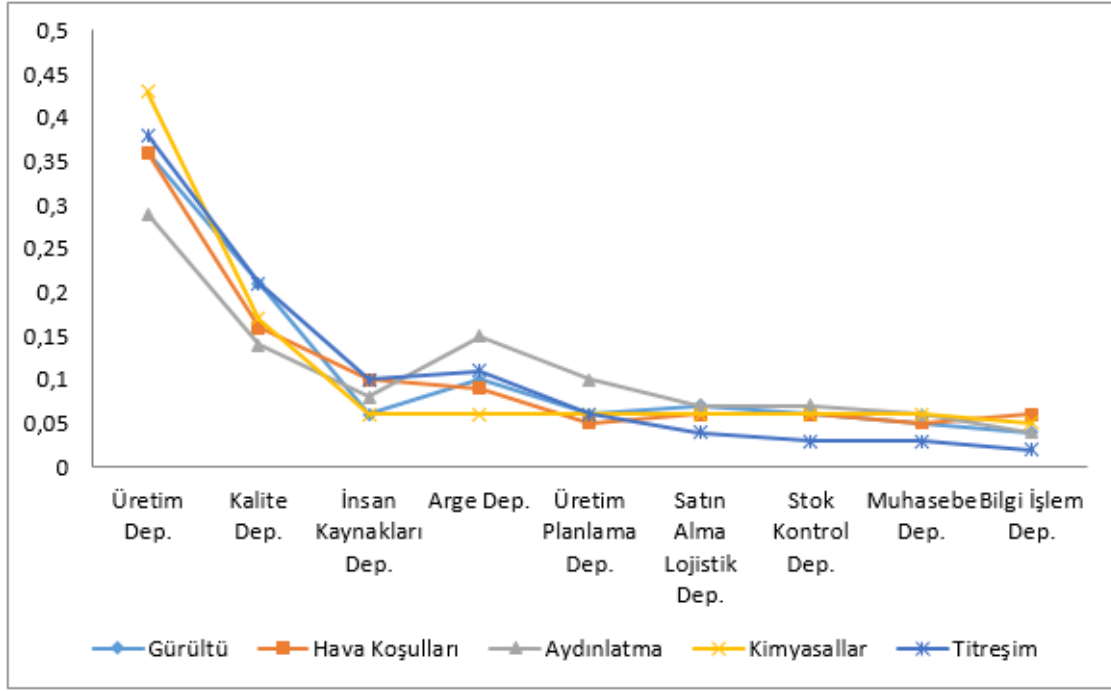
**Tablo 3.** Departmanların gürültü alt kriterine göre önem seviyeleri

Kriterler	Üretim Dep.	Kalite Dep.	İnsan Kaynakları Dep.	Arge Dep.	Üretim Planlama Dep.	Satın Alma Lojistik Dep.	Stok Kontrol Dep.	Muhasebe Dep.	Bilgi İşlem Dep.	Ağırlık
Üretim Dep.	1	5	7	5	5	5	5	5	5	0,36
Kalite Dep.	0,2	1	4	4	4	4	4	4	4	0,21
İnsan Kaynakları Dep.	0,14	0,25	1	1	1	1	1	1	1	0,06
Arge Dep.	0,2	0,25	1	1	3	2	2	2	3	0,10
Üretim Planlama Dep.	0,2	0,25	1	0,33	1	1	1	2	2	0,06
Satın Alma Lojistik Dep.	0,2	0,25	1	0,5	1	1	2	2	2	0,07
Stok Kontrol Dep.	0,2	0,25	1	0,5	1	0,5	1	3	2	0,06
Muhasebe Dep.	0,2	0,25	1	0,5	0,5	0,5	0,33	1	2	0,05
Bilgi İşlem Dep.	0,2	0,25	1	0,33	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,04

Her bir departman için alt kriter bazında yapılan AHP sonuçları Tablo 4’de özetlenmiştir. Tablo 4’e göre üretim departmanı için kimyasallar, kalite departmanı için gürültü ve titreşim, insan kaynakları departmanı için işletme ve çalışan kaynaklı, arge departmanı için aydınlatma, üretim planlama departmanı için aydınlatma, satın alma-lojistik departmanı için çalışandan kaynaklı faktörler, stok kontrol departmanı için aydınlatma, muhasebe departmanı için aydınlatma ve kimyasallar ve bilgi işlem departmanı için hava koşulları en önemli kriterleri oluşturmaktadır. Tüm faktörlerin etkisi Şekil 2’de verilmiştir. Üretim departmanından bilgi işlem departmanına doğru azalan bir öncelik sırası mevcuttur.

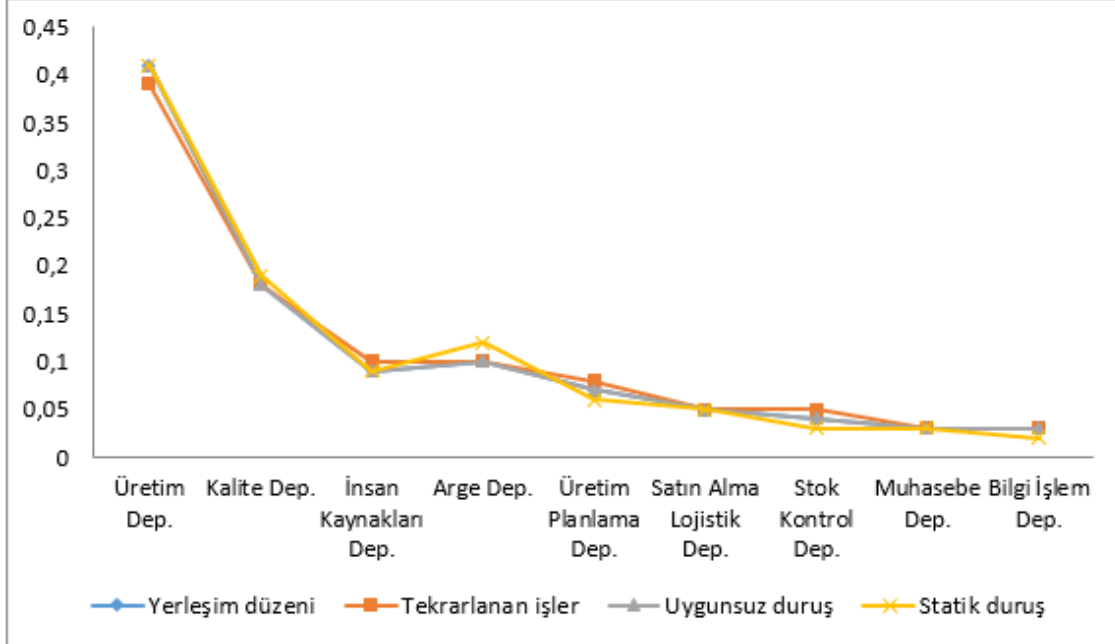
**Şekil 2.** Departman bazında Nihai AHP Puanları

Şekil 3’de çevresel faktörler ana kriterine bağlı alt kriterlere göre departman bazında önem seviyeleri verilmiştir. Tüm kriterlerde en önemli önceliğin üretim departmanında olduğu Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3. Departmanlardaki alt kriterlerin çevresel faktörlere etkisi

Ergonomik kriterler departmanlar açısından değerlendirildiğinde Tablo 4'e göre fiziksel ana kriterine bağlı tüm alt kriterlerde en yüksek öncelik değeri üretim departmanında elde edilmektedir. Şekil 4'de fiziksel faktörler ana kriterine bağlı alt kriterlere göre departman bazında önem seviyeleri verilmiştir.

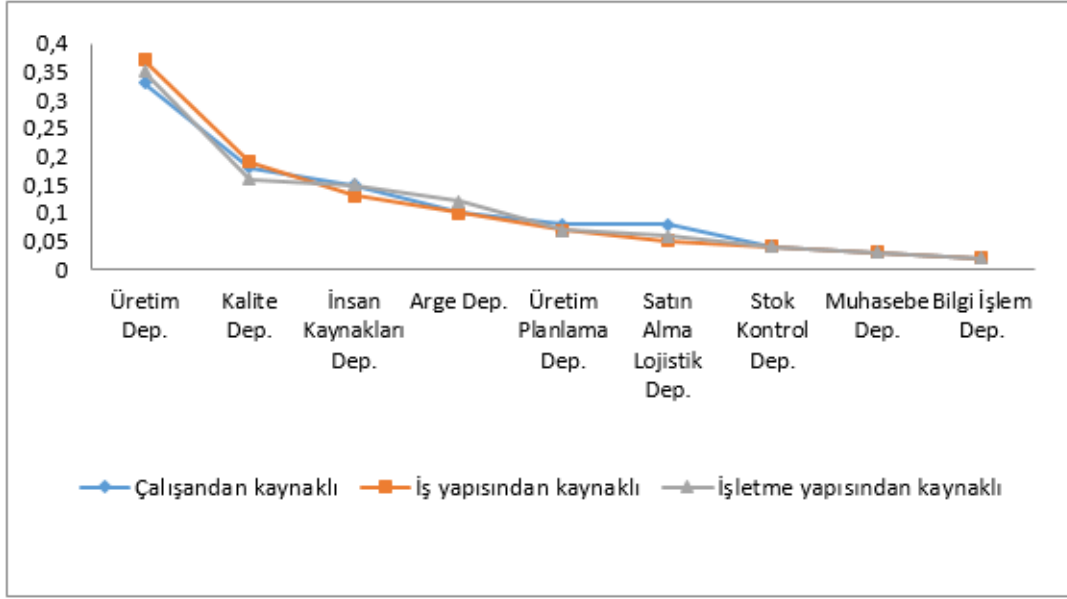


Şekil 4. Departmanlardaki alt kriterlerin fiziksel faktörlere etkisi

Tablo 4'de departman bazında bakıldığında hava koşulları kriterinin üretim planlama ve muhasebe; diğer kriterlerin ise bilgi işlem departmanında en düşük önem seviyesine sahip olduğu görülmektedir. Şekil 5'de psikolojik faktörler ana kriterine bağlı alt kriterlere göre departman bazında



önem seviyeleri verilmiştir. Tüm kriterlerde en önemli önceliğin üretim departmanında olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Departmanlardaki alt kriterlerin psikolojik faktörlere etkisi

Her bir departmanın her bir alt kriter için puanlamasının ardından departmanların ergonomik açıdan nihai AHP puanları elde edilmiştir. Nihai AHP puanları elde edilirken Tablo 4’de yer alan departmanların her bir alt kriter bazındaki AHP puanları ilgili kritere ait ana ve alt kriter AHP puanları ile çarpılmıştır. Elde edilen çarpım değerleri departman bazında toplanmış ve nihai AHP puanı elde edilmiştir. Nihai AHP puanları Tablo 4’de son kolonda verilmiştir. Nihai AHP puanlarına göre ergonomik açıdan departmanların önem seviyesi sırasıyla üretim, kalite, arge, insan kaynakları, üretim planlama, satın alma-lojistik, stok kontrol, muhasebe ve bilgi işlem şeklindedir. Tüm AHP hesaplamaların tutarlılık oranı hesaplanmış ve tutarlılık indeksi istenen değer olan 0,10’dan küçük veya eşit bulunmuştur. Her bir alt kriter için tutarlılık indeks değerleri Tablo 4’de verilmiştir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Günümüzde hızla gelişen teknoloji her alanda olduğu gibi çalışma yaşamında da önemli değişimleri beraberinde getirmektedir. Verimlilik için etkinliğin artırılması ve verimlilik artışı için de çalışma alanlarının ergonomik kriterler dikkate alınarak düzenlenmesi öncelikli hedef haline gelmiştir. Bu çalışmada işletmeler için önem arz edecek ergonomik kriterler tanımlanmıştır. Üretim işletmesinde yapılan uygulama çalışmasında ergonomik kriterlerin AHP metodu ile öncelik değerleri belirlenmiştir. Aynı zamanda kriterler departman bazında AHP metodu ile değerlendirilmiştir. Böylece üretim işletmesinde ergonomik kriterlerin önem seviyeleri departman bazında belirlenmiştir.

Sonuç olarak bir üretim işletmesi için ergonomik kriterlerin üretim departmanında en büyük, bilgi işlem departmanında ise en düşük önem seviyesine sahip olduğu söylenebilir. Firmanın ergonomik açıdan düzenlemeler yapacağına mevcut finansman ve iş gücü kaynaklarını öncelikle üretim departmanında kullanmasının maksimum fayda sağlayacağı ortaya çıkmıştır.

Gelecek çalışmalarda hizmet sektörü için de ergonomik kriterler tanımlanarak çok kriterli karar verme metodları ile önceliklendirilebilir. Aynı zamanda üretim ve hizmet sektörü için ortak olan ergonomik kriterlerin sektör bazında değerlendirmesi AHP yöntemine alternatif olarak başka çok kriterli karar verme metodu ile de yapılarak sektörler ve metodlar karşılaştırılabilir.

**Tablo 4.** Departmanların alt kriter önem seviyeleri

Kriterler	Çevresel Faktörler					Fiziksel Faktörler			Psikolojik Faktörler			Nihai AHP Puanı	
	Gürültü	Hava Koşulları	Aydınlatma	Kimyasallar	Titreşim	Yerleşim düzeni	Tekrarlanan işler	Uygunsuz durum	Statik durum	Çalışandan kaynaklı	İş yapısından kaynaklı		İşletme yapısından kaynaklı
Departman													
Üretim Dep.	0,36	0,36	0,29	0,43	0,38	0,41	0,39	0,41	0,41	0,33	0,37	0,35	0,37
Kalite Dep.	0,21	0,16	0,14	0,17	0,21	0,18	0,18	0,18	0,19	0,18	0,19	0,16	0,18
İnsan Kaynakları Dep.	0,06	0,10	0,08	0,06	0,10	0,09	0,10	0,09	0,09	0,15	0,13	0,15	0,09
Arge Dep.	0,10	0,09	0,15	0,06	0,11	0,10	0,10	0,10	0,12	0,10	0,10	0,12	0,10
Üretim Planlama Dep.	0,06	0,05	0,10	0,06	0,06	0,07	0,08	0,07	0,06	0,08	0,07	0,07	0,07
Satın Alma Lojistik Dep.	0,07	0,06	0,07	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08	0,05	0,06	0,06
Stok Kontrol Dep.	0,06	0,06	0,07	0,06	0,03	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06
Muhasebe Dep.	0,05	0,05	0,06	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04
Bilgi İşlem Dep.	0,04	0,06	0,04	0,05	0,02	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04
Tutarlılık İndeksi	0,05	0,03	0,09	0,01	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,09	0,09	0,07	0,07

## **Teşekkür**

Çalışma sırasında AHP değerlendirmelerini yapan uzmanlarımıza teşekkür ederiz.

## **Yazarların Katkısı**

Çalışmada her iki yazarda 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] Ünügür M. 1988. Gelişmekte Olan Ülkelerdeki Önemi Açısından Ergonomi-Mimarlık İlişkileri. 1. Ulusal Ergonomi Kongresi, İTÜ Milli Prodüktivite Merkezi, Ankara.
- [2] Ulucan H.F., Zeyrek S. 2012. Ofislerde İş Sağlığı ve Güvenliği. [http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/IG14-ofislerde\\_isg.pdf](http://www.isgum.gov.tr/rsm/file/isgdoc/IG14-ofislerde_isg.pdf) (Erişim tarihi 24.01.2014).
- [3] Beno R., Drienikova K., Nano T., Sakal P. 2012. Multicriteria Assessment of the Ergonomics Risk Probability Creation by Chosen Groups of Stakeholders with Using AHP Method within the Context of CSR. Proceedings of the International Conference Quantitative Methods in Economics, 7-12.
- [4] 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.
- [5] Yüksel İ., Dağdeviren M. 2006. Sosyo-Teknik Sistemlerde Hatalı Davranış Riskini Belirlemeye Yönelik Bir Erken Uyarı Modeli. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21 (4): 791-799.
- [6] Hayta A.B. 2007. Çalışma Ortamı Koşullarının İşletme Verimliliği Üzerine Etkisi. Journal of Commerce, 1: 21-41.
- [7] Dağdeviren M., Yüksel İ. 2008. Developing a Fuzzy Analytic Hierarchy Process (AHP) Model for Behavior-Based Safety Management. Information Sciences, 178 (6): 1717-1733.
- [8] Taha Z., Hastutiningsih E. 2009. Analysis of Ergonomics Workstation Layout Design using Analytical Hierarchy Process, 233-237.
- [9] Maldonado-Macías A., Alvarado A., García J.L., Balderrama, C.O. 2014. Intuitionistic Fuzzy TOPSIS for Ergonomics Compatibility Evaluation of Advanced Manufacturing Technology. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 70 (9-12): 2283-2292.
- [10] Tortorella G.L., Vergara L.G.L., Ferreira E.P. 2017. Lean Manufacturing Implementation: An Assessment Method with Regards to Socio-technical and Ergonomics Practices Adoption. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 89 (9-12): 3407-3418.
- [11] Bougrine A., Darmoul S., Hajri-Gabouj S. 2017. TOPSIS based Multi-Criteria Reconfiguration of Manufacturing Systems Considering Operational and Ergonomics Indicators. International Conference on Advanced Systems and Electric Technologies (IC\_ASET), January, 329-334.
- [12] Halder P., Karmaker C., Rahman M. 2018. Integrated Approach of Ergonomics and MCDM into Truck Drivers' Seat Comfort: A Case Study in Bangladesh. 5th International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering (ICMIEE), 1-5, Bangladesh.
- [13] Camkurt M. Z. 2017. İşyeri Çalışma Sistemi ve İşyeri Fiziksel Faktörlerinin İş Kazaları Üzerindeki Etkisi. TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi, 21 (1): 80-106.
- [14] Kürklü G., Görhan G., Burgan H.İ. 2013. Çalışma Hayatında Gürültünün Etkisi ve İnşaat Teknolojileri Eğitimi Açısından Değerlendirilmesi. SDU International Journal of Technological Science, 5 (1): 22-35.

- [15] Erkan N. 2003. Ergonomi.(7. Baskı). MPM Yayınları, Ankara
- [16] Akçakale N. 2016. Ayakkabı Tabanlarında Kauçuk Kullanımı. *Technological Applied Sciences*, 11 (3): 86-97.
- [17] Enstitüsü İ.Y.T. 2014. 8. Mimarlıkta Sayısal Tasarım Ulusal Sempozyumu. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- [18] Kahraman M. F. 2013. Müdürlüğü İ. Türkiyede Antropometrik Verilere Göre Ofiste Ergonomik İşyeri Tasarımı, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi.
- [19] Enez K. 2008. Ormancılıkta Üretim İşçiliğinde Antropometrik Verilerin ve Çalışma Duruşlarının Kaza Risk Faktörleri Olarak Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Trabzon.
- [20] Alsat O.Ç. 2016. Çalışan Motivasyonunu Etkileyen Faktörlerin İş Tatminine Etkisini Belirlenmesine Yönelik Bir Uygulama. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Konya.
- [21] Yılmaz A., Ekici S. 2006. Örgütsel Yaşamda Kamu Çalışanlarının Örgütsel Stres Kaynakları Üzerine Bir Araştırma. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11 (1): 31-58.
- [22] Torun E. 2007. İnsan Kaynakları Yönetiminde İş Tatmini ve Konu ile ilgili Yapılan bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Edirne.
- [23] Saaty R.W. 1987. The Analytic Hierarchy Process—What it is and How it is used. *Mathematical Modelling*, 9 (3): 161-176.
- [24] Vaidya O.S., Kumar S. 2006. Analytic Hierarchy Process: An Overview of Applications. *European Journal of Operational Research*, 169 (1): 1-29.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **PV Panellerin Farklı Koşullar Altında I-V Eğrisini Çıkartan ve Maksimum Güç Noktası Takibi Yapan Deneysel Sisteminin Tasarımı**

Ali DURUSU<sup>1\*</sup>, Ali ERDUMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul*  
<sup>2</sup>*Hakkari Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hakkari*  
(ORCID: 0000-0002-8749-4570) (ORCID: 0000-0003-4116-3159)

---

### **Öz**

Yakın tarihte artan sanayileşmeyle beraber enerjiye olan ihtiyaç artmıştır. Konvansiyonel enerji ham maddelerinin azalması ve çevreye olan kötü etkilerinin artmasından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi artmıştır. Günümüzde güneş enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çok bilinen ve tercih edilenlerden biridir. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek için fotovoltaik (PV) güneş panelleri kullanılmaktadır. Bir PV hücrenin elektriksel karakteristiği genellikle akım-gerilim (I-V) eğrisi ile temsil edilir. Bu eğri ışınım, sıcaklık vb. dış ortam değişkenlerine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Dış ortam değişkenlerine bağlı olarak PV güç-gerilim (P-V) eğrisi üzerinde maksimum güç noktası takibi (MPPT) yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu çalışmada, PV panellerin I-V ve P-V eğrilerinin çıkartılıp bir ekranda gösterilmesi ve maksimum güç takibi yapan devre tasarlanmıştır. MPPT için Sars&Gözlemler (P&O) algoritması kullanılmıştır. MPPT devresinde yükseltici dc-dc dönüştürücü tercih edilmiştir. Sensörler yardımıyla panelden elde edilen akım ve gerilim değerleri, kontrol kartına aktararak değerlendirilmiş ve yükseltici tip dönüştürücüdeki anahtarlama elemanı için anahtarlama sinyallerinin üretimi gerçekleştirilmiştir. Böylece PV panelin o anki verebileceği maksimum güç elde edilmiştir. Ayrıca farklı durumlar altında elde edilen akım gerilim değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** I-V Eğrisi, MPPT, Deneysel seti.

---

## **Design of an Experimental Test Bench to Obtain I-V Curve and to Track Maximum Power Point of PV Modules under Different Conditions**

---

### **Abstract**

With the increasing industrialization in recent history, the need for energy has increased. The importance of renewable energy sources has increased due to the reduction of conventional energy raw materials and the increasing environmental impact. Nowadays, solar energy is one of the most known and preferred renewable energy sources. Photovoltaic (PV) solar panels are used to convert solar energy into electrical energy. The electrical characteristic of a PV cell is generally represented by the current-voltage (I-V) curve. This curve depends on radiation, temperature and other external environment variables. Maximum power point tracking (MPPT) methods are used to obtain maximum power under variable external environment conditions. In this study, circuit is designed to monitor I-V and P-V curves and to obtain maximum power of PV modules. Perturbation&Observation (P&O) algorithm was used for MPPT control. The boost type dc-dc converter is preferred in the MPPT circuit. With the help of sensors, the current and voltage values are obtained from the PV modules and transferred to the control board to evaluate and produce of switching signals of converter. Thus, PV module can give maximum power at the different conditions. In addition, current and voltage values which are obtained under different conditions are transferred to personal computer.

**Keywords:** I-V Curve, MPPT, Experimental test bench.

---

---

\*Sorumlu yazar: [adurusu@yildiz.edu.tr](mailto:adurusu@yildiz.edu.tr)

Geliş Tarihi: 11.09.2019, Kabul Tarihi: 06.04.2020

## 1. Giriş

Son yıllarda fosil yakıtların tükenmeye yüz tutması ve çevreye verdikleri etkilerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulumu hızla artmıştır [1]. Özellikle fotovoltaik (PV) sistem kullanımı enerji talebindeki artışı karşılamak amacı ile artmıştır [2]. PV sistemler güneş enerjisini elektrik enerjisine çeviren en temel teknoloji olarak şebekeyle bağlantısı olmayan noktaların elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için şebekeden bağımsız veya şebekeye satış yapmak amacı ile şebeke bağlantılı olarak kurulmaktadır [3].

Çevresel değişkenler; sıcaklık, nem, ışınım miktarı, gölgelenme, bulutluluk etkisi, yağmur, kar ve kirlilik olarak sınıflandırılabilir [4-7]. Bu etkileri kısaca tanımlamak gerekirse; Hava sıcaklığının artması sonucunun da PV hücre sıcaklığı artmakta ve üretilecek çıkış gücü de azalmaktadır. Gölgelenme etkisi sonucunda ise panelin gölgelenmeyen kısmı gölgelenen kısma göre daha fazla üretim yapacaktır. Gölge düşmüş bir güneş paneli muhtemelen beklenenin sadece %15'i kadar elektrik üretecektir. Işınım şiddetindeki değişim ise doğrudan panelin üzerine düşen radyasyon miktarını değiştireceği için üretimi etkileyecektir. Bu değişim radyasyon miktarı ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Yağmurlu, bulutlu ya da sisli bir gün, elektrik üretimi varsayılanın %15'ine kadar düşebilir. Çoğunlukla daha büyük bulut katmanlarının görüldüğü günler, güneş enerjisi sisteminin üretimi varsayılanın %40'na kadar düşebilir. Panellerin üzerinin karla kaplı olması durumunda ise güneş panellerinin hiç üretim yapmadığı günler olabilmektedir.

PV sistemlerin verimleri düşük ve direkt bir kullanıcıya bağlandıklarında her zaman maksimum güç aktarımı yapamamaktadırlar[8]. Bu istenmeyen durumu ortadan kaldırmak için kullanıcı ile PV arasına bir ara kontrol düzeneği yerleştirilmektedir. Bu düzenek Maksimum Güç Noktası Takipçisi (MPPT) olarak isimlendirilmektedir[9,10-11]. MPPT'ler güneş enerji sistemlerindeki en önemli bileşenlerden bir tanesidir. MPPT temel olarak bir dc-dc dönüştürücüdür. Bu dönüştürücü farklı kullanım yerine göre düşürücü, yükseltici veya düşürücü-yükseltici tip olabilmektedir. Bu düzenekler temel olarak PV'yi güç-gerilim(P-V) karakteristiğindeki maksimum çalışma noktasına ayarlamaya çalışır [12].

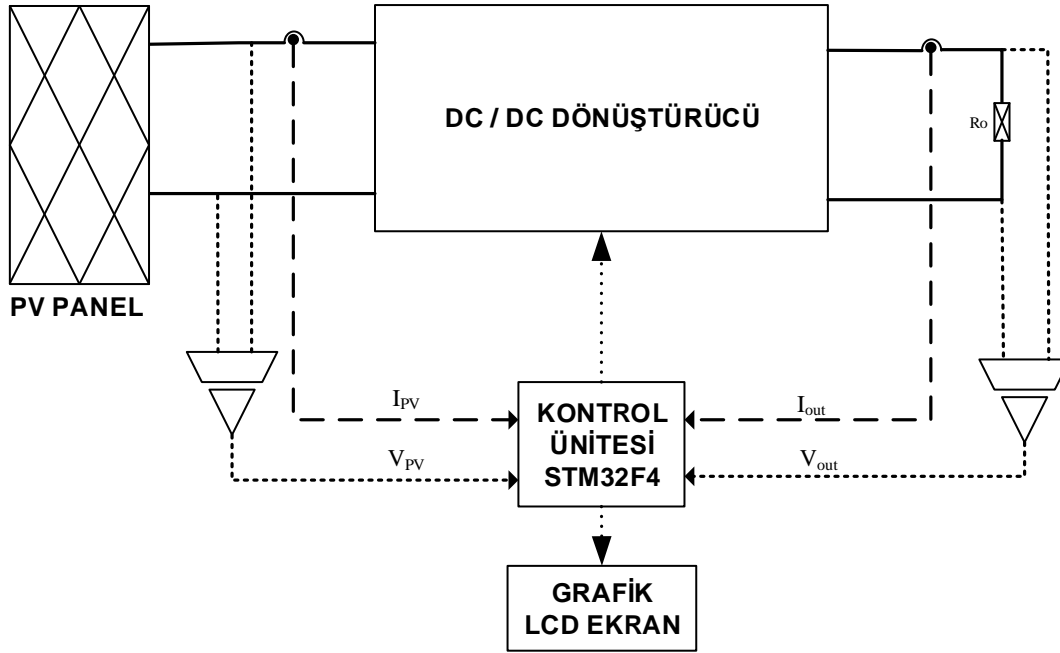
MPPT algoritmaları dolaylı ve direkt olmak üzere ikiye ayrılır. Direkt denetim algoritmalarında PV gücü sürekli olarak takip edilerek çıkış gücünü maksimum yapacak şekilde referans sinyaller gönderilirken dolaylı algoritmalar PV çıkış gücünü sürekli olarak hesaplamaz ve panellere bağlı olarak verilen bir referans denetim bölgesinde çalıştırılır. Direkt denetim algoritmaları panel tipine bağlı değildir. Direkt denetim algoritmaların maksimum güç noktasını yakalama başarılı olsalar da dolaylı denetim yöntemlerine oranla yavaş kalmaktadırlar. Dolaylı denetim yöntemleri panel tipine bağlı olmaması ve sürekli çıkış gücünü kontrol etmemesi gibi dezavantajlara sahiptirler [13]. Dolaylı ve direkt denetim yöntemlerinin birlikte kullanılması ile gerçek maksimum güç noktasını izleyen ve hızlı bir algoritma elde edilmektedir [14].

Güneş enerji panellerinin üretimlerinin ve yatırımlarının pahalı olması sebebiyle panellerin kurulumunun yapılmadan önce kurulacağı bölgenin özelliklerin doğru değerlendirilmesi yatırımın geri dönüşümü açısından büyük önem arz etmektedir. Kurulacak bölgenin ortam şartlarının kullanılacak panel teknolojisine nasıl etki yapacağı simülasyon programları ile değerlendirilebilmektedir. Bu olumsuz durumun etkilerini azaltmak için ortam şartlarında çalışabilen deney düzenekleri ile ortadan kaldırılabilir. Bu çalışma kapsamında güneş enerji panellerinin toz ve kirlenmeye bağlı olarak çıkış güçlerindeki üretimin tespit edildiği ve sistemin en yüksek güç değerlerinde tutulmasını sağlayan yeni bir deney düzeneği tanıtılmıştır. Kurulan bu deney düzeneği panelin akım gerilim değerlerini anlık olarak okuyarak belleğine yüklenen maksimum güç takip noktası algoritmasına göre sistemin maksimum güçte tutulmasını sağlamaktadır. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde sırasıyla kullanılan materyal ve metot, deney düzeneği, sonuç ve öneriler kısımları verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Gerçekleştirilmeye çalışılan devrenin prensip şeması Şekil 1'de verilmektedir. Burada devrenin giriş kısmında yükseltici türü bir dc-dc dönüştürücü devre kullanılmış olup P&O MPPT algoritmasına göre kontrol edilmektedir. Yükseltici dönüştürücü girişinde 22.1 V açık devre gerilimine sahip 40 Wp gücünde 1 adet PV panel kullanılmıştır. Yükseltici dönüştürücünün çıkışında, yük olarak direnç

kullanılmasıyla o anki doluluk oranı değeri ve yükseltici dönüştürücü verimine göre çıkış gerilimi değişmektedir.



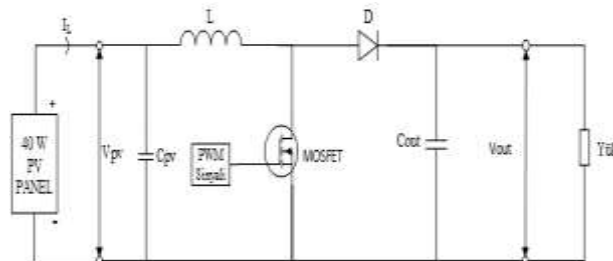
Şekil 1. Tasarlanan devreye ait genel şema

Burada tasarım devresine ait genel şemaya baktığımızda STM32F4 kontrol kartı girişteki akım ve gerilim bilgisini alarak kendi içinde kurulan algoritma ile birlikte değerlendirerek MOSFET elemanına PWM sinyalleri göndermektedir. Ayrıca bu kontrol kartına 1 adet TFT ekran bağlanarak alınan gerilim ve akım bilgisine bağlı olarak bir PV'ye ait gerilim-akım grafiği çizdirilecektir. Ayrıca bu devrede beslemeleri yapmak amacıyla güç kaynağı devresi bulunmaktadır. Anahtarlamalı güç kaynağı kullanılarak gerekli olan simetrik beslemeler sağlanmış, ayrıca kontrol kartının beslenmesi 5V değerinde bir adaptör üzerinden yapılmaktadır. Burada kullanılan ARM tabanlı STM32F4 kontrol kartı için yazılan program kodları Keil MDK ile derlenmiştir. Bundan sonraki kısımlarda bu genel prensip şemasındaki kısımlar donanım ve yazılım olarak incelenecektir.

## 2.1. Donanım Tasarımı

Burada 40 W'lık bir PV panel, yükseltici tipi bir dönüştürücü kullanılacak bu yükseltici dönüştürücünün bobin tasarımı yapıp aynı zamanda bu dönüştürücü için genel hesaplar çerçevesinde giriş kondansatörü, akım ve gerilim sensörleri, anahtarlama elemanı olan mosfetin türü, kullanılacak diyot tipi ve yine çıkış kondansatörünün ve çıkış yükünün seçimi yapılacaktır.

Maksimum güç takibi amacıyla kurulan devre için yükseltici tip dönüştürücü seçilmiştir ve buna ait oluşturulan devre şekli Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kullanılan yükseltici tipi dc-dc devresinin genel yapısı

Işınım ve sıcaklığa bağlı olarak panel uçlarında açığa çıkan gerilim, bir kondansatör kullanılarak gerilimdeki dalgalanma miktarı azaltılır. Ardından MOSFET anahtarlama elemanına PWM sinyali

geldiği anda eleman anahtarlama yaparak, bobin üzerinde enerji depolamaya başlar. Gelen PWM sinyalleri kesildiği anda bobin üzerinde depolanan enerji ile birlikte giriş gerilimi çıkışa uygulanarak  $C_{out}$  kondansatörü şarj edilir ve çıkış yükü beslenir. Burada kullanılan elemanlar için verilen hesap yöntemleri kullanılarak, gerekli değerlerde devre elemanlarının seçimi yapılmaktadır.

Güç devremiz endüktans, yarı iletken anahtar (MOSFET), diyot ve kondansatörden oluşmaktadır. Burada devremizin karakteristiğini belirleyen en önemli eleman endüktanstır. Burada asıl olan yarı iletken anahtarın çalışma oranını panelden maksimum gücü alacak şekilde belirlemektir. Diyot kullanılarak giriş gerilimi ile çıkışta elde edilen yükseltilmiş gerilim arasında ters kutuplanması sayesinde kaynak yönünde akım akıtılması engellenmiş olur. Hazır bulunan malzemelerin değerini belirlemekle birlikte onları değerlerine göre seçerken, endüktans için sarım yapılıp, test ederek ihtiyacımız olan değeri kendimiz yapacağımız ölçümlerle elde edeceğiz.

Endüktans seçimi aşamasında öncelikle nüve seçimi yapılmıştır. Bu aşamada toroit tipi ferit nüve seçilmiştir. Ardından sarımın yapılacağı tel seçimi konusunda 0.5mm kalınlığında bakır emaye tel kullanılmış ve sarımı yapılmıştır. Burada giriş gerilimi maksimum güç noktasındaki gerilim olan 17.8 V seçilmiştir. Bu durumda ise çıkış gerilimini ise 25 V'ta sabit tutulduğu kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak duty ( $D$ ) ve giriş akımı ( $I_{in}$ ) hesaplaması 1 ve 2 no'lu denklemlerle verilmektedir.

$$D = 1 - \frac{17.8}{25} = 0.288 \quad (1)$$

$$I_{in} = \frac{P_{in}}{V_{in}} = \frac{40}{17.8} = 2.24A \quad (2)$$

Anahtarlama frekansı ise  $f_p=20$  kHz olarak seçilmiş olup giriş akımındaki dalgalanmanın %10'dan küçük olduğu yani  $\Delta I_{in}=2.24 \times 0.1=0.224$  A olduğu kabul edilerek buna bağlı gereken endüktans miktarı için yapılan hesap 3 no'lu denklemden verilmektedir.

$$L = \frac{D \times V_{in}}{f_p \times \Delta I_{in}} = \frac{0.288 \times 17.8}{20 \times 10^3 \times 0.224} = 1.14mH \quad (3)$$

Seçimi yapılan ferrit nüve için bakır emaye telden sarım yapılarak hesaplanan değerin 2 katı olarak yaklaşık 2.28 mH değeri tercih edilmiştir. Elde edilen bu değeri ölçmek amacıyla CHY-24C markasında LCR metre kullanılmıştır.

Yarı iletken anahtar seçimi için dikkat edilecek hususlar yapılan anahtarlama hızı ve iletim direncidir. Anahtarlama frekansı 20 kHz olarak seçilmiştir. Bu frekansta anahtarlama yapabilmek için MOSFET ve IGBT tipi anahtarlama elemanları mevcuttur. Burada bizim tercihimiz MOSFET türü bir elemanın seçiminin daha uygun olacağı yönündedir. Bu durumlar doğrultusunda IRF540 28A 500 V değerinde TO220 kılıf türüne sahip MOSFET seçimi yapılmıştır.

Devamında gelen elemanlardan biri olan diyot için seçiminde iletim ve kesime girme hızı, kuyruk akımı miktarları önemlidir. Diyotun iletime ve kesime girme zamanları anahtarlama kayıpları ile doğrudan alakalıdır. Diyot'un yavaş bir şekilde iletim ve kesime girmesi güç kayıpları oluşmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında diyot seçiminde 6A10 – 1000 V 6 A aksiyel tipli Diyot - P600M tipinde diyot seçimi yapılmıştır.

Yükseltici dönüştürücü devresinin girişinde ve çıkışında olmak üzere 2 adet kutuplu kondansatör kullanılmıştır. Bunlardan PV panel çıkışına bağlanan kondansatör panel çıkışındaki gerilim dalgalanmalarını azaltmak üzere 100  $\mu$ F 100 V elektrolitik kondansatör seçilmiştir. Yükseltici dönüştürücü çıkışındaki kondansatörün seçilmesi için gerekli bağıntılar kullanılarak çıkış için de 100  $\mu$ F 100 V değerinde elektrolitik kondansatör kullanılmıştır. Bunun için maksimum güç noktasındaki çıkış akımı 4 ve seçilecek kondansatör değerine ait bağıntılar 5 no'lu denklemden hesaplanmıştır.

$$I_{out} = \frac{P_{panel}}{V_{out}} = \frac{40}{25} = 1.6A \quad (4)$$



$$C = \frac{D \times I_{out}}{f_p \times \Delta I_{in}} = \frac{0.288 \times 1.6}{20 \times 10^3 \times 0.224} = 102.8 \cong 100 \mu F \quad (5)$$

En son olarak çıkış gerilimini belirli bir değerde sabit tutmak amacıyla çıkışa yük bağlamak zorundayız. Çıkışa yaklaşık 40 W değerinde bir güç aktarılacağı için 50 W'lık güçlü direnç seçmemiz yeterli olacaktır. Gerekli olan direnç değeri için hesaplama 6 no'lu bağıntı ile verilmiştir.

$$R_{out} = \frac{P_{out}}{I_{out}^2} = \frac{40}{1.6^2} = 15.625 \Omega \quad (6)$$

Bunun için 56R 25 W değerinde 2 adet yüksek güçlü JDC-RX24 kodlu direnç seri bağlanarak 112 ohm değeri elde edilmiş ve çıkış gerilimi yük olarak akü grubu bağlanmadığı için sabit kalamayacağından hesaplanan değerden büyük olması problem oluşturmaz.

Yükseltici dönüştürücüde anahtarın çalışabilmesi için MOSFET güç anahtarına sürmek amacıyla sinyal gönderilmelidir. Bu sinyaller kullanmış olduğumuz STM32F4 kontrol kartı içinde üretilmektedir. Genellikle kontrol kartları tarafından üretilen sinyallerin genlikleri düşük olduğundan MOSFET elemanını sürebilmek için yeterli olamamaktadır. Bu amaçla sürme devrelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu devre için Toshiba firmasına ait TLP250 kodlu MOSFET kapı sürme entegresi kullanılmıştır. Entegrenin 2 no'lu bacağına 1 kΩ seri direnç ile birlikte PWM üreten kontrol kartının çıkışı ve 3 no'lu ucu ise GND1 ucuna bağlanır. Aynı zamanda bu entegrenin besleme ucu olan 8 no'lu Vcc ucu +15 V ile beslenmiş ve bu uç 0.1 μF kondansatör ile entegrenin GND ucuna bağlanmıştır. Bu entegrenin 6 ve 7 no'lu uçlarından herhangi biri çıkış olarak kullanılabilirdiği gibi iki ucu birleştirilerek tek bir çıkış ucu olarak kullanılabilir. Çıkış ucuna seri olarak 50 Ω ve buna paralel olarak 10 kΩ değerinde dirençler bağlanır. Bu dirence ve aynı zamanda anahtarın kapısına paralel olarak 2 adet ters seri 15 V zener diyot bağlanarak kapı geriliminin 15V değerini aşması önlenmiş olur.

Aynı zamanda bu yükseltici dönüştürücünün kontrolü için akım ve gerilim değerinin okunmasına ihtiyaç vardır. Sistemin maksimum güç noktasını yakalayabilmesi için akım ve gerilim bilgisine ihtiyaç duymaktadır.

Gerilim değerini okumak amacıyla Farnell firmasına ait LEM-LV25-P kodlu hall effect prensibine dayalı olarak gerilim endükleme sonucu ölçüm yapan sensör kullanılmıştır. Asıl maksimum güç takibi girişte ölçülen gerilim değerine göre yapılmaktadır. Çıkış gerilimi ise kontrol amacıyla ölçülmektedir.

Akım değerini okumak amacıyla ise Allegro firmasına ait ACS712ELCT20A kodlu yine hall effect prensibine dayalı 5A değerine kadar ölçüm yapabilen akım sensörü kullanılmıştır.

## 2.2. Yazılım Tasarımı

Maksimum güç takibi amacıyla yapılan yükseltici güç devresi, bu takibi gerçekleştirmek için bir mantık algoritmasına ihtiyaç duyar. Bu algoritmanın çıkarılması sonucu genel olarak işlemlerin belirlenerek bir işlemci veya mikrodenetleyiciye aktarılarak istenilen işlemlerin sırayla yapılması sağlanır. İşlemci veya mikrodenetleyiciye güç devresi içinden ölçülen akım ve gerilime ait değerler aktarılır ve kendi içinde yapacağı işlemler sonucunda istenilen çıkış sinyallerinin alınması sağlanır.

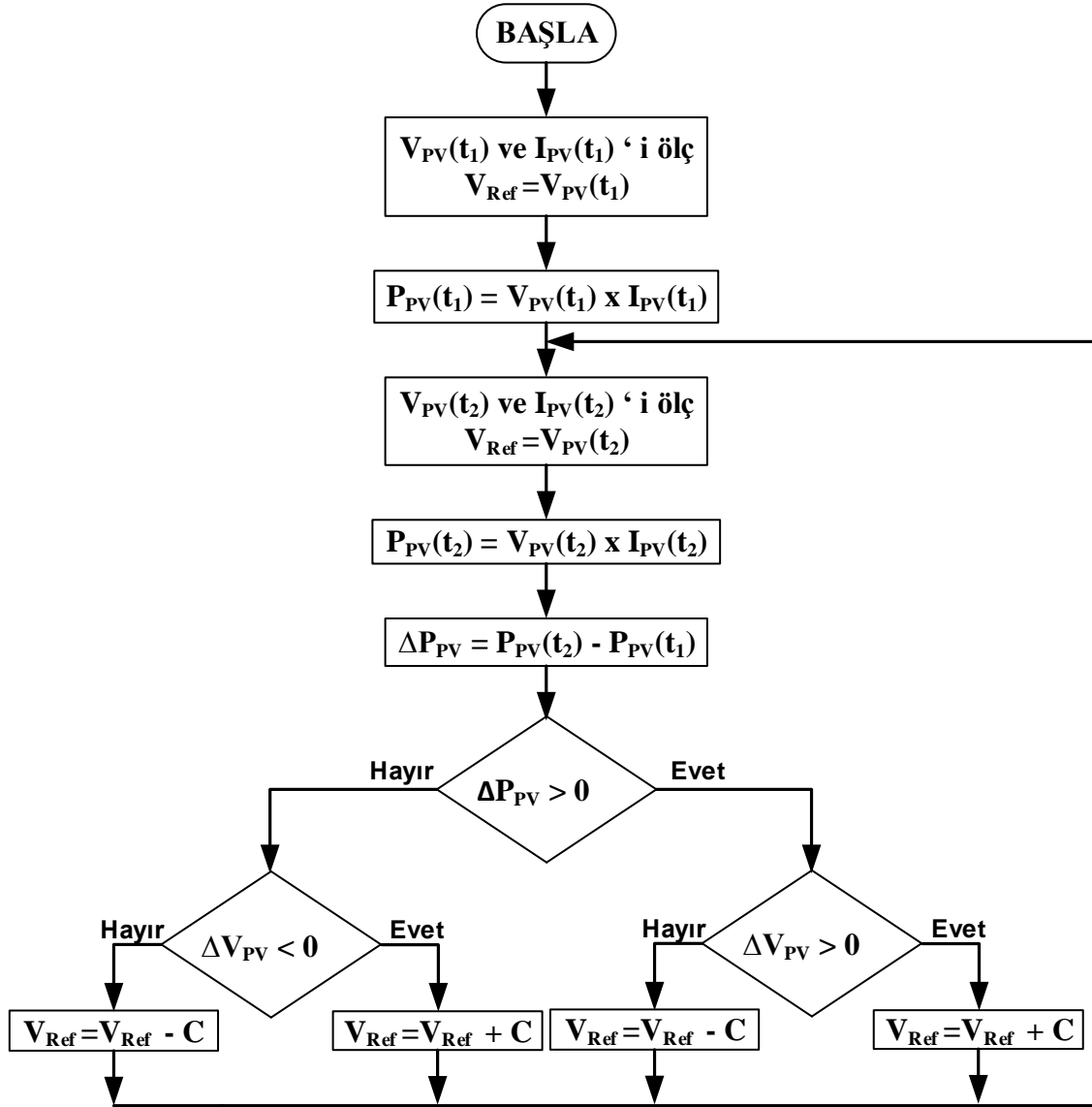
Yükseltici olan güç devresinde, güç devresinde ölçülen akım ve gerilim bilgisinin aktarıldığı, yazılan uygun algoritmayı gerçekleştirmek ve bunun sonucunda gerekli anahtarlama sinyallerini üretmek üzere üzerinde ARM tabanlı işlemci bulunduran STM firmasına ait STM32F4 Discovery kit kullanılmıştır.

ARM firmasının ARM Cortex-M4 32-bit işlemcisi 168 MHz hıza kadar çalışabildiği gibi 1 megabyte flash memory'e sahip ve buna ek üzerinde 192 kilobyte'lik bir RAM bulunmakta ve 12 bit ADC okuyabilmektedir. İşlemci kartı bir usb girişi üzerinden 5V ile beslenebildiği gibi, harici bir 3 V veya 5 V bir kaynak ile de beslenebilir. Bu besleme girişleri ve bazı giriş çıkışların olduğunu göstermek üzere üzerinde 8 adet led bulunmaktadır. Kartın istenen durumlarda resetlenebilmesi için üzerinde siyah renkte bir reset push butonu bulunmaktadır aynı zamanda kullanıcı girişi amacıyla user butonu bulunmaktadır. Son olarak komutların çalışması sonucu pin çıkışlarından elde edilecek sinyallerin ST-

LINK V2A portu sayesinde ve bu firmaya ait bir program vasıtasıyla bilgisayar ile haberleşmesiyle çıkış sinyalleri görüntülenebilmektedir.

Bu kart için farklı geliştirme platformlarında kodlar yazılabilmek mümkündür. IAR EWARM, Keil MDK ARM, ARM mbed online ve GCC-based IDEs gibi platformlar bunlardan bazılarıdır. Maksimum güç takibini sağlamak amacıyla kodlar Keil MDK ARM platformunda yazılmıştır. Keil, Cortex-M ve Cortex-R tabanlı mikro işlemci cihazlar için bir yazılı geliştirme ortamıdır. MDK  $\mu$ VISION IDE/Debugger, ARM C/C++ derleyicisi ve temel katman bileşenlerini içermektedir.

İşlemciye komutlarını vermek üzere yazılacak koda ilişkin algoritmanın akış diyagramı Şekil 3'de verilmiştir.



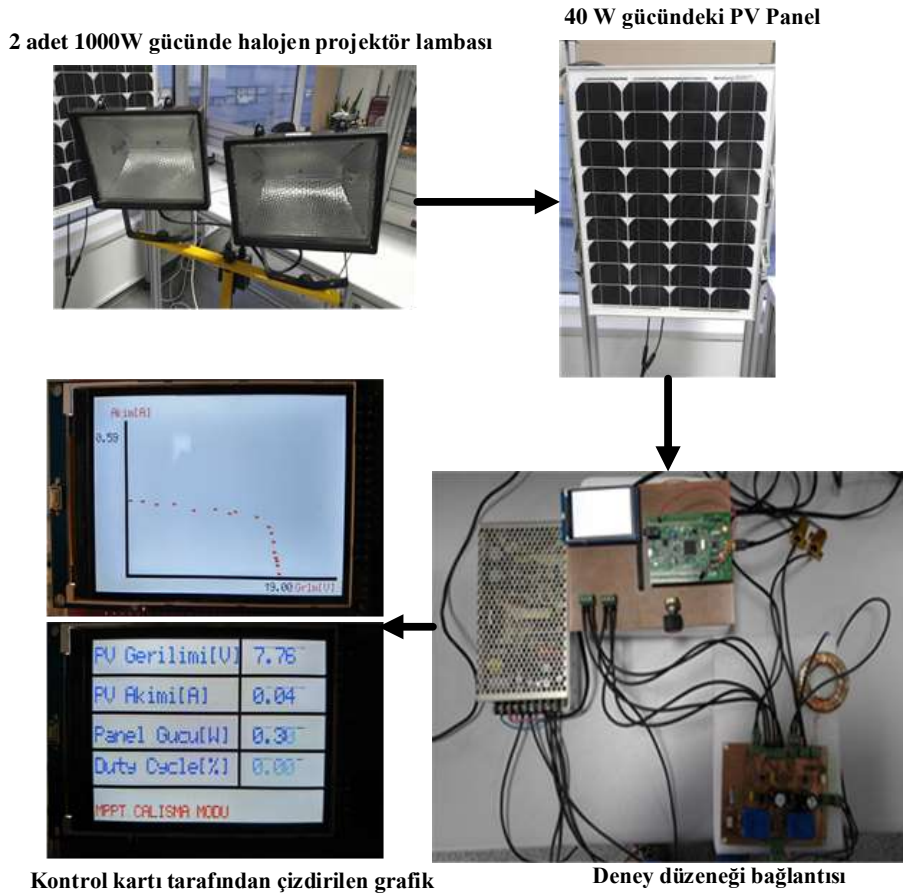
Şekil 3. Sars ve gözlemle (P&O) algoritması [15]

Bu algoritmada Başla kısmından itibaren kullanılacak olan değişkenler ve bu değişkenlerin başlangıç değerleri programa tanıtılır. Değişkenler giriş yani panele ait gerilim, akım ve adım boyutu C değeri (step size) değerleridir. Bu gerilim ve akım değerleri güç kartının üzerindeki sensörlerin gerilim ve akım çıkışı portlarından çok kısa sürelerde örnek alınarak işlemci kartına ADC(Analog to Digital Convert) dönüşümü yapılarak aktarılmaktadır. Ardından gerekli olan katsayılarla çarpılarak gerçek panel akım ve gerilim değerleri işlemci tarafından kullanılabilir. İşlemci tarafından dönüşümler sonucu elde edilen ve ilk örnek olarak alınan gerçek akım ve gerilim değerleri çarpılarak bir ilk güç değeri elde edilir. Alınan ikinci örnekte yine bir güç hesaplaması yapılarak ikinci güç değeri elde edilir.

Bu elde edilen iki güç değeri arasındaki fark program tarafından değerlendirilir. Eğer bu iki gücün farkı pozitif ise o anki referans gerilimine adım boyu eklenir. Diğer durumda yani bu iki gücün farkı negatif ise referans değer adım boyundan çıkarılır.

Elde edilen bu değer kontrol döngüsü içine sokulur ve referans gerilim ile o anki PV gerilimi arasındaki fark alınır. Alınan fark sonucu hata ortaya çıkar bu hatayı azaltmak ve minimuma indirmek amacıyla oransal ve integral kontrol yöntemi kullanılarak (PI kontrol) KP ve KI katsayıları belirlenir. Bu değerlerle birlikte PWM sinyali için duty cycle (doluluk oranı) belirlenir. Eğer hatanın değeri azalarak 0 değerinin altına düşerse PWM için duty değeri %0 değerinde sabit tutulurken, artarak %80 duty cycle değerini geçmesi halinde %80 değerinde sabit kalmaktadır.

Elde edilen bu doluluk oranından yararlanılarak işlemci içinde PWM konfigürasyonu yapıldıktan sonra PWM 'in doluluk oranı belirlenir ardından 20 kHz'lik PWM sinyalinin doluluk oranı ayarlanarak güç kartının PWM girişinden uygulanır ve PV panelin maksimum gücü verdiği nokta yakalanmaya çalışılır. Gerçekleştirilen deney düzeneği Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Gerçekleştirilen deney düzeneği görseli

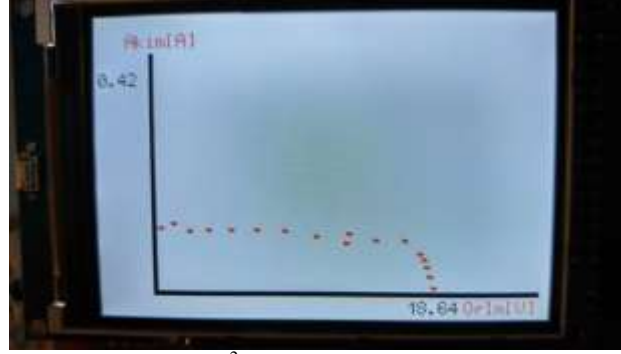
### 3. Bulgular ve Tartışma

Devre simülasyonu Powersim programında kurulmuş, mikroişlemci kısmı ise P&O algoritmasında kullanılan algoritmaya göre Powersim kütüphanesinde bulunan elemanlar kurularak gerçekleştirilmiştir.

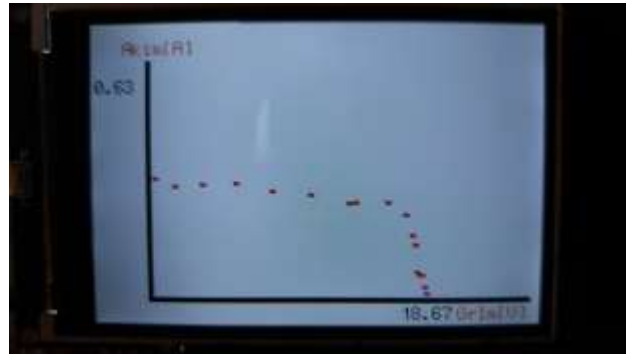
Maksimum gücü 40 Watt olan bir PV panele ait veriler kullanılarak, powersim programında modellenen bir PV panelin 1000 W/m<sup>2</sup> ışınım ve 25 °C sıcaklık altında P&O algoritmasına göre, MOSFET elemanına anahtarlama sinyallerinin gönderilmesi sonucu elde edilen panel gücünün maksimum olduğu görülmektedir.

Yükseltici dönüştürücü çıkışındaki gerilim, akım ve güç değerleri Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Yükseltici dönüştürücünün çıkışına ait gerilim, akım ve güç grafiğine bakıldığında ise çıkış kısmında sabit bir akü grubu yerine direnç olduğu için gerilim sabitlenememekte fakat çıkışa aktarılan güç ise kayıplar ihmal edildiğinde aynı olmaktadır.

Yine ek olarak 300 ve 500 W/m<sup>2</sup> ışınım altında güç-gerilim eğrisine ait elde edilen ekran görüntüleri sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 5. 300 W/m<sup>2</sup> de I-V grafiğinin ekran görüntüsü



Şekil 6. 500 W/m<sup>2</sup> ışınımında I-V grafiğinin ekran görüntüsü

Bu yöntemde kontrol kartı içerisinde 20 kHz frekansında üretilen PWM sinyalinin bağlanan potansiyometre yardımıyla doluluk oranı değiştirilerek hangi değerde maksimum güç verebileceği tespit edilecektir. Bununla ilgili ortalama 500W/m<sup>2</sup> ışınım altında doluluk oranının değiştirilmesi ile yapılan deneyler ve sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Potansiyometre kontrollü ile değişen gerilim akım değerleri

Gerilim(V)	Akım(A)	Doluluk oranı (%)
20,86	0,24	0
20,3	0,3	10
20	0,38	20
19,4	0,47	30
17	0,5	40
12	0,58	50
7,5	0,59	60
4	0,59	70
1,9	0,59	80

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Sonuçlara bakıldığı zaman, P&O algoritmasının eksikliği gereği güç sabit bir noktada durmak yerine salınım yapmaktadır. Bu salınımı en aza indirmek amacıyla yazılımda yapılan geliştirmelerle güç noktası takibi daha istikrarlı bir şekilde sağlanmıştır. Aynı zamanda yapılan hesaplar doğrultusunda ve kurulan devre düzeneğinin başarılı bir şekilde çalışmasıyla, paneli o anda elde edilebilecek maksimum güç noktasında çalıştırarak çıkışa maksimum güç aktarımı yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda bir güneş enerjisi sisteminin kurulması planlanan bölgenin verilerin bu test düzeneğiyle yapılacak olan çalışma yardımıyla panellerin performansının hangi konumda daha iyi olduğu, çevresel değişkenlerin üretim değerini nasıl etkilediği belirlenebilmektedir.

## Yazarların Katkısı

A. Durusu; yazılım tasarımı, donanım tasarımı ve sonuçların alınmasında katkı sağlamıştır. A. Erduman; donanım tasarımı, deney sisteminin oluşturulması ve sonuçların alınmasında 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] Arikan O., Isen E., Durusu A., Kekezoglu B., Bozkurt A., Erduman A. 2013. Introduction to hybrid systems. Yildiz Technical University, IEEE Eurocon 2013 Conference, 1-4 Temmuz, Zagreb, Hırvatistan, 1145-1149.
- [2] Kekezoglu B., Arikan O., Erduman A., Isen E., Durusu A., Bozkurt A. 2013. Reliability analysis of hybrid energy systems: Case study of Davutpasa Campus. IEEE Eurocon 2013 Conference, 1-4 Temmuz, Zagreb, Hırvatistan, 1141-1144.
- [3] Zhou W., Henerica T., Xiaohua X. 2015. Demand side management of photovoltaic-battery hybrid system. Applied Energy, 148: 294-304.
- [4] Kaldellis J.K., Kapsali M. 2011. Simulating the dust effect on the energy performance of photovoltaic generators based on experimental measurements. Energy, 36 (8): 5154-5161.
- [5] Maghami M.R., Hizam H., Gomes C., Radzi M.A., Rezadad M.I., Hajighorbani S. 2016. Power loss due to soiling on solar panel: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 59: 1307-1316.
- [6] Romero-Fiances I., Muñoz-Cerón E., Espinoza-Paredes R., Nofuentes G., De La Casa J. 2019. Analysis of the performance of various pv module technologies in Peru. Energies, 12 (1): 1-19.
- [7] Akdemir H., Durusu A., Erduman A., Nakir I. 2018. Effect of energy management of a grid connected photovoltaic/ battery/load system on the optimal photovoltaic placement on a national scale: The case of Turkey. Journal of Solar Energy Engineering: Transaction of ASME, 140 (2): 1-8.
- [8] Berrera M., Dolara A., Faranda R., Leva S. 2009. Experimental Test of of Seven Widely-Adopted MPPT Algorithms. IEEE Bucharest Power Tech Conference, 28 Haziran-2 Temmuz, Bucharest, 1-8.
- [9] Nakir İ. 2007. Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [10] Martin A.D., Vazquez J. R., Cano J.M. 2018. MPPT in PV systems under partial shading conditions using artificial vision. Electric Power Systems Research, 162: 89-98.
- [11] Reshma Gopi R., Sreejith S. 2018. Converter topologies in photovoltaic applications – A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 94: 1-14.
- [12] Yilmaz U., Turksoy O., Teke A. 2019. Improved MPPT method to increase accuracy and speed in photovoltaic systems under variable atmospheric conditions. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 113: 634-651.
- [13] Salas V., Ol'as E., Barrado A., La' zaro A. 2006. Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. Solar Energy Materials and Solar Cells, 90: 1555-1578.
- [14] Salas V., Ol'as E., La' zaro A. Barrado A. 2005. New algorithm using only one variable measurement applied to a maximum power point tracker. Solar Energy Materials and Solar Cells, 87: 675-684.
- [15] Durusu A. 2011. Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde kullanılan maksimum güç noktası takip ediciler için farklı algoritmaların karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Kameradan Alınan Görüntünün CNC Tezgâhında Gerçek Zamanlı Olarak İşlenmesi**

Sıtkı ÖZTÜRK<sup>1</sup>, Melih KUNCAN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Kocaeli Üniversitesi, Elektronik Haberleşme Mühendisliği, Kocaeli  
<sup>2</sup>Siirt Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği, Siirt  
(ORCID: 0000-0003-3804-5581) (ORCID: 0000-0002-9749-0418)

---

### **Özet**

Bu çalışmada endüstride yaygın olarak kullanılan bilgisayar destekli sayısal kontrolöre (CNC (Computer Numerik Control)) koordinat desteği ile görüntünün ölçekli olarak çizdirilmesi hedeflenmiştir. Bilgisayar ortamında alınan görüntünün görsel olarak benzetiminden sonra elde edilen iskelet yörünge koordinatları, CNC hareket yörünge komutlarına dönüştürülmekte ve CNC ünitesine yüklenen hareket komutları makinede otomatik olarak işlenmektedir. Bu çalışma sayesinde görüntü işlemenin kullanım alanları ile programlanabilir makinelerin çalışma alanları birleştirilerek, yararlı bir çalışma oluşturulması amaçlanmıştır. Görüntünün kameradan alınarak, üzerinde belirli işlemlerin uygulanması sonucunda, kullanılacak gerekli bilgiler alınmıştır. Bunun için sırasıyla alınan görüntüye belirli bir eşik değeri uygulanarak siyah beyaz (binary) bir görüntü oluşturulmuş ve iskelet çıkarımları yapılarak görüntünün koordinat değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada, iskelet çıkarımı için Matlab programında görüntünün iskeletini oluşturma (skeleton) fonksiyonundan yararlanılmış, koordinat değerleri ise sınır çıkarma fonksiyonları ile (bwboundaries) belirlenmiştir. Elde edilen koordinat değerlerini CNC’de hareket komutuna dönüştürebilmek için 'g kod' una dönüştürmek gerekmektedir. Bu işlem basamağı Matlab programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. g kodu çıktı dosyası USB bellek yardımı ile CNC’ye aktarılarak x-y düzleminde görüntüyü istenen şekilde talaş kaldırarak çizdirilmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada, kameradan alınan görüntünün koordinatlarının hesaplanması sayesinde istenen şekilde CNC tezgah tarafından işlemenin yapılması amaçlanmıştır. Görüntü işleme aşamasında Matlab programı kullanılmış, işlenen görüntüyü istenen şekilde talaş kaldırarak çizdirebilmek için Siemens’in Sinumerik CNC tezgâhı kullanılmıştır. Prototip makinede gerçekleştirilen işleme çıktıları üzerinde yapılan ölçüm testleri sonucunda işlemenin orijinal resme uygun hatasız bir şekilde gerçekleştiği gözlenmiştir. Yapılan karşılaştırma ve değerlendirmelerde teorik sonuçlarla pratik sonuçların büyük oranda örtüştüğü sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Görüntü işleme, g kod, CNC makine, gerçek zamanlı işleme.

---

## **Real-Time Processing of the Image Taken from the Camera on the CNC Machine**

---

### **Abstract**

The aim of this study is to plot the image with the CNC (Computer Numerik Control) co-ordinated support, which is a common practice in the industry. The movement commands loaded on to the device are performed automatically on the device. The aim of this work is to combine the areas of use of image processing and the working areas of programmable machines in order to create useful work. The image is obtained from the camera and the necessary information obtained as a result of individual operations. To this end, a black-and-white (binary) picture was developed by adding a specific limit value to the picture, and the skeleton inferences were achieved and the coordinate values of the picture were acquired. In this study, the skeleton function was used for skeleton extraction in the Matlab program and the boundary was determined by the coordinate values. It is essential to transform the acquired coordinate values to 'g code' in order to transform them to CNC movement commands. This phase has been finished with the Matlab program. The g code output file is transferred to the CNC with the help of the USB memory, and the image is drowned plotted in the x-y plane by removing the chips as desired. As a result, the aim of this study is to conduct the machining of the CNC machine as required by calculating the picture coordinates drawn from the camera. The Matlab program was used at the image processing stage and the Siemens Sinumerik CNC machine was used to write the machined picture as requested. The machining was carried

---

\*Sorumlu yazar: [melihkuncan@siirt.edu.tr](mailto:melihkuncan@siirt.edu.tr)

Geliş Tarihi: 11.09.2019, Kabul Tarihi: 16.03.2020

out without mistake as a consequence of the assessment experiments carried out on the prototype device. In comparisons and assessments, it is found that theoretical findings and practical outcomes are in great agreement.

**Keywords:** Image processing, g code, CNC machine, real time machining.

## 1. Giriş

Bilim ve teknolojinin hızlı gelişmesi ile çok sayıda endüstriyel ürün ortaya çıkmış ve beraberinde farklı alanlarda yeniliklere ve yeni uygulamalara ihtiyaç doğmuştur. Bu durum yenilik ve yeni uygulamaların gelişmesine katkı sağlamıştır. Başta sanayi uygulamaları olmak üzere, günümüz imalat sektörünün vazgeçilmezi durumundaki CNC tezgâhlar üzerine çalışmalar giderek artmıştır. CNC tezgâhlar üzerine çalışmaların artmasıyla beraber CNC programlama hem akademik hem de ticari anlamda çok önem kazanmıştır.

Teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte sistemlerin çoğunda insan gücünün yerini teknolojik sistemler almaktadır. Teknolojik sistemlerin öneminin artmasıyla birçok endüstriyel ürünler farklı alanlarda ortaya çıkmıştır. Sanayi, savunma, sağlık, imalat, üretimin olduğu sektörler vb. birçok alanda yeni uygulamalara ihtiyaçlar doğmuştur. Bu bağlamda insanların ihtiyaç duyduğu tüketim malzemeleri otomasyon sistemleri yardımıyla daha kısa sürede, daha kaliteli, seri ve daha ucuza mal eden teknolojik araçlar imal edilmektedir. Çeşitli alanlarda ortaya çıkan ihtiyaçlar doğrultusunda başta sanayi uygulamaları olmak üzere çok sayıda çalışmanın gerçekleştirildiği görülmektedir. Bunların en başında, imalat sektöründeki yaygın uygulamalarından söz edebilir ve günümüz imalat sektörünün vazgeçilmezi durumundaki CNC tezgâhların üzerine çalışmaların arttığı görülmektedir. Bilgisayar Destekli Numerik Kontrol için kısa ad olarak kullanılan CNC tezgâh ve sistemleri, yazılı bir programa göre insanın hiçbir müdahalesi olmadan bir parçayı işleyen veya bir işi yapan sistemlerdir [1-3].

CNC tezgâhlar, konvansiyonel tezgâhların optimize edilmesi sonucu ortaya çıkan bir ürün olarak ifade edilebilmektedir. Yüksek hassasiyet ve hızlı işlem kabiliyetlerinden dolayı, imalat sektöründe CNC'ler çok geniş bir kullanım alanına sahiptirler [4, 5]. Sayısal kontrol fikri II. Dünya Savaşı'nın sonlarında ABD hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan karmaşık uçak parçalarının üretimi sırasında ortaya atılmıştır. Bu karmaşık parçaların o günkü mevcut imalat tezgâhları ile üretilmesinin mümkün olmadığından bunun gerçekleştirilmesi için Parsons Corporation ve MIT (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü) ortak bir çalışmayı hayata geçirmişlerdir. 1952 yılında ilk olarak Cincinnati-Hydrotel freze tezgâhını sayısal kontrol ile entegre ederek bu alandaki ilk başarılı çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Bu yıllardan sonra birçok takım tezgâhi üreticisi sayısal kontrollü tezgâh imalatına geçmişlerdir. 1970'lerden sonra, elle hazırlanan taslaklar yerine bilgisayar destekli tasarım sistemleri kullanılarak elektronik olarak hazırlama daha fazla kabiliyet sağlamaya başlamasından dolayı şirketlerin CAD'a (Computer Aided Design) geçmesinin maliyet avantajı ön plana çıkmıştır. Sonuçta CAD işlemleri tasarımcıya mühendislik hesaplamaları yapma olanağı sağlamaktadır. Bu geçiş esnasında, hesaplamalar elle ya da bilgisayar programları çalıştıran kişilerce gerçekleştirilmektedir. CAD, taslak, tasarımcı ve mühendislik rollerinin birleşmeye başladığı mühendislik alanında giderek önemi artmaktadır. Ayrıca bazı CAD yazılımları dinamik matematiksel modelleme yeteneğine sahiptir ve bunun sonucunda CAD yazılımı olarak pazarlanabilmektedirler. CAD teknolojisi, küçük konutlardan en geniş ticari ve endüstriyel yapılara (hastaneler, fabrikalar vb.) kadar her türlü binanın tasarım ve taslağı hazırlanırken aynı zamanda araç ve makine tasarımında da yaygın olarak kullanılmaktadır. CAD, genel olarak, 3B modellerin ve/veya 2B fiziksel bileşenlerin çizimlerinin ayrıntılı mühendisliği için kullanılır; ancak, bileşenlerin kuvvet ve dinamik analizi ile bileşenlerin üretim yöntemlerinin tanımlanmasına kadar, kavramsal tasarım ve ürün yerleşiminden mühendislik süreci boyunca da geniş bir alanda kullanımı mevcuttur. CAD, bilgisayar destekli teknolojiler kapsamında özellikle düşük maliyetli ürün geliştirme ve tasarım döngüsü kısaltılması gibi önemli bir teknoloji haline gelmiştir. CNC tezgâhlarındaki ürünün işlenmesi için CAD olarak bilinen Bilgisayar Destekli Tasarım, bir ürünün tasarımına yönelik olup, ürünün imalat resmini oluşturmaktadır. Günümüzde CAD her çeşit makine, gemi, uçak, taşıt, beyaz eşya ve her çeşit ürünlerin tasarımında geniş bir alanda kullanılmaktadır [6-7].

CAM olarak isimlendirilen (Computer Aided Manufacturing) Bilgisayar Destekli İmalat, esasen imalata yönelik bir sistem olarak tanımlanabilir. CAM, CAD sisteminde oluşturulan üretim resimlerine göre oluşturulacak ürünün işlenmesi için takım hareket yolunu oluşturur ve bunu CNC tezgâhların çalışması için NC programına dönüştürür. NC programının esasları g-kodlarıdır. Günümüzde CAM sistemi

CAD-CAM altında entegre olarak çalışmaktadır. Genel olarak CAD, CAM, CNC çok yakın ilişkili sistemleri tanımlamaktadır. Günümüzde CAD-CAM-CNC şeklinde bütünleşmiş durumundadırlar. Bu sistemlerin sonucu olarak üretim ve ürün yenilik çevrimleri çok kısa zamanda gerçekleştirilerek, çok geniş, kaliteli ve ucuz ürün yelpazesi meydana getirilmektedir. Üretim alanında çalışan herhangi bir kimsenin, CNC tezgâhları ve bunların programlanması hakkında az veya sistemi kontrol edebilecek bilgiye ihtiyacı vardır. CNC tezgâhlarda bir parçanın işlenmesi parçanın NC programında açıklanır. Buna göre program, bir parçanın tam olarak işlenmesi için tüm bilgileri içeren ve bunları tezgâhların kontrol ünitesine giriş olarak veren bir belgedir. Genelde bir programda dört çeşit bilgi vardır.

- Geometrik bilgiler. Parçanın şeklini ifade eden bilgilerdir.
  - Hareket bilgileri. Takım veya parçanın yaptığı hareketlerin şeklini ve yönünü içeren bilgilerdir. Genelde CNC sistemlerin programlanmasında parça ilerleme hareket etse dahi, bu hareketler takım tarafından yapıldığı varsayılır.
  - Teknolojik bilgiler. Takımı, ilerleme hızını ve kesme hızını içerir.
  - Yardımcı bilgiler. İş milinin hangi yönde dönmesini, takım değiştirmesini, kesme sıvısının kullanılması vb. işlemleri içerir.
- Genelde CNC tezgâhları için program oluşturmak için üç yöntem vardır:
- ISO kod (g-kodu) sistemine dayanan, direkt programlama.
  - APT gibi programlama dili.
  - Grafik etkileşime dayanan programlar.

Bunlar; CAM adını taşıyan programlar ve bazı firmaların özel olarak geliştirdikleri ve genelde diyalog esasına dayanan programlama yöntemi şeklinde olabilirler. Programlama sistemleri ne olursa olsun şimdiki haliyle CNC tezgâhları ISO (dosya biçimi) yani g- koduna göre çalışırlar. Buna göre diğer yöntemlerle önce takım yolu oluşturulur, daha sonra postprosesör denilen bir sistemle yol bilgileri G kodlarına dönüştürülür ve bu şekilde CNC tezgâha program yüklenir.

CAD-CAM sistemlerinde yukarıda bahsedilen uygulamaların yaygın bir şekilde kullanıldığı bilinmektedir. Geçmiş yıllarda NC takım tezgâhlarında vakumlu tüpler, röleler, karışık kontrol ara yüzleri kullanılmaktaydı. Ancak bu ürünlerin sık sık tamirleri hatta yenilenmeleri gerekmekteydi. Sonraki yıllarda NC takım tezgâhlarında daha kullanışlı olan minyatür elektronik tüp ve yekpare devreler kullanılmaya başlanmıştır. Bilgisayar teknolojisinin hızlı gelişmesi sayısal kontrollü sistemleri de önemli ölçüde etkilemiştir. Son yıllarda artık NC tezgâhlarda daha yüksek düzeyde geliştirilmiş olan entegre devre ekipmanları, uygun fiyat ve güvenilir olan donanımlar kullanılmaktadır. ROM (Read Only Memory) teknolojisinin kullanılmaya başlanmasıyla da programların hafızada saklanması mümkün olmuştur. Yukarıda bahsedilen sistemli gelişmeler, CNC'nin ortaya çıkmasına öncülük etmiştir. CNC sonraki yıllarda torna, matkap vb. takım tezgâhlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [6-7].

Görüntü işleme, ölçülmüş veya kaydedilmiş görüntü verilerini, elektronik ortamda amaca uygun şekilde değiştirmeye yönelik yapılan bilgisayar çalışmalarını kapsamaktadır [8]. Teknolojinin hızlı gelişmesi neticesinde görüntü işleme uygulamaları geniş bir alanda çalışma konusu olmuştur. Başta sanayi, askeriye, tıp, tarım, imalat sektörü olmak üzere birçok farklı alanda hem akademik hem de endüstriyel çalışmalar yaygın bir şekilde yapıldığı görülmektedir. Bu bağlamda birçok farklı düzeyde görüntü işleme çalışması mevcuttur.

İleri düzey görüntü işleme problemlerinin standart yöntemlerle çözülmesi oldukça zordur. Matlab ve Image Processing Toolbox görüntü işleme, analiz, görselleştirme ve algoritma geliştirme için oldukça kullanışlıdır.

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında geliştirilen CNC test düzeneğinde görüntü işleme uygulamasının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Böylelikle endüstride çok önemli bir yere sahip olan CNC tezgâhların görüntü işleme uygulamaları ile entegre edilerek hem akademik hem de ticari bir çalışmaya öncü olması hedeflenmiştir. Bu çalışma sayesinde gerçek zamanlı olarak kameradan alınan görüntünün, CNC tezgâhta istenen hassasiyette işlenmesi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında CNC tezgâhının çalışma mantığı, eksen hareketleri ve motorların konumlandırılması incelenmiştir. Çalışmanın ikinci aşaması olan görüntü işleme kısmında ise oluşan ikili resimden koordinat değerlerinin hangi ölçütlere göre alınacağı belirtilmiş, CNC tezgâhına bu hareket yörünge koordinat değerlerinin nasıl yükleneceğinden anlatılmıştır. Koordinat değerlerinin normalizasyon edilmesi için kullanılan algoritmasına da çalışmanın üçüncü bölümünde yer verilmiştir.

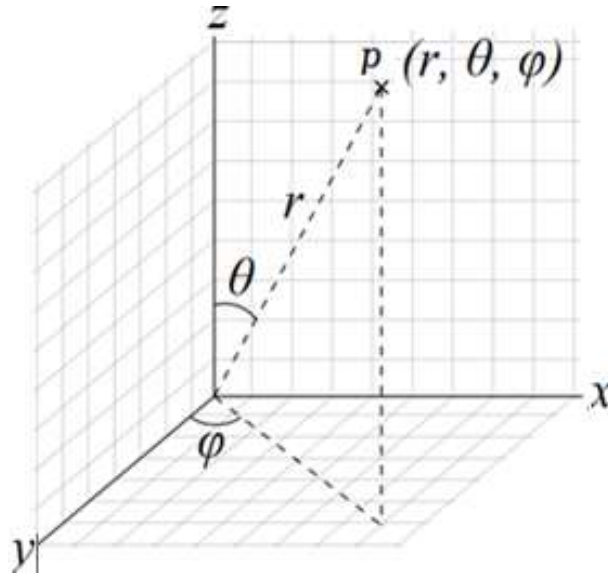


Yapılan bu çalışma sonucunda başta imalat sektörü olmak üzere birçok sektörde kullanım potansiyeline sahip bir prototip CNC çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın görüntü işleme ile entegre edilerek disiplinlerarası faydalı bir çalışma gerçekleştirildiği düşünülmektedir. Çalışma kapsamında kameradan alınan bir görüntü ile Matlab üzerinde görüntü işleme alanında işlemler yapabileceği ve CNC tezgâhında parça işlemenin yapılabileceği görülmüştür. Bu işlemlerin geliştirmekte olduğunu ve geliştirilebileceği, görüntü işlemenin günümüzde çoğu uygulamalara eklenebileceği elektronik cihazlar ile işbirliği içinde çalışma sağlanabileceği görülmüştür. Koordinat bulma ve bu koordinatları sıralı olarak alma konusunda detaylı araştırmalar yapılmış yeni uygulamalar ve çözümler bulunmaya çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda yüksek başarı oranıyla işleme olayının yapıldığı belirlenmiştir.

## 2. Nümerik Kontrol

Bu çalışmada kullanılan modül, eksenlerin ve düzlem açıklamalarının koordinat sistemine göre atamalarını açıklamakla birlikte çalışma alanı ile ilgili noktaların tanımlanmasına da imkan vermektedir. DIN standardına göre, CNC tezgâhlarının çalışma alanındaki çeşitli hareket eksenleri harflerle ifade edilmektedir.

Koordinat sistemi, bir noktanın veya geometrik elemanın konumunu hatasız şekilde belirlemek için çoklu olarak sayıların kullanıldığı sistem olarak tanımlanmaktadır. Şekil 1’de verilen  $p$  noktasının koordinatı  $p(x, y, z)$  olarak Kartezyen düzlemde 3 boyutlu olarak veya  $p(r, \theta, \varphi)$  olarak kutupsal düzlemde verilmektedir.  $x, y$  ve  $z$  Kartezyen düzlemin orjininden  $p$  noktasına herbir düzleme dik uzaklığını göstermektedir. Aynı şekilde kutupsal düzlemde  $r, \theta$  ve  $\varphi$  sırasıyla koordinat mesafesi, kutup açısı ve azimut açısı olarak tanımlanmaktadır. Koordinatlar, temel matematikteki reel sayılar olarak, karmaşık sayılar ya da soyut bir sistemin elemanları olabilirler.

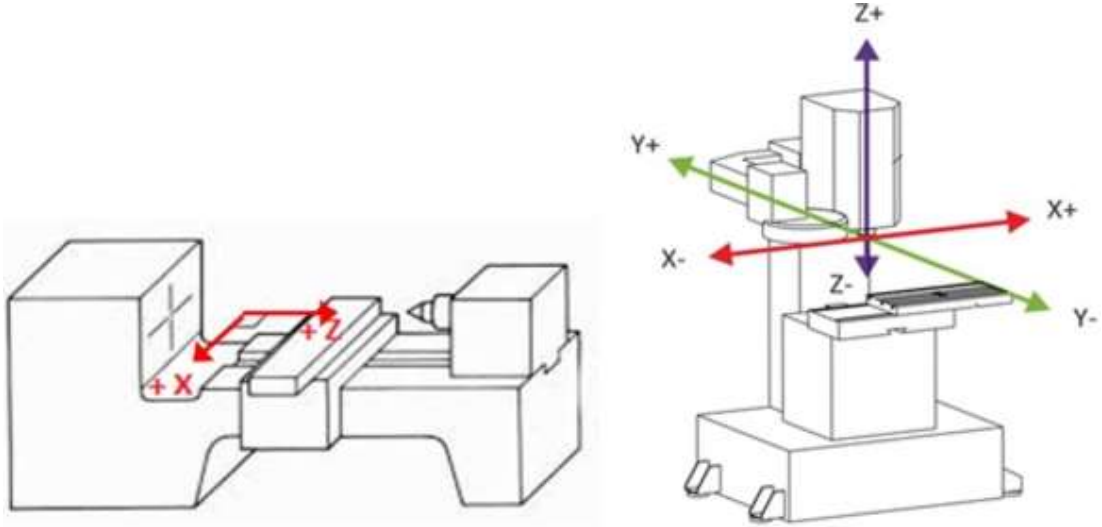


Şekil 1. Küresel koordinat sistemi kesit görüntüsü [7]

Tüm gerçek nesnelere üç boyutludur. Bu nesnelere çizmek için ilk CAD sistemlerinde resimler sadece iki boyutlu olarak (2B) çizilebiliyordu. 1970’lerin sonlarında üç boyutlu görüntü veren perspektif çizimler çizilmeye başlanmıştır. Üç boyutlu çizimler önce tel kafes modeli, sonra yüzey modelleme ve özellikler 1990’lardan sonra gerçek hayattaki nesnelere temsil eden katı modelleme denilen sistemler çizilmeye başlanmıştır.

Üç boyutlu nesnelere yüzey ve katı modellerine dayanarak, CAM sistemleri geliştirilmiştir. Katı modellemede nesnelere hacmi, ağırlıkları ve kütle eylemsizlik momentleri de hesaplanır. Kısaca üç boyutlu nesnelere ekranda görüntülenmesi yalnızca nesne şekillerinin kolay anlaşılması bakımından değil, bilgisayarlı üretim ve mühendislik analiz alanlarında kullanılmasında da çok önemli bir yere sahip

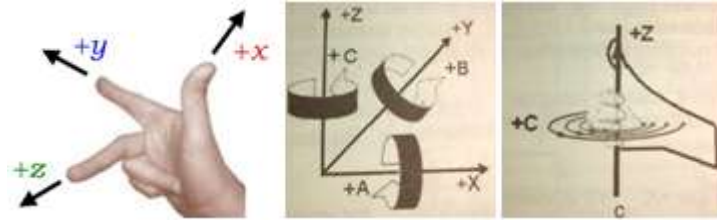
olduğu anlaşılmaktadır. CNC sistemler Şekil 2’de gösterildiği gibi belirli bir koordinat sistemine göre çalışırlar.



Şekil 2. CNC torna ve freze tezgâhında kullanılan temel eksenlerin gösterimleri [7]

CNC sistemlerde standart olarak kabul edilen koordinat sistemi Kartezyen koordinat sistemi olarak tanımlanmaktadır. Koordinat sistemine parçayı işlemek için takım yolu tayin edilmektedir. Parçanın geometrisini açıklayan takım yolu parça üzerindeki önemli noktalardan meydana gelmektedir. Koordinat sistemi bir noktanın düzlemde veya uzayda tam olarak yerini tayin eden bir araç olarak ifade edilmektedir. İki eksenli koordinat sistemi ele alındığında X ve Y düzlemlerindeki koordinatlar bulunmaktadır. İki eksenli koordinat sisteminin yanı sıra üç eksenli Kartezyen koordinat sistemi de bulunmaktadır. Üç eksenli koordinat sisteminin eksenleri X, Y, Z simgeleri ile ifade edilirler. XY, YZ ve XZ olmak üzere üç düzlem içermektedirler. XY düzleminde  $Z=0$ , XZ düzleminde  $Y=0$  ve YZ düzleminde  $X=0$  olarak tanımlanmaktadır. Çalışma düzlemleri de denilen bu düzlemler belirli kodlarla ifade edilmişlerdir.

CNC sistemlerinde doğrusal hareketlerin yanı sıra dönme hareketleri de mevcuttur. Buna göre CNC sistemlere ait koordinat sistemlerinde X, Y, Z ile gösterilen doğrusal hareket eksenlerinin yanı sıra, bu eksenlerin etrafında dönme eksenleri de mevcuttur. Dönme eksenleri X eksenini etrafında A, Y eksenini etrafında B ve Z eksenini etrafında C ile tanımlanmaktadır. Üç eksenli koordinat sistemlerinde X, Y, Z eksenlerinin yönlerini tayin etmek için genelde sağ-el kuralı kullanılmaktadır. Bu kural; X eksenini esas alındığında, Y eksenini buna dik ve Z eksenini XY düzleme dik olmaktadır. Eksenlerin yönleri; başparmak +X yönünü, işaret parmağı +Y yönünün ve orta parmak +Z ekseninin yönünü göstermektedir.



Şekil 3. Koordinat düzleminde sağ-el kuralı gösterimi [7]

+A, +B, +C dönme yönleri Şekil 3’te gösterilen yine sağ-el kuralı ile tayin edilmektedir. Buna göre eksen, başparmak ekseninin pozitif yönünü gösterecek biçimde tüm elle kavranırsa, diğer parmakların uçları dönmenin pozitif yönünü gösterir. Şekil 3’te bu kural etrafındaki dönme eksenini C ile gösterilen Z eksenine uygulanmıştır.

Kartezyen koordinat sisteminin yanı sıra polar, silindirik ve küresel koordinat sistemleri de kullanılmaktadır. Bu koordinat sistemlerinin özelliği, bir noktanın yerini göstermek için eksenlerin yanı sıra açıların da hesaba katılmasıdır. Buna göre 2-boyutlu düzlemde uygulanan polar koordinat

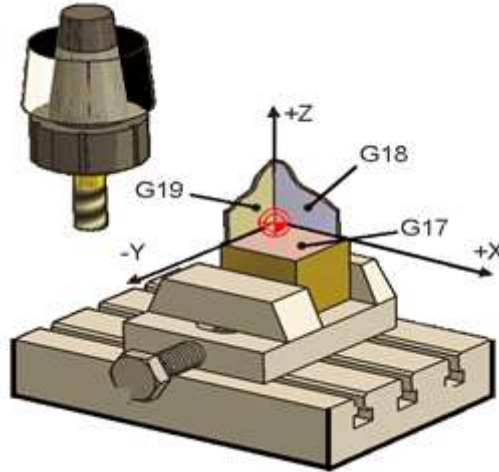
sisteminde bir noktanın koordinatları, orijinden noktaya kadar olan uzaklık R ve bu uzaklığın örneğin X eksenindeki açısı A ile ifade edilmektedir. Polar koordinat sistemleri XY, YZ ve ZX düzlemlerinde kullanılabilir.

CNC tezgâh ve sistemlerde; tezgâh, parça ve takım olmak üzere üç ayrı koordinat sistemi mevcuttur. Tezgâhın kontrol edilen hareket yönlerine tezgâh eksenleri olarak ifade edilir. Bir CNC tezgâhında; X, Y ve Z ile gösterilen üç doğrusal hareketin yanı sıra A, B, C ile simgelenen üç dönme hareketi olmak üzere toplam altı eksen olabilir. Ayrıca ana eksen denilen X, Y, Z eksenlerine paralel olarak U, V, W ile ifade edilen yardımcı üç doğrusal eksen daha ilave olarak söylenebilir.

NC programında parçanın geometrisi, parça üzerindeki önemli noktalarının koordinatları ile ifade edilmelidir. Bu koordinatlar tezgâh koordinat sisteminden bağımsız olarak programcı tarafından seçilen parça koordinat sistemine göre tanımlanmaktadır. Bu koordinat sisteminin orijini parçanın sıfır noktası olarak alınır. Parçanın sıfır noktası, parça üzerinde veya dışında herhangi bir nokta olabilir. Ancak eksen yönleri, tezgâh eksenleri yönünde olmak zorundadır.

Takım koordinat sisteminin orijini tayin eden takımın sıfır noktası, genelde milinin veya iş miline bağlı takım tutturma tertibatının alın yüzeyinde alınır. Takımın koordinatları bu noktaya göre seçilir. Takım boyutu temsil eden bu koordinatlar tornalamada Z ve X olarak, frezelemede yalnızca Z olarak ifade edilmiştir. Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, bir CNC tezgâhında tezgâhın sıfır noktası, parçanın sıfır noktası, takımın sıfır noktası ve eksen sınır noktası olmak üzere dört önemli nokta vardır [7].

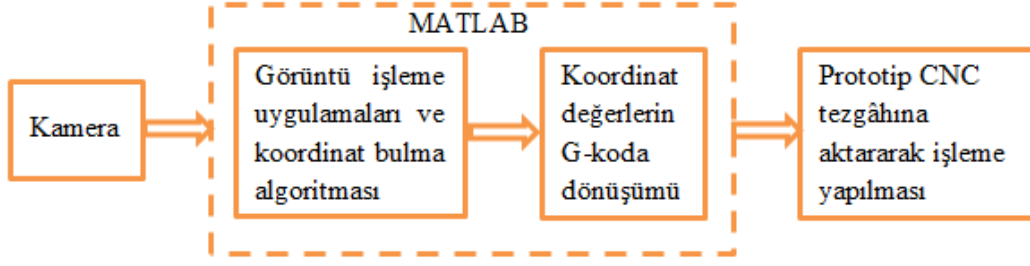
Sinumerik 808D, DIN66217 standardına uygun bir koordinat sistemi kullanır. Bu sistem uluslararası bir standarttır ve makine ile koordinat programlama arasındaki uyumluluğu sağlar. Koordinat sisteminin öncelikli fonksiyonu, ilgili eksen üzerinde takım boyu ve yarıçapının doğru hesaplanmış olmasını sağlamaktır. Şekil 4'te DIN66217 standardına uygun eksenler ve g-kodu kodları verilmiştir. Z Eksen: İş mili ile paralel veya dengittir. Pozitif yön, iş parçasından uzak bir yönü işaret eder. X Eksen: Bağlantı düzlemi ile paralel veya dengittir. Z eksenini dikey olduğunda, X eksenini sağa doğru döner. Z eksenini yatay olduğunda, X eksenini sola doğru döner. Y Eksen: X ve Z eksenine dik açılı olması sonucu, mekânsal kartezyen koordinat sistemi ortaya çıkar [9].



Şekil 4. DIN66217 standardı koordinat sistemi [9]

Bu çalışmada görüntüden alınan hareket koordinatlarının CNC de talaş kaldırılarak görüntünün tekrar elde edilmesi için gerekli sistem akışının blok diyagramı Şekil 5'te verilmiştir. Aşağıdaki akış diyagramında görüldüğü gibi ilk işlem basamağı olarak kameradan görüntü alınması işlemidir. İkinci adım olarak elde edilen görüntü üzerinde görüntü işleme uygulamaları kullanılarak koordinatların bulunması işlemidir. Üçüncü adım olarak görüntü işleme algoritması sayesinde elde edilen koordinat değerlerinin G koda dönüşüm aşamasıdır. Dördüncü ve son adım olarak elde edilen G kod koordinat değerlerine göre motorlara bilgi gönderilerek belirlenen noktalar üzerinde işleme yapılması işlemidir.

Bu adımların neticesinde kameradan alınan görüntüye göre prototip CNC tezgah ile gerçek zamanlı olarak işleme yapılması tamamlanmaktadır.



Şekil 5. Sistemin çalışma algoritması

### 3. Görüntü İşleme Algoritması

Görüntü işleme, gerçek yaşamdaki görüntülerin resim haline getirildikten sonra özelliklerinin ve niteliklerinin değiştirilmesi işlemidir [4]. Görüntü işlemeyi tam olarak açıklayabilmek için insandaki görme sisteminin temel çalışma mantığının bilinmesi oldukça önemlidir. İnsandaki görme sisteminin temel çalışma mantığı kısaca, gözün bir fotoğraf makinesi gibi resmi alması ve beynin de görme merkezi bu alınan resmi karmaşık bir görüntü işleme algoritması çalıştırarak görmemizi sağlayan, bir sistem olarak açıklanabilir [5]. Görüntü işleme teknolojisi günümüzde endüstriyel birçok uygulamada vazgeçilmez olarak uygulanmaktadır. Bu teknoloji, araç plaka tanıma, araç-nesne-kişi sayma, cinsiyet tanıma, nesne tanıma, kalite kontrol, otomasyon, üretim bantları, askeri, sağlık, güvenlik v.b birçok farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Görüntü işleme uygulamalarında bilgisayar programları olarak genellikle Open CV, Python, Matlab v.b programlar kullanılmaktadır. Bu programlardan en yaygın olarak kullanılanlarından bir Matlab programıdır. Bu çalışmada, Matlab görüntü işleme kütüphanesi fonksiyonlarından yararlanılarak, görüntü işleme gerçekleştirilmiştir. Şekil 6'da görüldüğü gibi kameradan resim alınmıştır. Alınan görüntüyü önce siyah-beyaza dönüştürmek için görüntü bir eşik değerinden geçirilerek birlerden ve sıfırlardan oluşan bir matris görüntüye dönüştürülür.



Şekil 6. Kameradan Alınan Görüntü

Elde edilen görüntü Şekil 7'den görüldüğü gibi grinin tonları ayrıştırılıp yalnız grinin siyah ve beyaz seviyeleri bırakılmıştır. Bu görüntü üzerinden görüntü işleme algoritmaları uygulanmaktadır. Görüntü işleme algoritmaları ile CNC hareket yörüngelerini elde etmek için görüntünün kenar koordinatları çıkarılmaktadır. Bu amaçla görüntüden iskelet çıkarma, inceltme ve koordinat oluşturma işlemleri gerçekleştirilir.



Şekil 7. Eşik değeri ile elde edilmiş ikili görüntü

#### 3.1. İskelet oluşturma

İskelet oluşturma amacını, bir nesnenin genel şeklini temsil eden bölge tabanlı bir şekil özelliğini çıkarmaktır. Algoritma kabaca her cisim için nesnede bulunan en yakın sınır noktalarını elde edecek şekilde çalışmaktadır. En az iki en yakın sınır noktası varsa, iç nokta iskelete aittir [10]. İskelet oluşturmak için birçok teknik kullanılmaktadır.

### 3.2. İskelet oluşturma teknikleri

Görüntü işleme uygulamalarında, en çok bilinen iskelet oluşturma için 3 temel teknik kullanılmaktadır [10].

- ◆ Sınır noktalarının mesafe haritasında tepeleri tespit etme.
- ◆ Sınır noktaları tarafından üretilen Voronoi diyagramının hesaplanması.
- ◆ Yüzey aşındırarak inceltme.

#### 3.2.1. Mesafe dönüşüm iskelet oluşturma teknikleri

Bu iskelet oluşturma yönteminde işaret işleme algoritması aşağıdaki gibi çalışmaktadır.

- i. Orijinal (S/B) görüntü, özellik ve özellik olmayan öğelere dönüştürülür. Özellik unsurları nesnenin sınırına aittir.
- ii. Uzaklık haritası, her bir öğenin en yakın özellik öğesine olan uzaklığı verdiği yerde oluşturulur.
- iii. Tepeler (yerel uçlar) iskelet noktaları olarak algılanır.

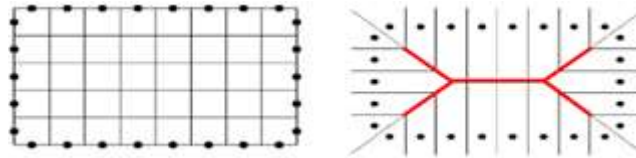


Şekil 8. İskelet oluşturma için mesafe dönüşüm [6]

Çıkarılan özellik noktaları Şekil 8’de görüldüğü gibi pembe karelerle (solda) ve şehir içi blok (veya 4 komşu) mesafeyi (sağdaki) kullanarak mesafe haritasıyla işaretlenir [10].

#### 3.2.2. Voronoi diyagramı

Noktalardan ve nesnelere oluşan kümenin komşuluk bilgilerini gösterir. Şekil 9’da görüldüğü gibi sınır noktalarının yoğunluğu sonsuzluğa ulaşırsa, karşılık gelen Voronoi diyagramı iskelete yaklaşır.



Şekil 9. Görselleştirilmiş voronoi diyagramları [6]

#### 3.2.3. İnceltme

- Orijinal resmin topolojisini korur.
- Şekli korur.
- Nesnenin ortasında olan "iskelete" odaklanır.
- Bir piksel / voksel genişlik "iskelet üretir.



Şekil 10. Sırası ile inceltmiş karakter [6]

Yapılan çalışmada inceltme algoritması aşağıdaki gibi çalışmaktadır. İnceltme algoritması için MATLAB’ın “bwmorph” fonksiyonu kullanılmıştır. Fonksiyon önce  $p$  pikselinin  $x_1, x_2, \dots, x_8$  sekiz komşu pikselini Şekil 11’de verildiği gibi  $p$  pikselinin sağından başlayarak saat yönünün tersine sırayla numaralandırır [11-12]. Burada  $x_9 = x_1$  olmaktadır.

$x_4$	$x_3$	$x_2$
$x_5$	$p$	$x_1$
$x_6$	$x_7$	$x_8$

Şekil 11.  $p$  pikselinin komşu pikselleri**Koşullar:****K<sub>1</sub>:**

$X_H(p) = \sum_{i=1}^4 b_i$ ,  $p$  pikseli için siyah noktadan beyaz noktaya geçme sayısı

$$b_i = \begin{cases} 1 & x_{2i-1} = 0 \text{ ve } (x_{2i-1} \text{ veya } x_{2i+1} = 1) \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1)$$

$$X_H(p) = 1 \quad (2)$$

**K<sub>2</sub>:**

$$n_1(p) = \sum_{k=1}^4 x_{2k-1} \vee x_{2k} \quad (3)$$

$$n_2(p) = \sum_{k=1}^4 x_{2k} \vee x_{2k+1} \quad (4)$$

$$2 \leq \min\{n_1(p), n_2(p)\} \leq 3 \quad (5)$$

**K<sub>31</sub>:**

$$(x_2 \vee x_3 \vee \bar{x}_8) \wedge x_1 = 0 \quad (6)$$

**K<sub>32</sub>:**

$$(x_6 \vee x_7 \vee \bar{x}_4) \wedge x_5 = 0 \quad (7)$$

Algoritma birinci adımda ilk alt bölümlenmede, eğer sadece  $K_1$ ,  $K_2$  ve  $K_{31}$  koşullarının yerine getirilmesi durumunda  $p$  pikselini sil.

İkinci alt bölümlenmede, eğer sadece  $K_1$ ,  $K_2$  ve  $K_{32}$  koşullarının yerine getirilmesi durumunda  $p$  pikselini sil.

İki alt düzenleme inceltme algoritmasının bir yinelemesini oluşturur. Sonsuz sayıda yineleme belirlediğinde ( $n = \text{Inf}$ ), yineleme görüntü değişmeyi bırakana kadar tekrarlanır.

MATLAB yazılan programda iskelet oluşturmada 'skel' komutu kullanılmıştır. Kameradan alınan  $I$  görüntüsüne "bwmorph(I,'skel',Inf)" fonksiyonu kullanılarak iskelet oluşturma ve inceltme işlemi birlikte elde edilmiştir.  $n = \text{Inf}$  alınarak nesnelerin sınırlarındaki pikseller kaldırılır ancak nesnelerin parçalanmasına izin verilmez. Kalan piksellerden görüntü iskeleti oluşturulur. Fonksiyon görüntüye uygulandıktan sonra karakterlerin kenarlarında voronoi diyagramı aşamasından dolayı dallanmalar meydana gelmektedir. Bu dallanmalar morfolojik işlemler yardımıyla kaldırılmıştır.



Şekil 12. Dallanmalardan arınmış görüntü

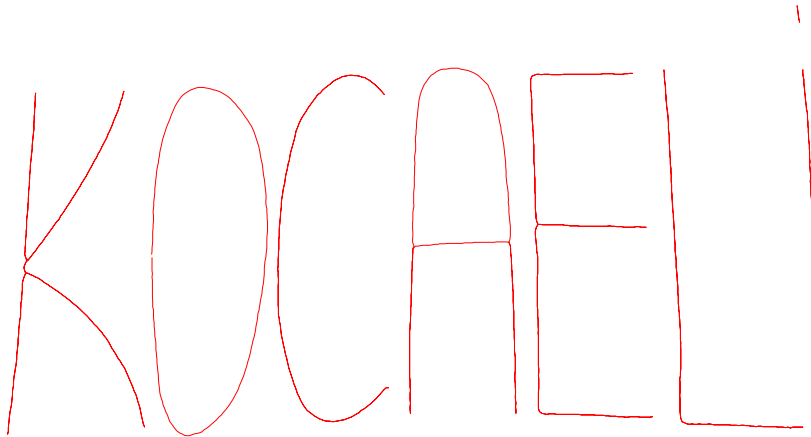
### 3.3. Koordinat bulma

Görüntüden koordinat değerini alabilmek için, Matlab programında ‘bwboundaries’ komutu kullanılmıştır. Görüntüdeki her pikselin  $X$  ve  $Y$ ’de oluşan değerlerinin alınması ile koordinat değerleri bulunmuş olur. Koordinat değerlerini alabilmek için, görüntünün S/B olmasından dolayı görüntü değişkeni ‘0’ ve ‘1’lerden oluşan bir dizidir. Bu dizinin sıfır olmayan elemanları piksellerin bir nesneye ait olduğu ve ‘0’ piksellerin arka planı oluşturmasından dolayı ‘1’ olan piksellerin koordinatları alınmıştır. Şekil 13’da, Şekil 6’daki görüntünün ‘bwboundaries’ komutu kullanılarak elde edilen koordinatları ile çizilmiş şekli verilmiştir [14-16]. Elde edilen koordinatların CNC’de hareket yörüngesinde kullanabilmek için filtreden geçirmek gerekiyor. Çünkü özellikle doğru parçalarının çiziminde başlangıç ve bitiş olmak üzere iki koordinat değeri yeterli olurken matlab de bu koordinat değerleri görüntünün format özelliğine göre tüm piksel değerlerini hareket yörünge koordinatları olarak vermektedir [17-18]. Bu da CNC’de aşırı bellek ihtiyacını oluşturuyor. Bu nedenle nesnenin iki pikseli arasındaki değişim miktarı belli bir  $\Delta\delta$  değerinin altında ise bu koordinat noktası ihmal edilecek şekilde filtreleme yapılarak hareket yörünge koordinat değerleri azaltılmıştır. Bu amaçla Denklem 8 kullanılmıştır. Elde edilen filtrelenmiş görüntü Şekil 9’da verilmiştir.

$$\begin{aligned} |I(i,1)-I(i+1,1)| > \Delta\delta \text{ veya } |I(i,2)-I(i+1,2)| > \Delta\delta &\Rightarrow \begin{cases} cnc((i,1)=I(i+1,1)) \\ cnc((i,2)=I(i+1,2)) \end{cases} \\ |I(i,1)-I(i+1,1)| \leq \Delta\delta \text{ veya } |I(i,2)-I(i+1,2)| \leq \Delta\delta &\Rightarrow \begin{cases} cnc((i,1)=I(i+1,1)) \\ cnc((i,2)=I(i+1,2)) \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$



Şekil 13. Matlab ‘bwboundaries’ komutu ile alınan görüntünün çizdirilmiş hali



Şekil 14. Matlab ‘bwboundaries’ komutu ile alınan görüntünün filtreleme sonucu çizdirilmiş hali

$\Delta\delta=1$  alınarak filtreleme sonucu elde edilen hareket yörünge koordinat sayısı nesnelere göre Tablo 1 verilmiştir.

**Tablo 1.** Görüntünün orijinal ve filtreleme sonrası CNC hareket yörünge koordinat sayıları

	1. Nesne	2. Nesne	3. Nesne	4. Nesne	5. Nesne	6. Nesne	7. Nesne	8. Nesne
Orjinal	3060x2	1665x2	2206x2	2592x2	3274x2	2188x2	71x2	1541x2
Filtrelenmiş	433x2	237x2	313x2	368x2	467x2	313x2	11x2	221x2

#### 4. CNC Programlama

CNC makinelerin çalışma prensibi; iş parçası sabit olup, takıma, yön, konum, pozisyon, hareket yönü vererek parçayı işlemek olarak ifade edilebilir.  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$  düzlemlerinde ölçü (bilgi ve konum) vererek  $X$ ,  $Y$  ve  $Z$ 'de ne kadar yol izleyeceğini makinenin anlayacağı  $G$  ve  $M$  kodları ile yapılmaktadır [19-21].

Koordinat değerlerini CNC'ye aktarabilmek için 'g-kod' a dönüştürmek gerekmektedir. Yapılan çalışmada bu işlem Matlab yazılan program aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan g-kod dosyası bir USB bellek yardımı ile CNC kontrolörüne aktarılarak makine ayarlamaları yapılarak makinenin çalıştırılması sağlanmıştır (Bir .txt dosyası oluşturulur ve alınan koordinat değerleri string olarak yazdırılır.). Şekil 15'deki koordinat değerleri ile Şekil 16'da görüldüğü gibi CNC'de işlenmiş görüntü gerçekleştirilmiştir.

```

kou - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
N1 G17 G500 G90 G71
N2 T1 D1
N3 S5000 M3 G94 F300
N4 X70.00
N5 Y-240.00
N6 Z-10.00
N20 G01 X69.85 Y-239.8500
N30 G01 X69.70 Y-239.8500
N40 G01 X69.55 Y-239.8500
N50 G01 X69.40 Y-239.8500
N60 G01 X69.25 Y-239.7000
N70 G01 X69.10 Y-239.7000
N80 G01 X68.95 Y-239.7000
N90 G01 X68.80 Y-239.7000
N100 G01 X68.65 Y-239.7000
N110 G01 X68.50 Y-239.7000
N120 G01 X68.35 Y-239.7000
N130 G01 X68.20 Y-239.7000
N140 G01 X68.05 Y-239.7000
N150 G01 X67.90 Y-239.7000
N160 G01 X67.75 Y-239.5500
N170 G01 X67.60 Y-239.5500
N180 G01 X67.45 Y-239.5500
N190 G01 X67.30 Y-239.5500
N200 G01 X67.15 Y-239.5500
N210 G01 X67.00 Y-239.5500
N220 G01 X66.85 Y-239.5500
N230 G01 X66.70 Y-239.5500

```

**Şekil 15.** Kaydedilen. txt dosyası

Görüntüden alınan koordinat değerlerini istenilen bir koordinat değerinden başlatılarak çizdirmek mümkündür. Bu çalışma kapsamında bunun yapılabilmesi için bir algoritma oluşturulmuştur. Ayrıca görüntüyü istenen boyutlarda oluşturmak için programa ölçekleme seçeneği eklenmiştir. Şekil 16 başlama konumu ve ölçekleme özelliği kullanılarak elde edilmiştir. Ölçekleme oranını  $K$  ile kameradan alınan resmin koordinat değerleri skaler çarpılarak, büyütülmekte veya küçültülmektedir.  $K > 1$  alınarak boyut büyütülmekte,  $0 < K < 1$  alınarak küçültülmektedir. Koordinat değerlerini istenilen bir koordinat değerinden başlatılarak çizdirmek için Denklem (9)'dan resmin koordinatlarının değiştirilme miktarı bulunmaktadır. Bu değişim miktarından herhangi bir resim koordinatın, CNC'de oluşturulacak yeni koordinatı da Denklem (10) ile elde edilmektedir. Bu elde edilen değer g-kod'a dönüştürülmek ve CNC'de işlenmektedir [22].



$$degisim_miktar = Resim_kord[1] - CNC_baslama_kord \quad (9)$$

$$CNC_kord[i] = Resim_kord[i] - degisim_miktar \quad (10)$$



Şekil 16. Kameradan alınan görüntünün prototip CNC sistemde işlenmiş parça görüntüsü

## 5. Sonuç ve Öneriler

CNC tezgâhlara olan ilgi, akademik ve endüstriyel alandaki gelişmelere bağlı olarak her geçen gün önemini daha da arttırmaktadır. Bu çalışma kapsamında, kameradan alınan görüntünün sınır koordinatlarının hesaplanması sayesinde belirlenen şekilde CNC tezgâh tarafından işlenmesi amaçlanmıştır. Görüntü işleme aşamasında Matlab programı kullanılmış, işlenen görüntüyü istenen şekilde çizdirebilmek için Siemens'in Sinumerik 808D CNC tezgâhı kullanılmıştır. Prototip makinede gerçekleştirilen işleme çıktıları üzerinde yapılan kumpas ölçüm testleri sonucunda işlemenin neredeyse hatasız bir şekilde gerçekleştiği gözlenmiştir. Yapılan karşılaştırma ve değerlendirmelerde teorik sonuçlarla pratik sonuçların büyük oranda örtüştüğü sonucuna varılmıştır.

Bunun yanı sıra kameradan alınan bir görüntü ile Matlab üzerinde görüntü işleme alanında işlemler yapabileceği ve CNC tezgâhında parça işlemenin yapılabileceği görülmüştür. Bu işlemlerin gelişmekte olduğunu ve geliştirilebileceği, görüntü işlemenin günümüzde çoğu uygulamalara eklenebileceği elektronik cihazlar ile işbirliği içinde çalışma sağlanabileceği görülmüştür. Koordinat bulma ve bu koordinatları sıralı olarak alma konusunda detaylı araştırmalar yapılmış yeni uygulamalar ve çözümler bulunmaya çalışılmıştır.

## Teşekkür

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri BAP Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü tarafından 2015-018 no'lu proje olarak desteklenmiştir.

## Yazarların Katkısı

Çalışmada tüm yazarlar eşit oranda katkı sunmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Etik Kurallar

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Gandhi A., Sangeetha M. 2018. Development of an Image Processing Algorithm for Smart CNC Machines. IEIE Transactions on Smart Processing & Computing, 7 (3): 232-235.
- [2] Londono J.C., Mario L.E., Mora R.J.M.E.G. 2018, September. Positioning of the Cutting Tool of a CNC Type Milling Machine by Means of Digital Image Processing, In Advances in Computing:

- 13th Colombian Conference, CCC 2018, Cartagena, Colombia, September 26–28, Proceedings, Springer.
- [3] Lopera J.C.L., Mora J.E.G., Mesa E.M.R. 2018. Positioning of the Cutting Tool of a CNC Type Milling Machine by Means of Digital Image Processing. In Colombian Conference on Computing, Springer, Cham.
- [4] Uyar E., Kavala D. 2010. 5 Eksen CNC İşleme Tezgahı Tasarımı ve PC Destekli Kontrolü-1. MakinaTek Dergisi.
- [5] Kavala D. 2010. Beş Eksenli CNC Tezgah Tasarımı ve Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [6] Kuncan M., Kaplan K., Ertunç H.M., Kucukates S. 2018. Design, Production and Novel NC Tool Path Generation of CNC Tire Mold Processing Machine. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33 (3): 1183-1199.
- [7] Kuncan M. 2017. CNC Tezgâhlarında Yazı Ve Desenlerin 3 Boyutlu Karmaşık Yüzeyle Aktarılması. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [8] <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/matlab-ile-goruntu> islemeuygulamasielektrikport-akademi/8434#ad-image-0 (Erişim Tarihi: 01.03.2017).
- [9] Siemens, Sinumerik 808D Freeze için Kullanım ve programlama prosedürleri, Eğitim kılavuzu, Versiyon 07.12.
- [10] <http://www.inf.u-szeged.hu/~palagyi/skel/skel.html> (Erişim Tarihi: 10.02.2017).
- [11] Lam L., Lee S.W., Suen C.Y. 1992. Thinning methodologies-a comprehensive survey. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 14 (9): 869-885.
- [12] Holt C.M., Stewart A., Clint M., Perrott R.H. 1987. An improved parallel thinning algorithm. Communications of the ACM, 30 (2): 156-160.
- [13] <https://www.mathworks.com/help/images/boundary-tracing-in-images.html> (Erişim Tarihi: 21.12.2016).
- [14] Acar U. 2011. Uydu Görüntüleri ve Tıbbi Görüntülerden Benzer Görüntü İşleme Teknikleriyle Bilgi Çıkarımı. Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] Tekinalp Z., Öztürk S., Kuncan M. 2013. OPC Kullanılarak Gerçek Zamanlı Haberleşen Matlab ve PLC Kontrollü Sistem. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK 2013, 26-28 Eylül, Malatya.
- [16] Ertürk A. 2016. Bilgisayarla Görüye Giriş Ders Notu. Görüntü Eşleme, Kocaeli.
- [17] Şengül Ö., Öztürk S., Kuncan M. 2020. Color Based Object Separation in Conveyor Belt Using PLC. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 18: 401-412.
- [18] Köse İ., Öztürk S., Kuncan M. 2019. Pantography Application with Real-Time PLC Based on Image Processing in Gantry Robot System. European Journal of Technique, 9 (2): 219-229.
- [19] Culha S. 2012. CNC Torna Tezgâhları için Kamera Görüntüsü ile Otomatik Parça Programlarının Oluşturulması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [20] Kuncan M., Kaplan K., Ertunç H.M., Küçükateş S. 2016. 5 Axis CNC Precision Tire Side Machining. European Journal of Technic, 6 (2): 117-123.
- [21] Kuncan M., Kaplan K., Ertunç H.M. 2015. 5 Axis CNC Tire Surface Prototype Machine. 3rd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science ISITES 2015, 3-5 June, Valencia, Spain.
- [22] Mustafa D., Melih K., Metin H.M. 2013. 3 eksenli mini CNC freze tezgâhı tasarımı ve imalatı. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK 2013, 26-28 Eylül, Malatya.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Santrifüj Dekantör Helezonunun Sonlu Elemanlar Analizi

Gözde SARI<sup>1\*</sup>, Ahmet Alper AKIŞ<sup>1,2</sup>, Gökhan ÜĞÜDÜCÜ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Manisa

<sup>2</sup>NUMESYS A.Ş., İzmir

<sup>3</sup>HAUS Makine Sanayi A.Ş., Aydın

(ORCID: 0000-0002-0046-9090) (ORCID: 0000-0001-7458-6671) (ORCID:0000-0003-2023-2602)

---

### Öz

Bu çalışmada atık su arıtma sektöründe kullanılan dekantör makinesi için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Çalışma kapsamında atık su arıtma sektöründe kullanılan dekantörlerde helezon tasarımı ve analizi yapılmıştır. Dekantörlerde makine içine alınan ürün, yüksek devirlerde dönerek katı ve sıvı olarak iki veya daha fazla faza ayrılır. Katı fazın susuzlaştırılıp dışarıya taşınması için helezon ile tambur farklı açısız hızlar ile dönmektedir. Makinede yüksek devirlerde dönen iki rotorun bulunması, helezonun asimetric yapıda olması ve içeriye alınan ürünün homojen dağılması gibi nedenlerden dolayı helezon yapraklarına kuvvetler uygulanmaktadır. Tasarım için öncelikle makine içerisine alınan karışımın hareketini modelleyen matematiksel eşitlikler ile tambur ve helezona gelen yükler belirlenmiştir. Farklı yaprak kalınlığına sahip helezonların sonlu elemanlar yöntemini temel alan analiz programı ANSYS kullanılarak dayanımı belirlenmiştir. Helezon yaprak kalınlıkları farklı alınarak her bir tasarım için gerilme grafikleri elde edilmiştir. Ayrıca her bir yaprak kalınlığı için emniyet katsayı değerleri belirlenmiştir. Emniyet katsayısı sonuçları değerlendirildiğinde yaprak kalınlığının olması gereken minimum değeri belirlenmiştir. Bu durumda maksimum eşdeğer gerilme değeri belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Dekantör, helezon tasarımı, sonlu elemanlar analizi, gerilme analizi.

---

## Finite Element Analysis of Centrifugal Decanter Screw

---

### Abstract

In this study, research and development studies were carried out for decanter machine used in waste water treatment sector. In the scope of the study, spiral design and analysis of decanters used in waste water treatment sector were performed. In the decanter, the product, which was taken into the machine, rotates at high speeds and was divided into two or more phases as solid and liquid. The spiral and the drum rotated at different angular speeds to dewater and transport the solid phase to the outside. For reasons such as the presence of two rotors rotating at high speeds in the machine, the spiral being asymmetric and the homogeneous distribution of the product inside, forces were applied to the spiral leaves. For the design, the mathematical equations that model the movement of the mixture taken into the machine and the loads to the drum and the helix were determined. The strength of the spirals having different leaf thicknesses was determined by using ANSYS which was based on finite element method. Stretch plots were obtained for spiral leaves by taking different spiral leaves. When the safety coefficient results are evaluated, the minimum value of the leaf thickness must be determined. In this case, the maximum equivalent stress value has been determined.

**Keywords:** Decanter, design of screw, finite element analysis, stress analysis.

---

### 1. Giriş

Dekantör santrifüj, katı-sıvı, sıvı-sıvı karışımların ayrılmasında kullanılır. Makine; elemanları taşıyan gövde, yüksek hızlı dönen tambur, tamburdan farklı hızda dönen helezon ve hız farkını ayarlayan tahrik grubundan oluşmaktadır. Besleme borusuyla ayrılacak olan ürün dekantöre alınır ve üzerine uygulanan merkezkaç kuvveti etkisi ile tambur yüzeyine doğru özgül ağırlıklar farkıyla birbirinden ayrılır. Tambur

---

\*Sorumlu yazar: [gozde.deger@cbu.edu.tr](mailto:gozde.deger@cbu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 18.09.2020, Kabul Tarihi: 08.04.2020

ile helezon farklı açısız hızla hareket etmektedir. Böylelikle tambur duvarlarına çöken katı, helezon vasıtasıyla konik kısma taşınır ve burada susuzlaştırılarak ürün alınır. Sıvı faz, katı fazın çıkış yönünün tersine helezonun oluşturduğu helisel yoldan ilerleyerek seviyesi ayarlanabilir plakalardan ürün tahliye edilir.

Çevre sektöründe kullanılacak dekantörün tasarımında iki ana hedef vardır. Birincisi çıkan katının nemsiz, diğeri ise sıvının berrak olmasıdır. Bell vd., 2014, dekantör tasarımında ürün kalitesini etkileyen önemli parametreleri belirlemişlerdir. Bunlar katı ve sıvı yoğunluğu, açısız hız, katı kütle oranı, katı ve sıvı çıkış yarıçapları, helezon hatve uzunluğu, helezon yaprak açısı, konik ve silindirik bölüm uzunluğu, sürtünme katsayısı, koniklik açısı ve diferansiyel hızdır. Ek olarak, helezonun konik bölgesinde taşınan katının helezon yapraklarına uyguladığı kuvvet ve katı kütlelenin iletimi için gereken gücü hesaplamışlardır. Helezon geometrik özellikleri, katı çıkış yarıçapı gibi makine parametrelerinin, helezonun katıyı taşıması için harcadığı güce etkisi gösterilmiştir. Helezonun yaprak açısı azaldıkça gereken güç artmaktadır. Bu artışın eğimi sürtünme katsayısının artışıyla büyümektedir. Katı çıkış yarıçapı arttırıldıkça gereken güç azalırken, relatif yoğunluk arttırıldıkça gereken güç artmaktadır [1]. Bizard vd, 2013, santrifüj kuvvet etkisi altındaki katının nem dengesi ile ilgili bir formül geliştirmişlerdir. Makalelerinde tarif ettikleri Bond sayısı; sıvı yoğunluğu, partikül çapı, açısız hız, katı çıkış yarıçapı ve yüzey gerilimine bağlıdır ve kılcallık sayısının hesaplanması esasına dayanır. Bond sayısı 30'un üzerinde ise katı çıkışındaki nem dengesi minimize edilmiş demektir [2]. Dong vd., 2014, ise besleme hızı ile makine boyutları arasında ilişki kuran sigma teorisini geliştirmişlerdir. Dekantörün besleme hızı; Bond sayısı, sıvı çıkış yarıçapı, relatif yoğunluk, silindir boyu, katı çıkış yarıçapı, yüzey gerilimi, sıvının vizkozitesi ve silindirik tamburun iç yarıçapına bağlıdır [3].

Dekantörlerde en önemli parçalar diferansiyel hız farkı ile dönen tambur ve helezondur. Bu parçalardaki dengesiz kütleler santrifüj kuvveti etkisi ile titreşime neden olmaktadır. Liu vd., 2015, ANSYS Fluent, Static Structural yazılımı kullanarak dekantör tamburunun içindeki akışkan-katı etkileşimini incelemişlerdir. Akışkan yapının yoğunluğuna bağlı olarak ortaya çıkan gerilmeleri elde etmişlerdir. Santrifüj ve hidrostatik basıncın helezon üzerindeki etkileri ve bu etki neticesinde tasarımda kritik bölgeler elde edilmiştir [4]. Zheng vd., 2009, yine Fluent kullanarak tambur içindeki akışkanın basınç ve hız diyagramlarını elde etmişlerdir [5]. Wang vd., 2010, ANSYS kullanarak helezon yapraklarının ve konik açısının tasarıma etkilerini incelemişlerdir [6].

Liu vd, 2007, helezon için statik ve titreşim analizi yapmışlardır [7]. Yang vd., 2008, Solidworks Simulation programını kullanarak helezonun farklı çap, rotasyonel hız, yaprak kalınlığı ve diğeri tasarım parametreleri için statik ve modal analiz yapmışlardır [8]. Domanski ve Zywicki, 2007, basınçlı kabın tasarımı için çeşitli tasarımlar yapmış ve optimize etmişlerdir [9]. Ahmed vd., 2014, çalışmalarında yeni basınçlı kap tasarımları sunmuşlardır. İç basınç altında olan bu tasarımlar, sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir [10].

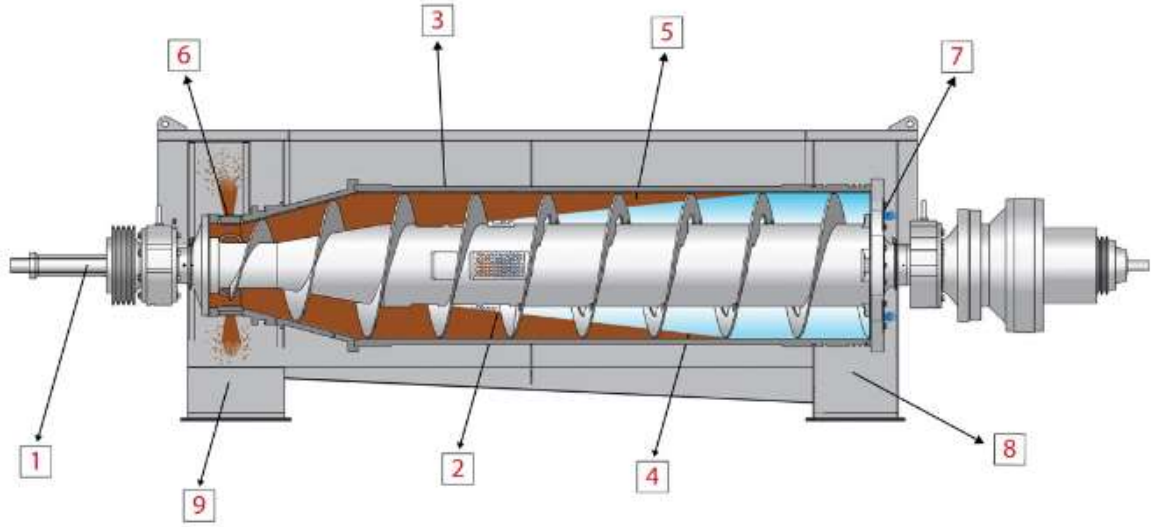
Bu çalışmada atık su arıtma sektöründe kullanılan dekantör makinesi için araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır. Sanayimizde mevcut olarak üretilmekte olan dekantörün yapraklarına gelen kuvvetler referans verilen bir makaleden yararlanılarak belirlenmiştir. Helezon yapraklarına uygulanan kuvvet neticesinde yapraklarda meydana gelen gerilmeler nümerik olarak elde edilmiştir. Helezonun yaprak kalınlığına göre değişen gerilme değerleri grafik halinde sunulmuştur. Tasarım ve yüklemeler için elde edilen emniyet katsayısı hesaplanmış ve olması gereken minimum helezon yaprak kalınlığı belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Santrifüj Dekantör Helezonunun Modellenmesi ve Gerilme Analizi

#### 2.1.1. Santrifüj Dekantörün Çalışma Prensibi

Santrifüj dekantörler; katı-sıvı karışımlarının ayrıştırılmasında, katı-sıvı karışımların susuzlaştırılmasında, konsantre edilmesinde, sınıflandırılmasında ve bileşenlerin ayrıştırılmasında kullanılmaktadır. Dekantörde ürün ayrıştırma şeması Şekil 1'de verilmiştir.



1. Ürün Giriş Borusu 2. Ürün Besleme haznesi 3. Tambur 4. Helezon 5. Separasyon Haznesi 6. Katı Çıkış Burcu  
7. Sıvı Çıkış Gözü 8. Sıvı Çıkış Şutu 9. Katı Çıkış Şutu

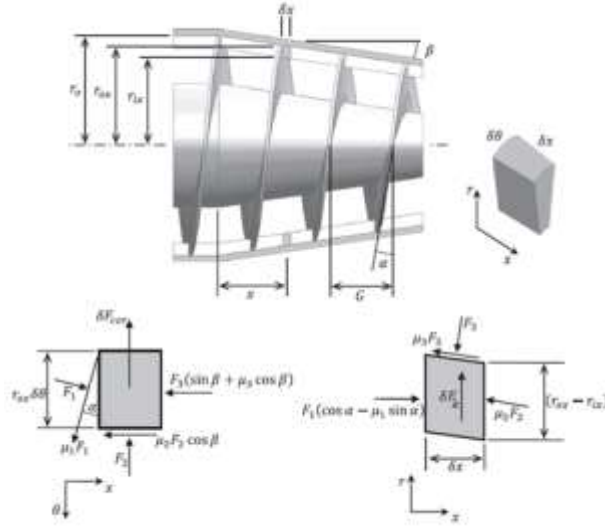
Şekil 1. Bir santrifüj dekantörün şematik gösterimi [11]

Şanzıman; hem tek hem de çift motorlu dekantör sisteminde kullanılan ve dekantörün ürün taşımada görev alır. Konik kesimde ürün, besleme borusundan girdikten sonra santrifüj etkisi altında kalır. Helezon yardımı ile konik kesime doğru ürün kaydırılır. Ürün içerisinde yoğun olan fazlar bu kısımda birikir ve ürün dışarıya bırakılır. Silindirik bölüm santrifüj etkinin olduğu en önemli bölümdür. Ürünlerin yoğunluk farkından dolayı ayrışmaya başladığı bölümdür. Berraklaştırılmış sıvı havuz, santrifüjde, yoğun fazdan ayrıştırılan kısımdır ve devamında sıvı atık kısmında ürün alınır. Katı atıklar konik kısımdan sonra ayrıştırılarak yoğun fazlı ürün dışarı alınır. Ürünün ayrıştırılmasından sonra ortaya çıkan yoğun faz, bazı uygulamalarla yoğun fazın parçacıkları birbiri ile birleşip katılaştırmış tortu haline gelebilmektedir. Hafif faz ürünü olan; sıvı atıklar da makinenin diğer ucundan elde edilir. Çamur, ürün giriş borusu yardımı ile beslenir; bu sırada çamur serbest bırakılır ve santrifüj kuvveti ile katılar haznenin dış kısmı boyunca yerleşir.

### 2.1.2. Helezonun Modellenmesi

Helezonun yapraklarının tasarımını konu alan bu çalışma için yapraklar üzerine gelen kuvvetlerin bilinmesi gerekmektedir. Yaprak geometrilerinin belirlenmesi, tasarımın düşük maliyete sahip olması açısından önemlidir.

Bell vd., 2014, çalışmalarında dekantör güç tüketimini konu alan çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada; helezon yaprakları üzerine gelen kuvvetleri matematiksel model kurarak elde etmişlerdir [1]. Dekantör parametrelerine bağlı elde edilen denklemlerden yararlanılarak yapraklara gelen aksel kuvvet belirlenmiştir. “Konik kesit boyunca ilerleyen diferansiyel katının serbest cisim diyagramı Şekil 2’de gösterilmiştir. Hem  $x-\theta$  hem de  $x-r$  düzlemleri için iki boyutlu serbest gövde diyagramları sunulmuştur. Silindirik koordinatlar, dönme eksenini boyunca yönü, çevresel yönde  $\theta$  (tambur ve kaydırma yönünde pozitif) ve dönüş ekseninden radyal olarak kullanılır. Model, çevresel genişlik  $r\theta$ , aksel kalınlık  $\delta x$  ve derinlik  $r_{ox}-r_{ix}$ ’in yerleşik katı parçalarının sabit ivmeli hareketini göz önüne alır. Birim eleman, açılma hızına sahip olan tambur ile birlikte dönmekte ve  $\omega+\Delta$  hızında dönen bir adım G’ye ait bir helezon tarafından aksel olarak taşınmaktadır. G ise herhangi bir cismin üzerinde bulunan çekim ivmesidir” [1].



Şekil 2. Konik kısımda bulunan yoğun fazın etkisi ve serbest cisim diyagramı [1]

“Helezon yaprakları üzerinde bulunan diferansiyel eleman, hem dış çapa doğru hareket etmekte hem de açışsal hızla dönmektedir. Bu nedenle eleman üzerinde koriolis kuvveti oluşmaktadır” [1].

$$“\delta F_{kor} = 2 \frac{dr}{dt} \omega \delta m = -\frac{G\Delta}{\pi} \omega \tan \beta \delta m” \quad (1)$$

“Şekil 3’te bulunan serbest cisim diyagramı için denge denklemleri, belirtilen r,  $\theta$  ve x boyutları için ayrı ayrı yazılarak üç eşitlik elde edilir” [1].

$$“F_1 (\cos a - \mu_1 \sin a) = F_2 \mu_2 + F_3 (\sin \beta + \mu_3 \cos \beta)” \quad (2)$$

$$“F_1 (\sin a + \mu_1 \cos a) = F_2 + \delta F_{kor}.” \quad (3)$$

$$“\delta F_3 = \delta F_k \cos + F_1 \sin \beta (\cos a - \mu_1 \sin a)” \quad (4)$$

“Denklem (2), (3) ve (4) kullanarak  $F_1$  kuvveti elde edilir” [1].

$$“F_1 = \frac{[(\sin \beta + \mu_3 \cos \beta) \delta F_c - \mu_2 \delta F_{kor}] \cos \beta \sec a}{(1 - \mu_1 \tan a) [1 - \sin \beta (\sin \beta + \mu_3 \cos \beta) - \mu_2 \cos \beta (\tan a + \mu_1)]}” \quad (5)$$

Tablo 1’de atık su arıtma dekantörüne ait parametre değerleri verilmiştir. Bu parametreler kullanılarak, konik kesit boyunca ilerleyen diferansiyel katının serbest cisim diyagramı üzerine gelen kuvvetler hesaplanmıştır (Şekil 2). Bu kuvvetler; dekantör içinde bulunan ürünün helezon yapraklarına normal yönden uyguladığı ve ürünün helezona karşı tepki kuvveti  $F_1$ , denge anında belirtilmiş katı ürün ile helezon malzemesi arasındaki sürtünme kuvveti  $F_2$ , katı maddenin tamburun üst yüzeyinde birikmesinden dolayı elamana tambur yüzeyinin uyguladığı tepki kuvveti  $F_3$  ve koriolis kuvveti  $F_{kor}$ ’dur [1]. Bu kuvvet değerleri Tablo 2’de yazılmıştır.

**Tablo 1.** Santrifüj Dekantörün Helezonuna Ait Yapısal Parametreler

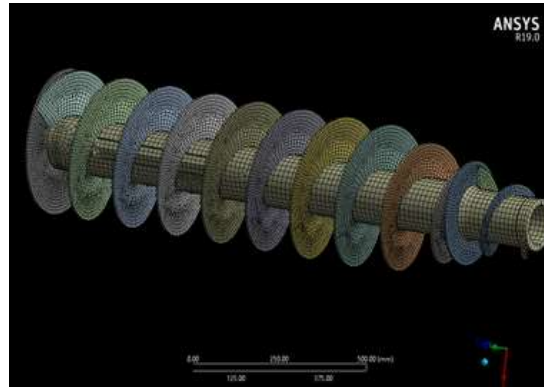
Parametreler	Semboller	Değerler
Helezon dış yarıçapı	$r_1$	74.50 mm
Silindirik bölümün uzunluğu	$L_{\text{silindir}}$	1260 mm
Konik bölümün uzunluğu	$L_{\text{konik}}$	460 mm
Koniklik açısı	$\beta$	14 0
Yaprak açısı	$\alpha$	6.80 0
Katı fazın kütleel debisi	$\dot{m}_k$	6 m <sup>3</sup> /h
Ağır fazın taneciklerinin boşluk oranı	n	0.01
Sürtünme katsayıları	$\mu_1, \mu_2, \mu_3$	0.20
Helezonun açısal hızı	$\omega$	365.40 rad/s
Diferansiyel hız farkı	$\Delta$	1.04 rad/s

**Tablo 2.** Santrifüj Dekantörün Helezonuna Etki Eden Kuvvetler

Kuvvetler	Semboller	Değerler
Helezon Yapağına Gelen Normal kuvvet	$F_1$	7642 N
Sürtünme kuvveti	$F_2$	230N
Tamburun yüzeyinin katı faza maruz kalabileceği kuvvet	$F_3$	17165N
Koriolis kuvveti	$F_{\text{kor}}$	2100N

### 2.1.3. Hesaplamalı Analiz Modeli

Dekantöre ait yapısal dayanıklılığı incelemek için hesaplamalı analiz modeli kullanılmıştır. Denklemlere ait sayısal çözümü elde etmek için ticari bir yazılım olan ANSYS 17.2 programının yapısal analiz modülünden yararlanılmıştır. Programda “metric m, kg, N, s, V, A” birimleri kullanılmıştır. Yapıları matematiksel modele dönüştürmek için süpürme yöntemi ile ağ örgüsü yapılmıştır. Süpürme yöntemi SOLSH190 ve SOLID 186 elemanlara sahiptir. Katı yapılar için tercih edilen elemanlardır. Bu çalışmada yapı, SOLID 186 yapısal eleman tipleri ile oluşturulmuştur. SOLID 186 elemanı üç boyutlu kuadratik şekil fonksiyonlarına sahip ve 20 düğüm noktası içeren bir elemandır. Bunun sebebi, et kalınlığı boyunca en az iki elemanın konumlandırılabilmesidir. Her bir düğüm noktasında öteleme yönünde x, y ve z olmak üzere üç serbestlik derecesine sahiptir. Helezonun sonlu elemanlara ait sayısal ağ modeli Şekil 3’te verilmiştir. Oluşturulan model 561158 düğüm noktası ve 145682 elemandan oluşmaktadır. Analiz 64GB Ram ve 4 çekirdeğe sahip bilgisayar ile yapılmıştır.

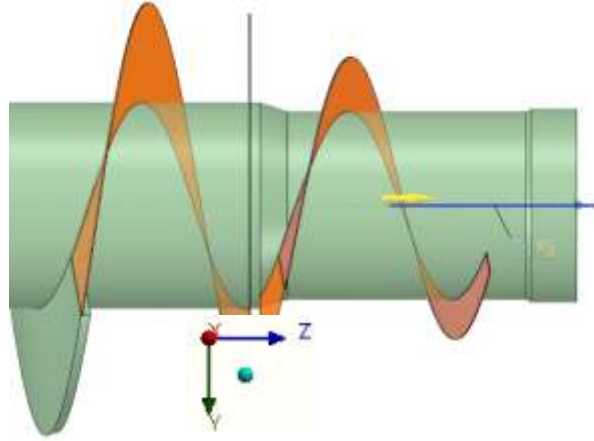
**Şekil 3.** Dekantöre ait sonlu elemanlar modeli sayısal ağ

#### 2.1.4. Malzeme Bilgisi

Helezon yaprak ve borusu DIN 1.4401 malzemesinden üretilmektedir. Yapısal analizlerde kullanılan malzeme özellikleri olan elastisite modülü 193 GPa, poisson oranı 0.29, özkütle 8 gr/cc, akma sınırı 290 MPa'dır.

#### 2.1.5. Helezonun Yapraklarına Eksenel Kuvvet Yüklemesi

Helezonun yapraklarına gelen eksenel yüklem, yoğun fazın özkütlesine ve yaprak açlarına bağlıdır. Parametrik olarak yazılan Denklem (5)'te Tablo 1'deki özellikler girilerek eksenel kuvvet elde edilmiştir. Eksenel kuvvet 7642 N elde edilmiştir. Şekil 4'te yaprak kalınlığının parametreye bağlı olarak artırılması için seçilen yüzey ve koordinat gösterilmiştir.



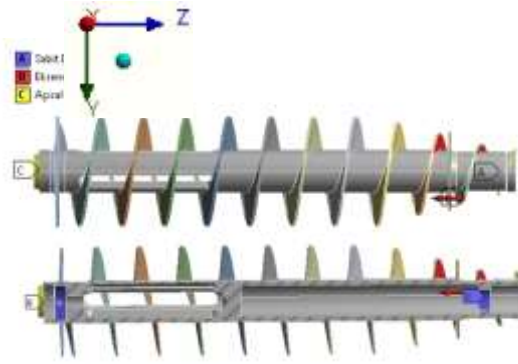
Şekil 4. ANSYS SpaceClaim yazılımının parametreye bağlanan yüzeyi

Tablo 3'te helezon yaprak kalınlığına bağlı olarak toplam yaprak kütle değerleri yazılmıştır. Helezonlara uygulanan sınır şartları Şekil 5'te gösterilmiştir. A ucundan sabitlenen helezona 365.47rad/s açısal hız uygulanmıştır. Helezon yapraklarına ise eksenel yönde 7642 N uygulanmıştır.

**Tablo 3.** Helezon yaprak kalınlıklarında parametreye verilen giriş değerleri

Helezon yapraklarının toplam kütlesi [kg]	Helezonun yaprak kalınlığı [mm]
27	4
34	5
41.10	6
48.20	7
56.30	8
63.40	9
70.50	10
77.60	11
84.70	12





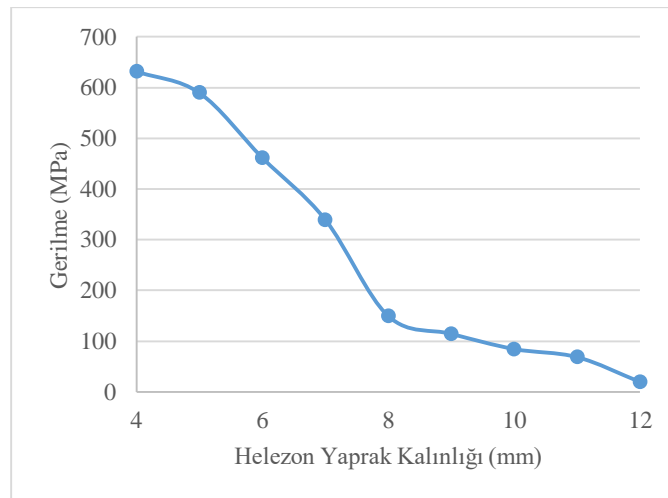
Şekil 5. Helezonun aksel yüklemesi ve sınır koşulları

### 3. Bulgular

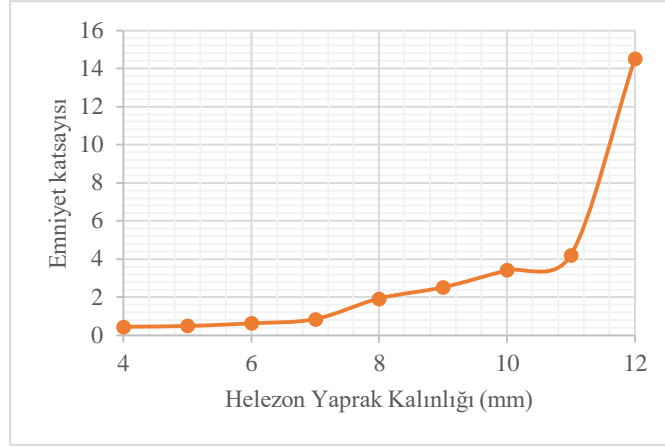
Hesaplamalı analizler ANSYS paket programı ile yapılmıştır. Helezona etki eden aksel kuvvet, özellikle yoğun fazın olduğu kısımda (konik bölüm) artmaktadır. Tablo 4'te helezon yaprak kalınlığına bağlı olarak gerilme sonuçları ve emniyet katsayıları verilmiştir. Helezonun tasarımında, yaprak kalınlığı iyileştirilmediği durumda hem dengesiz kütle artmakta hem de doğal frekans azalmaktadır. Bunun sonucunda da maliyet yükselmektedir. Burada emniyet katsayı değeri sınır olarak 2 olarak belirlenmiştir. Bu durumda helezonun yaprak kalınlığı minimum 9 mm olması gerekmektedir. Helezon yaprak kalınlığı 12 mm seçilmesi durumunda ise emniyet katsayısı 14.5 olarak hesaplanmıştır. Şekil 6'da farklı helezon yaprak kalınlığına göre gerilme değerlerinin değişimi görülmektedir. Şekil 7'de ise farklı helezon yaprak kalınlığına göre emniyet katsayı değerleri görülmektedir. Helezon yaprak kalınlığı arttıkça gerilme değeri azalmakta ve dolayısı ile emniyet katsayısı artmaktadır.

**Tablo 4.** Helezon yapraklarının kalınlığına bağlı olarak gerilme değerleri

Helezon yaprak kalınlığı [mm]	Maksimum Eşdeğer Gerilme Değeri [MPa]	Emniyet katsayısı
4	632	0.45
5	590	0.49
6	462	0.63
7	340	0.85
8	150	1.93
9	115	2.52
10	85	3.41
11	69	4.21
12	20	14.5



Şekil 6. Farklı helezon yaprak kalınlığı – gerilme değerleri



Şekil 7. Farklı helezon yaprak kalınlığı – emniyet katsayısı değerleri

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada dönen elemanlara sahip olan dekantör makinesinin helezonunun tasarımı ve gerilme analizi üzerine çalışılmıştır. Çalışma, Türkiye Aydın ilinde faaliyet gösteren dekantör makineleri üreticisi HAUS Makine Sanayi AŞ'nin atık su arıtma modelinin helezonun geliştirilmesine yönelik öneriler sunmaktadır. Asimetrik yapıya sahip olan helezon yüksek devirlere çıktığında titreşim sorunu meydana gelmektedir. Helezon yapraklarının ideal olarak modellenmesi titreşim problemindeki dengesiz kütle miktarını azaltacağı gibi aynı zamanda maliyetten de tasarruf sağlayacaktır. Literatürde geliştirilmiş olan matematiksel modeller yardımı ile dönme etkisindeki helezonun yapraklarına etki eden kuvvetler hesaplanmıştır. Helezon yaprak kalınlık değerlerine göre gerilme değerleri ve emniyet katsayıları elde edilmiştir. Makinenin mekanik analizleri sonlu elemanlar yöntemini kullanan hesaplamalı analiz programı olan ANSYS kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Helezon yaprak kalınlığının minimum değerinin 9 mm olması gerekmektedir. Bu durumda emniyet katsayısı 2.52'dir. Mevcut makinede kullanılan yaprak kalınlığı 12 mm, emniyet katsayısı 14.5'tir. Emniyet katsayısı minimum 2 alınması durumunda mevcut tasarıma göre helezon yapraklarının toplam kütlesi % 25 azaltılmıştır. Asimetrik yapıya sahip olan helezonun kütledeki bu azalma dengesiz kütle miktarını azaltacak, böylelikle titreşim genliklerinin azalmasını sağlayacaktır. Aynı zamanda sistemin tabi frekansı artacaktır. Böylelikle makine daha yüksek devirlerde çalışabilecektir.

Bu çalışma her bir helezon yaprak kalınlığı için meydana gelen gerilme değerlerini ve hesaplanan emniyet katsayı değerlerini sunmaktadır. Böylelikle dekantör tasarımcılarına fikir verebilecek bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Gelecekte önerilen tasarım için doğal frekans analizi yapılabilir.

#### Yazarların Katkısı

Gözde SARI, Ahmet Alper AKIŞ ve Gökhan ÜĞÜDÜCÜ çalışmanın konseptine, çalışma için verilerin toplanmasına ve analiz edilmesine katkıda bulunmuşlardır. Gözde SARI ve Ahmet Alper AKIŞ literatür taramasını yapmışlardır. Gözde SARI, Gökhan ÜĞÜDÜCÜ ve Ahmet Alper AKIŞ katı modeli ve sınır şartlarını belirlemişlerdir. Ahmet Alper AKIŞ sonlu elemanlar analizini yapmıştır. Gözde SARI, Ahmet Alper AKIŞ ve Gökhan ÜĞÜDÜCÜ yapılan analizi ve sonuçlarını inceleyip yorumlamışlardır. Gözde SARI ve Ahmet Alper AKIŞ makale yazımını gerçekleştirmişlerdir. Gözde SARI, Ahmet Alper AKIŞ ve Gökhan ÜĞÜDÜCÜ makaleyi kontrol etmişler ve makale son haline getirilmiştir. Gözde SARI makalenin değerlendirilme aşamasındaki yazışmaları gerçekleştirmiş ve düzeltmeleri Ahmet Alper AKIŞ ile birlikte 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] Bell G.R.A., Symons D.D., Pearse J.R. 2014. Mathematical Model for Solids in a Decanter Centrifuge. *Chemical Engineering Science*, 107: 114-122.
- [2] Bizard A.F.M., Symons D.D., Fleck N.A. Grimwood G.C. 2013. Design Guidelines for Granular Particles in a Conik Centrifugal Filter. *Chemical Engineering Research and Design*, 91 (2): 348-360.
- [3] Dong L.D., Fu S.C., Yuan H.X. 2014. Numerical Simulation on Pressure Field in a Decanter Centrifuge. *Chemical Industry and Engineering Progress*, 33 (2): 309-336.
- [4] Liu H., Li P., Xiao H., Mu W. 2015. The Fluid Solid Coupling Analysis of Screw Conveyor in Drilling Fluid Centrifuge Based on Ansys. *Petroleum*, 1 (3): 251-256.
- [5] Zheng S.F., Ren X., Xie L.J. 2009. Numerical Simulation of Flow Field in Decanter Centrifuge. *Light Industry Machinery*, 27 (6): 26-29.
- [6] Wang L.Q., Chen T., Wu D.Z. 2010. Structural Strength Parameterized Analysis of Horizontal Decanter Centrifuge Conveyor. *Journal of Mechanical Design*, 27 (5): 67-70.
- [7] Liu A.J., Fu C.M. 2007. Static Finite Element Screw Conveyor to a Horizontal Centrifuge Analysis. *Journal of Design Research*, 34 (3): 26-28.
- [8] Yang J., Preidikman S., Balaras E.A. 2008. Strongly Coupled, Embedded-Boundary a Method for Fluid Structure Interactions of Elastically Mounted Rigid Bodies. *Journal of Fluid Structure*, 24 (2): 167-182.
- [9] Domanski J., Zywicka G. 2007. Optimization of the construction of a pressure tank using CAD/CAE systems. *Technical Sciences*, 10: 41-58.
- [10] Ahmed M., Khan R.U., Badshah S., Jan S. 2014. Finite Element Investigation of Geometry Effect on Pressure Vessel under Combined. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 4 (2): 2249-8958.
- [11] <https://www.haus.com.tr/> (Erişim Tarihi: 11.09.2020).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Investigation of Crushing Behavior of Polystyrene Coated Spherical Shaped Aluminum Foams**

Arif UZUN\*

*Kastamonu University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Mechanical Engineering,  
Kastamonu, Turkey  
(ORCID: 0000-0002-8120-4114)*

---

### **Abstract**

In this study, the crushing behavior of spherically shaped aluminum foam pieces coated with polystyrene and uncoated under compression load was investigated. The spherical shaped aluminum foam parts produced by powder metallurgy with diameters of 8 mm and 10 mm were coated with polystyrene by the injection molding process. The obtained foam elements were then subject to quasi-static compression tests at room temperature with a constant crosshead speed of 1 mm/min. According to the experimental results, polystyrene coatings increased the energy damping capacity of the foams by approximately 115% while increasing the density by about 50%.

**Keywords:** Spherical shaped aluminum foam, porous material, compressive properties, polystyrene.

---

## **Polistiren Kaplı Küresel Şekilli Alüminyum Köpüklerin Ezilme Davranışlarının Araştırılması**

---

### **Öz**

Bu çalışmada, polistiren ile kaplanmış ve kaplanmamış küresel şekilli alüminyum köpük parçaların sıkıştırma yükü altındaki ezilme davranışları incelenmiştir. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen 8 mm ve 10 mm çaplarındaki küresel şekilli alüminyum köpük parçalar enjeksiyon kalıplama işlemiyle polistiren ile kaplanmıştır. Üretilen köpükler daha sonra 1 mm/dak deformasyon hızında oda sıcaklığında yarı-statik sıkıştırma testlerine tabi tutulmuştur. Elde edilen deneysel sonuçlara göre, polistiren kaplamalar köpüklerin enerji sönmleme kapasitelerini yaklaşık %115 arttırırken, yoğunluğu da yaklaşık %50 oranında arttırmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Küresel şekilli alüminyum köpük, gözenekli malzeme, basma özellikleri, polistiren.

---

### **1. Introduction**

Metallic foams have attracted extended attention in several applications given their use as reinforcement material relative to buckling and impact in buildings and vehicles as fluid control devices, sound absorbers, and heat exchangers due to their extraordinary features [1-3]. The powder metallurgy (PM) route is an attractive method for metallic foam production since the method allows for the mass production of net-shaped geometries foams. Several studies focused on the development of aluminum (Al) foam via the PM route [4-8]. Extant studies also investigate spherical Al foam production. These materials are referred to as advanced pore morphology (APM) foam in previous studies and were developed in Germany as indicated by ref. [9]. These types of materials are considered as new with respect to cellular structures. Specifically, APM foam parts exhibit a closed porous structure and are manufactured by using a powder compression method. The precursor material prepared before the forming process is cut into small pieces and placed in a furnace for foam formation without a foaming mould [10]. The density of the produced foams ranges between 500 kg/m<sup>3</sup> and 1,000 kg/m<sup>3</sup> depending on its size [11].

---

\*Sorumlu yazar: [auzun@kastamonu.edu.tr](mailto:auzun@kastamonu.edu.tr)

Geliş Tarihi: 13.09.2019, Kabul Tarihi: 16.09.2020

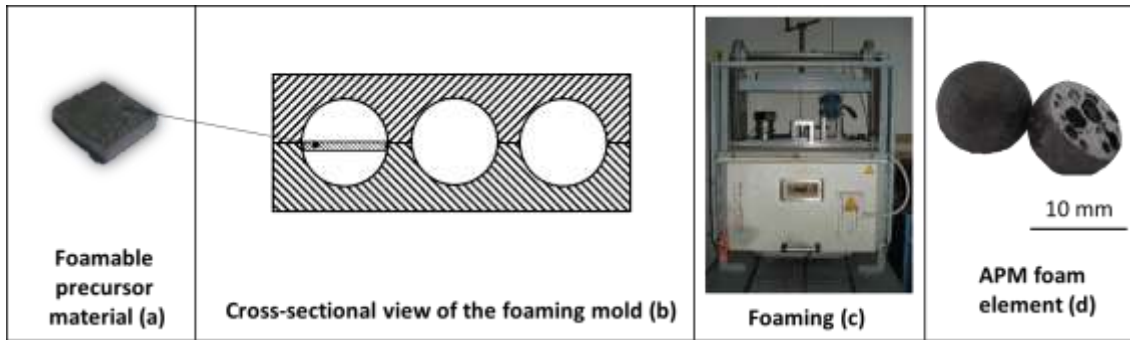
An extremely important feature of Al foam is that it displays unique behavior under compression loadings. Thus, Al foam is eligible for use in energy absorption. Additionally, APM foam exhibits behavior similar to that of conventional Al foam under compressive forces [12]. Furthermore, APM foam elements include a wide range of possible areas of use. An extremely important advantage of the material involves its ability to absorb impact energy and its use as a filling material for hollow parts with complex shapes to improve its strength [11]. For example, a hollow auto part (such as A-pillar) can be easily filled with these types of material. Therefore, APM foam elements exhibit resistance to forces applied to the parts without considering their direction due to their spherical shape. Recent studies focus on the structure-property relations of the APM foam elements [11, 13-15]. Vesenjok et al. [11] acquired data on the pore size and image of APM foam elements via analysis through a computed micro tomography scan. Conversely, Ulbin et al. [13] explored the impact of silicon as an alloy on the internal structure of APM foam elements by using a new approach for the data obtained with a similar method.

Studies on improvements in mechanical properties of single APM foams are considerably limited. Vesenjok et al. [12] explored the deformation behavior of the composite APM foam structures coated with an epoxy matrix and a single foam particle under quasi-static compression loads. Nevertheless, other studies focused on the adhesive used in the bonding of the foam pieces and the adhesive coating thickness for the hydrostatic and uniaxial compression results of the structures based on APM foam particles [10, 12, 16]. These studies involved single foam pieces that were bonded to each other and coated. As widely known, Al foam pieces manufactured with the PM approach consist of a fully porous structure covered with fine surface skin [17]. Specifically, errors (such as cracks and defects) initiated in the cell walls can also correspond to a case for the surface layer. This may lead to a decrease in the mechanical properties of the foam pieces. Hence, a surface coating covers the surface cracks to improve the mechanical properties of the foam pieces. In this study, single APM foam pieces were coated with polystyrene via injection moulding. Polystyrene is a material that is commonly used in several industries including construction and packaging with a wide range of uses [18]. The material is significantly inexpensive and is also used as a light construction material [19, 20]. These types of materials are considerably balanced and resistant relative to decomposition due to the available phenyl group and carbon-carbon bonds [21]. The study proposes the use of novel hybrid APM foam pieces and explores their deformation behavior under compressive loads.

## 2. Material and Method

### 2.1. Production of spherical shaped aluminum foams

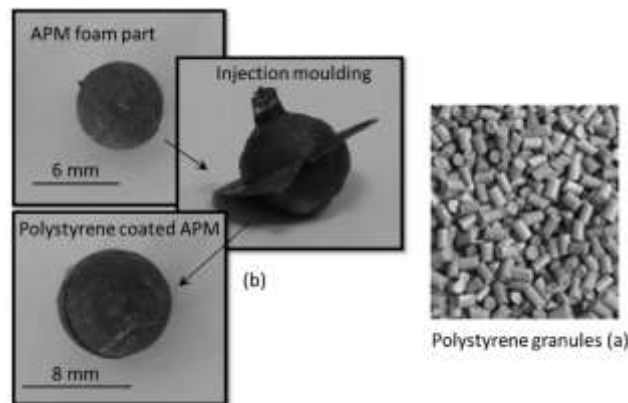
The powder metallurgy process is successfully used to produce three-dimensional net-shaped foam parts. The manufacturing procedure consists of powder compaction, extrusion, and rolling of AlSi7 alloy with Si (7 wt. % as an alloying element) and TiH<sub>2</sub> (1 wt. % as a foaming agent) to obtain foamable precursor material. Detailed information on the foamable material production is given in [22]. Subsequently, the precursor material was cut into small parts of approximately 5 × 5 × 3 mm<sup>3</sup> in size (Figure 1a). These samples were placed in a two-part foaming mold (Figure 1b). Subsequently, the foaming mold was placed in an oven at 710 °C, and foaming was performed (Figure 1c). Finally, the net-shaped foam with different cross-sections was obtained (Figure 1d). The foam samples were obtained by means of free-form foaming in previous studies. Spherical shapes of the precursor samples were obtained via surface tension in a continuous belt furnace in the foaming process. However, the samples are not exactly spherical due to the melting foam that is deformed due to gravitational forces [10, 23]. The problem was solved when the foaming process was conducted in the mould as schematically shown in Fig. 1b. Thus, foams with better spherical shapes were obtained, and the size control was easily performed. Additionally, the surface roughness was observed as lower than that of the free-foaming. Thus, the notch effect is reduced during the deformation.



**Figure 1.** Spherical shaped aluminum foam production stages; (a) foamable precursor material, (b) foaming mould, (c) foaming furnace, (d) foam element

## 2.2. Injection moulding processing

The injection moulding experiments were conducted on an industrial injection moulding machine. In the experiments, polystyrene granules were used as a coating material (Figure 2a). Polystyrene granules exhibit an average particle size of 3.0 mm and a density of  $0.90\text{--}0.92\text{ g/cm}^3$  at room temperature. Polystyrene granules were melted under the effects of heat ( $200\text{ }^\circ\text{C}$ ), and the melt was then injected forward into the moulds with diameters of 8 mm and 10 mm. The moulds were used in the foaming process since the injection mould was used at  $20\text{ }^\circ\text{C}$ . Additionally, spherical shaped aluminum foam elements with diameters of 8 mm and 6 mm were used to produce moulded spherical shaped aluminum foams with diameters of 10 mm and 8 mm (Figure 2b), respectively. Thus, the deformation behavior of injection coated spherical shaped aluminum foam and uncoated foam elements with the same diameter under a compressive load is compared.



**Figure 2.** Polystyrene granules (a) and injection moulded spherical shaped aluminum foam (b)

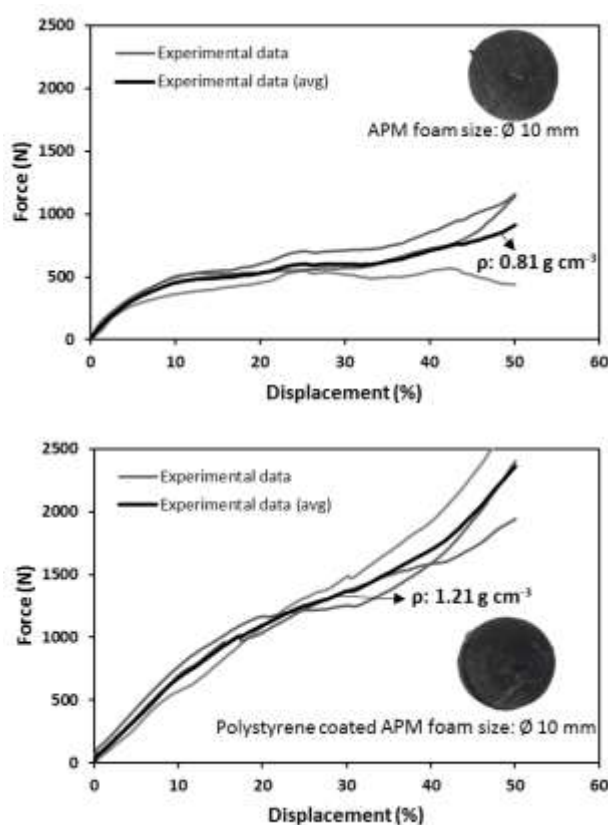
## 2.3. Compressive test

Quasi-static compression tests were performed at room temperature on a universal testing machine (Instron 3369) with a constant crosshead speed of  $1\text{ mm min}^{-1}$ , and the load-displacement curves were recorded in a computer. Two types of coated and uncoated spherical shaped aluminum foam samples with diameters of 8 mm and 10 mm were tested. Each sample was placed between two press plates. During the tests, the bottom press plate was stationary while the upper press plate was moved to apply and measure the compressive force. A minimum of three or more samples for each configuration was investigated in the experiments.

## 3. Results and Discussion

Figure 3 exhibits the load-displacement curves of the polystyrene coated and uncoated spherical shaped aluminum foam elements with varying densities with a diameter of 10 mm. These curves are obtained from the compressive tests and reveal the strength differences between samples. However, low-density

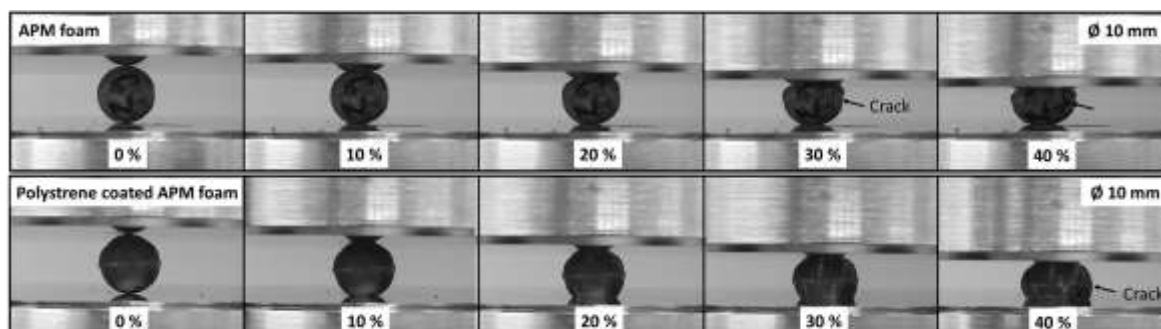
differences between samples may lead to low deviations and the load-displacement curves available in both graphs reflect the crushing behavior of porous materials. In contrast to the stress and strain data, the data obtained was not standardized for the sample size. The available curves consist of a linear–elastic region, a plateau region, and a densification region [15]. Specifically, the plateau forces of the polystyrene coated spherical shaped aluminum foam elements exceed those of uncoated spherical shaped aluminum foam elements. The results indicate that the polystyrene structure exhibits rigid behavior during deformation. This ensures that the spherical shaped aluminum foam element is sufficiently strong. A comparison of the load-displacement curves of coated and uncoated spherical shaped aluminum foam (dark black lines) indicates a significantly low difference in the linear elastic region while the difference significantly increased with increases in the displacement. In the 10% deformation region, the plateau force of the polystyrene coated spherical shaped aluminum foam is approximately 710 N while it is approximately 460 N for the uncoated spherical shaped aluminum foam. The pores available in the internal structure of the sample collapse after the linear–elastic region, and thus irregularities may be observed in the outer surface of the spherical-shaped aluminum foam elements. An identical outcome was also observed in other studies [10]. The irregularities take the form of cracks in a higher level of deformation that eventually leads to the collapse of the outer surface. Given the use of polystyrene coating, stress formed due to the deformation does not contribute to crack formation. An increase in the force was naturally observed.



**Figure 3.** Behavior of polystyrene coated and uncoated spherical shaped aluminum foam elements ( $\text{Ø}:10 \text{ mm}$ ) under a quasi-static compressive load

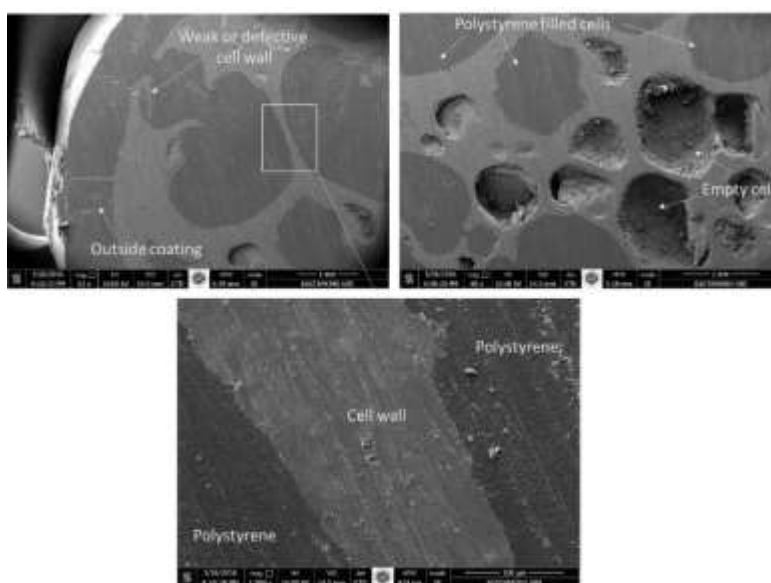
Figure 4 shows the compression status of polystyrene coated and uncoated spherical shaped aluminum foam with a diameter of 10 mm during deformation. As shown in the figure, the contact area between press plates and the spherical samples depends on the sample deformation. An increase in the deformation causes the press plates flatten the spherical foam samples. Cracks were observed especially for the single spherical shaped aluminum foam elements at 30% deformation. However, crack formation was observed at 40% deformation for polystyrene coated spherical shaped aluminum foam samples. Color changes are observed relative to the stress intensity for these types of material at the outer surface layers. This indicates increased stress at the sample surfaces. Similar circumstances (such as crack

formation) may be observed in the case with lower stress levels for the samples as a whole. However, it may not be possible to observe the cracks based on the geometrical shape caused by the deformation during the compression test.



**Figure 4.** Deformation sequence of polystyrene coated and uncoated spherical shaped aluminum foam ( $\text{Ø}:10$  mm) subjected to uniaxial compression

Figure 5 shows the scanning electron microscope (SEM) images of the cross-section of polystyrene coated spherical shaped aluminum foam ( $\text{Ø} 10$  mm). The images indicate the presence of a successful coating on the outer surface of the foam samples (with a thickness of 1 mm). However, polystyrene could penetrate weak or defective points on the outer surface skin and cell wall thereby filling the pores during the injection process. Thus, an increase in the density and compressive strength of the spherical-shaped aluminum foam parts was observed. The bending resistance of the cell walls of the spherical-shaped aluminum foam increased with polystyrene.



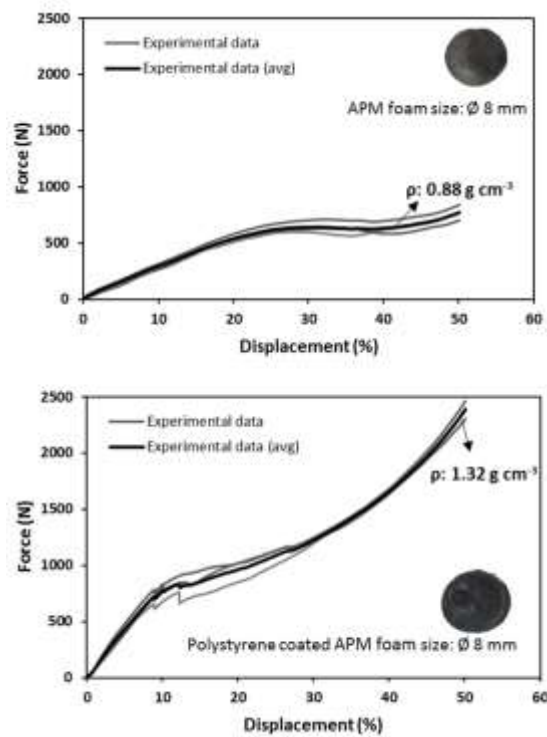
**Figure 5.** Scanning electron microscopy of the polystyrene coated spherical shaped aluminum foam element

Figure 6 shows the load-displacement curves of the polystyrene coated and uncoated spherical shaped aluminum foam elements with varying densities with a diameter of 8 mm. The graphs indicate that low-density differences lead to low deviations as in the case for load-displacement curves of coated and uncoated spherical shaped aluminum foam with diameters of 10 mm. The plateau forces of the polystyrene coated spherical shaped aluminum foam elements are higher than those of the uncoated spherical shaped aluminum foam elements. The results indicate that the polystyrene structure exhibits rigid behavior during deformation that ensures sufficient strength for the spherical shaped aluminum foam element as in the case for samples with diameters of 10 mm. A comparison of the average load-displacement curves of coated and uncoated spherical shaped aluminum foams indicates a significant change in force in the case with increased displacement. At the 10% deformation region, the limit force of the polystyrene coated spherical shaped aluminum foam is approximately 760 N while it is

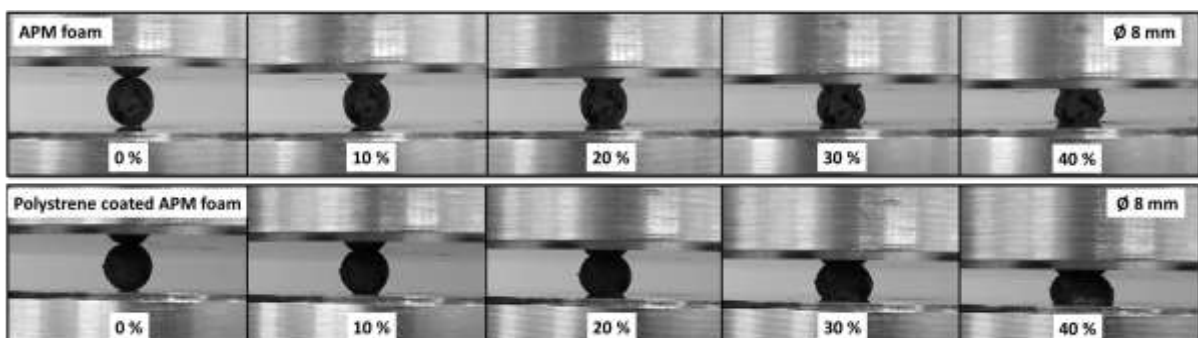


approximately 302 N for the uncoated spherical shaped aluminum foam. Figure 7 shows the compression status of polystyrene coated and uncoated single spherical shaped aluminum foam during the deformation. As shown in the figure, the contact area between press plates and the spherical samples depends on the sample deformation. An increase in the deformation causes press plates to flatten the spherical foam samples.

Thus, a higher increase is observed in deformation resistance relative to compressive loads and force levels of the samples with higher diameters (10 mm). A similar finding is observed in [23]. Higher density leads to an increase in the force level for samples with fixed volumes. Specifically, the polystyrene coating increases the sample density. The cross-section of the samples in the force direction is not uniform. Spherical shapes assume an elliptic form with deformation. The spherical shaped aluminum foam elements consist of a closed outer surface as in the case for conventional Al foam. The regions involve a density gradient from the inner layer to the outer layer. Structural resistance during deformation is expected from these regions. A comparison of the structural rigidity of samples with diameters of 10 mm and 8 mm indicates an increase in the structural rigidity for polystyrene coated samples with both diameters. The presence of polystyrene on the surface of the spherical-shaped aluminum foam as a coating material and in the internal microstructure of spherical shaped aluminum foam can explain this difference.

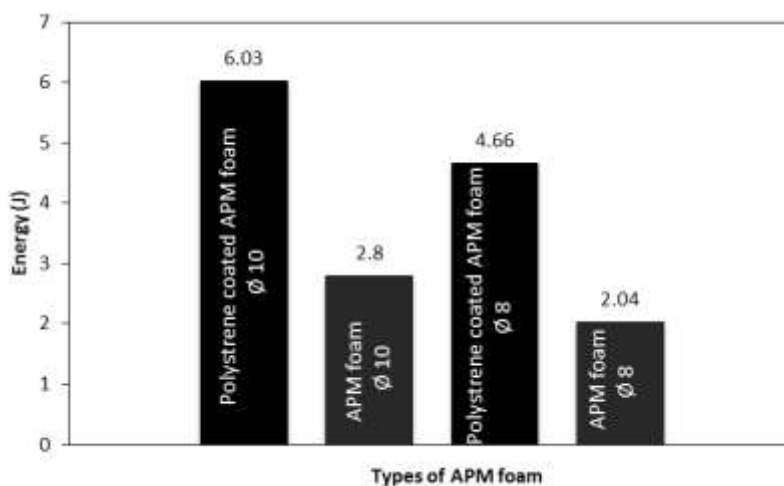


**Figure 6.** Behavior of polystyrene coated and uncoated spherical shaped aluminum foam elements ( $\text{Ø}:8 \text{ mm}$ ) under a quasi-static compressive load



**Figure 7.** Deformation sequence of polystyrene coated and uncoated spherical shaped aluminum ( $\text{Ø}:8 \text{ mm}$ ) subject to uniaxial compression

Figure 8 shows the total energy absorbed by the spherical foams. The total energy absorbed is calculated by using the area available under the load-displacement curve. The graph indicates that the polystyrene coating significantly impacts the energy absorption capacity of the spherical-shaped aluminum foam. Polystyrene coated spherical shaped aluminum foam with a diameter of 10 mm is the sample with the highest total absorbed energy (6.03 J). Conversely, uncoated spherical shaped aluminum foam with an identical diameter results in energy absorption of 2.8 J. The energy absorbed by the coated sample is higher than that absorbed by the uncoated sample by a factor of two. The total energy absorption values of coated and uncoated spherical shaped aluminum foam with a diameter of 8 mm are 4.66 J and 2.04 J, respectively. Similarly, the difference between the energy absorption values of both samples exceeds by a factor of two. It is widely known that the relative density significantly affects the mechanical properties of the metallic foam. Higher mechanical responses are reported for materials with higher relative density values [1]. As observed in the load-displacement graphs in Figure 3 and Figure 6, polystyrene coated spherical shaped aluminum foam samples exhibit higher density. Therefore, their energy absorption level exceeds that of uncoated spherical shaped aluminum foam. Nevertheless, an increase in the energy absorption capacity is expected with increases in the plateau stress [24]. Thus, the energy distribution of the metal foam under compressive forces is with respect to the friction that is formed given the contact and collapse mechanism of the cell walls [25]. The polystyrene filling of the spherical-shaped aluminum foam pores increases the energy distribution limiting fracture, buckling, and bending of cell walls during the deformation.



**Figure 8.** Energy absorption capabilities of the spherical-shaped aluminum foam elements

#### 4. Conclusion

This study involved evaluating the behavior of single polystyrene coated and uncoated spherical shaped aluminum foam elements via experimental compressive testing. The spherical shaped aluminum foam elements exhibited characteristic cellular material behavior. Larger spherical shaped aluminum foam elements (coated and uncoated) i.e. Ø 10 mm, could sustain higher compressive loads. The coated spherical shaped aluminum foam elements exhibited higher energy absorption capacity that was approximately twice that of the uncoated spherical shaped aluminum foam elements. Furthermore, it was indicated that polystyrene skin significantly contributes to the mechanical strength of spherical shaped aluminum foam elements.

#### Author' Contributions

All contribution belongs to myself in the article

#### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest among the authors

## Statement of Research and Publication Ethics

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

## References

- [1] Bafti H., Habibolahzadeh A. 2013. Compressive properties of aluminum foam produced by powder-carbamide space route. *Materials and Design*, 52: 404-411.
- [2] Jeon I., Asahina T. 2005. The effect of structural defects on the compressive behavior of closed-cell Al foam. *Acta materialia*, 53: 3415-3423.
- [3] Sun D.X., Zhao Y.Y. 2003. Static and dynamic energy absorption of Al foams produced by a sintering and dissolution process. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 34: 69-74.
- [4] Duarte I., Oliveira M. 2012. Aluminium alloy foams: production and properties. In *Powder metallurgy*, InTech., 47-72.
- [5] Rack A., Helwig H.M., Bütow A., Rueda A., Matijasevic-Lux B.B., Helfen L., Goebbelse J., Banhart J. 2009. Early pore formation in aluminium foams studied by synchrotron-based microtomography and 3-D image analysis. *Acta Materialia*, 57: 4809-4821.
- [6] Mukherjee M., Garcia-Moreno F., Banhart J. 2010. Solidification of metal foams. *Acta Materialia*, 58: 6358-6370.
- [7] Duarte I., Banhart J. 2000. A study of aluminium foam formation-kinetics and microstructure. *Acta materialia*, 48: 2349-2362.
- [8] Koizumi T., Kido K., Kita K., Mikado K., Gnyloskurenko S., Nakamura T. 2011. Foaming agents of powder metallurgy production of aluminum foam. *Materials transactions*, 52: 728-733.
- [9] Stöbener K., Baumeister J., Rausch G., Rausch M. 2005. Forming metal foams by simpler methods for cheaper solutions. *Metal Powder Report*, 60: 12-16.
- [10] Stöbener K., Lehnhus D., Avalle M., Peroni L., Busse M. 2008. Aluminum foam-polymer hybrid structures (APM aluminum foam) in compression testing. *International Journal of Solids and Structures*, 45: 5627-5641.
- [11] Vesenjok M., Borovinšek M., Fiedler T., Higa Y., Ren Z. 2013. Structural characterisation of advanced pore morphology (APM) foam elements. *Materials Letters*, 110: 201-203.
- [12] Vesenjok M., Gačnik F., Krstulović-Opara L., Ren Z. 2011. Behavior of composite advanced pore morphology foam. *Journal of Composite Materials*, 45: 2823-2831.
- [13] Ulbin M., Borovinšek M., Higa Y., Shimojima K., Vesenjok M., Ren Z. 2014. Internal structure characterization of AlSi7 and AlSi10 advanced pore morphology (APM) foam elements. *Materials Letters*, 136:416-419.
- [14] Fiedler T., Sulong M.A., Vesenjok M., Higa Y., Belova I.V., Oechsner A., Murch G.E. 2014. Determination of the thermal conductivity of periodic APM foam models. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 73: 826-833.
- [15] Vesenjok M., Gačnik F., Krstulović-Opara L., Ren Z. 2015. Mechanical properties of advanced pore morphology foam elements. *Mechanics of Advanced Materials and Structures*, 22: 359-366.
- [16] Lehnhus D., Baumeister J., Stutz L., Schneider E., Stöbener K., Avalle M., Peroni L., Peron M. 2010. Mechanical characterization of particulate aluminum foams strain-rate, density and matrix alloy versus adhesive effects. *Advanced Engineering Materials*, 12: 596-603.
- [17] Banhart J. 2001. Manufacture, characterization and application of cellular metals and metal foams. *Progress in Materials Science*, 46: 559-632.
- [18] Marsh K., Bugusu B. 2007. Food packaging roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72 (3): 39-55.
- [19] Mbadike E.M., Osadebe N.N. 2012. Effect of incorporating expanded polystyrene aggregate granules in concrete matrix. *Nigerian Journal of Technology*, 31: 401-404.
- [20] Kuhail Z., Shihada S. 2003. Mechanical properties of polystyrene light weight concrete. *Journal of the Islamic University of Gaza*, 11: 93-114.
- [21] Chaukura N., Gwenzi W., Bunhu T., Ruziwa D.T., Pumure I. 2016. Potential uses and value-added products derived from waste polystyrene in developing countries: A Review. *Resources Conservation and Recycling*, 107: 157-165.

- [22] Uzun A., Turker M. 2015. The investigation of mechanical properties of B<sub>4</sub>C-reinforced AlSi7 foams. *International Journal of Materials Research*, 106: 970-977.
- [23] Sulong M.A., Vesenjok M., Belova I.V., Murch G.E., Fiedler T. 2014. Compressive properties of Advanced Pore Morphology (APM) foam elements. *Materials Science and Engineering A*, 607: 498-504.
- [24] Jeenager V.K., Pancholi V. 2014. Influence of cell wall microstructure on the energy absorption capability of aluminium foam. *Materials and Design*, 56: 454-459.
- [25] Guo C., Zou T., Shi C., Yang X., Zhao N., Liu E., He C. 2015. Compressive properties and energy absorption of aluminum composite foams reinforced by in-situ generated MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> whiskers. *Materials Science and Engineering A*, 645: 1-7.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Hasenekevleri (Maden-Elazığ) Güneyindeki Diyabazlarda Gelişen Hidrotermal Cu Cevherleşmesinin Jeolojisi ve Alterasyon Jeokimyası**

Cihan YALÇIN<sup>1\*</sup>, Mustafa KUMRAL<sup>2</sup>, Mustafa KAYA<sup>2</sup>, Muhittin KARAMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Sanayi Bölgeleri Genel Müdürlüğü, Ankara*  
<sup>2</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul*  
(ORCID: 0000-0002-0510-2992) (ORCID: 0000-0001-7827-8721)  
(ORCID: 0000-0003-0694-9754) (ORCID: 0000-0002-8971-010X)

---

### **Öz**

Türkiye'nin en önemli bakır yataklarından biri olan Maden (Elazığ) yatağı, Orta Eosen yaşlı Maden Grubuna ait litolojiler içerisinde yer alır. Maden grubu NW-SE ve NE-SW eğilimli faylar tarafından kesilmiş volkanik ve tortul kayalardan oluşmaktadır. Maden (Elazığ) ilçesinin yaklaşık 12 km güneybatısında yer alan Hasenekevleri (Maden-Elazığ), Maden Grubuna ait diyabazlar içerisinde kırık hatlarında kuvars damarları ile ilişkili Cu zenginleşmelerine ev sahipliği yapar. Damar tipi ve epigenetik oluşumlu bu cevherleşme, ortalama 30 m genişliğinde ve 100 m uzunluğundadır. Cevher damarlarının kalınlığı 1-5 cm arasında değişmekte ve Cu konsantrasyonu % 2.45'e (% Ağırlık) ulaşmaktadır. Cevher süksesyonu pirit, kalkopirit, bornit, kovellit, götit ve malakit şeklindedir. Kırık hatları boyunca gelişen hidrotermal alterasyon sonucunda yan kayalarda serisitlenme, kloritleşme ve piritleşme yaygın olarak gözlenmektedir. Cevher zonunda hesaplanan (CIA) indeks değerleri; 15,72-85,90, klorit-karbonat-pirit indeksi (CCPI) değerleri; 56,94-98,51 ve alterasyon indeksi (AI) değerleri 13,51-98,05 arasındadır. Cevher oluşumunun hidrotermal alterasyonların görüldüğü kırık hatlarında gözlenmesi cevherleşmede yapısal kontrolün etkin olduğunu göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Maden grubu, epigenetik cu zenginleşmesi, hidrotermal alterasyon, yapısal kontrol, Hasenekevleri (Maden-Elazığ).

---

## **Geology and Alteration Geochemistry of Hydrothermal Cu Mineralization in the Diabases to the Southern of Hasenekevleri (Maden-Elazığ)**

---

### **Abstract**

Maden (Elazığ) bed, one of Turkey's most important copper deposits, is located in the lithology of Middle Eocene aged Maden Group. Maden group consists of volcanic and sedimentary rocks, cut by NW-SE and NE-SW trending faults. Hasenekevleri (Maden-Elazığ), which is located about 12 km southwest of the mine (Elazığ) district, host the Cu enrichments associated with quartz veins in the fracture lines within the Maden Group diabases. The vein type and epigenetic mineralization is approximately 30 m wide and 100 m long. The thickness of the ore veins varies between 1-5 cm and the Cu concentration reaches 2.45%. Ore succession is pyrite, chalcopyrite, bornite, covellite, goethite and malachite. As a result of hydrothermal alteration along the fracture lines, sericitization, chloritization and pyritization are common in the side rocks. In the ore zone, the calculated Chemical Alteration Index (CIA) value range is 15.72-85.90, the chloride-carbonate-pyrite index (CCPI) range value is 56.94-98.51 and the alteration index (AI) value range is 13.51-98.05. Observation of ore formation in fracture lines where hydrothermal alterations are observed shows that structural control is effective in mineralization.

**Keywords:** Maden group, epigenetic cu enrichment, hydrothermal alteration, structural control, Hasenekevleri (Maden-Elazığ).

---

---

\*Sorumlu yazar: [cihan.yalcin@sanayi.gov.tr](mailto:cihan.yalcin@sanayi.gov.tr)  
Geliş Tarihi: 07.10.2019, Kabul Tarihi: 09.04.2020

## 1. Giriş

Türkiye'nin en önemli bakır yataklarından olan Maden (Elazığ) bakır yatağı M.Ö. 4000 yılı ile günümüze kadar birçok medeniyet tarafından işletilmiştir [1, 2]. Bu bakır yatağı ve civarında birçok jeolojik araştırmalar yapılmış [3-8] ve yatağın kökeni hakkında modeller ortaya konulmuştur [9-16]. Maden bakır yatağı Eosen çamurtaşları ve kloritleşmiş bazaltlar arasında ve tabakalı diyabaz daykları arasında bulunmaktadır [13, 17]. Mineral parajenezi pirit, kalkopirit, sfalerit, manyetit ve ekzojenik bornite bağlı nabit bakırdan oluşmaktadır [18]. Bölgedeki diyabazlarda silisleşme, kloritleşme ve kaolenleşme yaygın olarak bulunmaktadır [18]. Maden bakır yatağı Kıbrıs tipi yataklanma göstermektedir [18].

Kıbrıs tipi masif sülfid yatakları (VMS) okyanus ortası sırtlarda magmatik aktivitedeki boşluk esnasında, hidrotermal suların sirkülasyonu sonucunda oluşmaktadır [19]. Sinjenetik oluşumlu kabul edilen bu yataklar erken evre piritleri bakımından zengindir. Kalkopirit, sfalerit ile birlikte altın ve kobalt mineralleri önemli seviyelere ulaşabilmektedir [18]. Richards vd., [20] parajenezde nabit bakır, ikincil bornit, markazit, galenit, hematit, stannit ve besteritin eser miktarda bulunduğunu, Yıldırım vd., [21] Türkiye'deki örneklerin manyetitçe zengin olduğunu ve Altun vd., [22] ise kobaltça zengin olduğunu belirtmişlerdir.

Türkiye'deki Kıbrıs tipi VMS yataklarının Orta Pontidlerde ve Bitlis-Zagros Sütur Zonu (BZSZ) boyunca geliştiği bilinmektedir [18]. Bu iki kuşakta yer alan Küre ve Maden (Elazığ) VMS yatakları antik dönemlerden beri işletilmektedir. Güneydoğu Anadolu kuşağında ise Orta Eosen yaşlı Maden ve Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı Koçali komplekslerinde bulunmaktadır [23-29].

Maden (Elazığ) Bakır yatağının yaklaşık 12 km güneybatısında yer alan Hasenekevleri (Maden-Elazığ) bölgesinde diyabazlar içerisinde Cu zenginleşmeleri gelişmiştir. Bu bölgenin Maden (Elazığ) bölgesine yakın olması, benzer litoloji ve mineral parajenezinin gözlenmesi ve cevherleşmenin daha önce çalışılmamış olması sebebiyle, bu çalışmaya konu olan yatak üzerinde, saha ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Hasenekevleri (Maden-Elazığ) civarındaki birimlerin dokanak ilişkilerinin ortaya konulması amacıyla 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Cevherleşme bölgesinden derlenen örneklerin petrografi amaçlı ince ve parlak kesitleri İstanbul Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ince kesit laboratuvarında hazırlanmış ve incelenmiştir.

Cevher ve alterasyon jeokimyası çalışmaları için ilk olarak, örnekler sırasıyla bir çeneli kırıcı ve bir çekiçli kırıcı kullanılarak ufalanmıştır. Daha sonra ufalanan numuneler, 24 saat boyunca 105°C'de bir fırında kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra, 10-15 gr'lık numunelerin tane büyüklükleri, RETSCH (RS-200) model öğütme cihazı kullanılarak 177 µm'ye düşürülmüştür. Öğütme işlemi 1250 rpm'de 1-2 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir Tüm kurutulmuş ve toz haline getirilmiş numuneler nemden korunmak için bir kurutucuda saklanmıştır.

Hazırlanan örneklerin X-ray Fluorescence (XRF) analizleri BRUKER S8 TIGER model cihazda İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırmaları Laboratuvarında (İTÜ-JAL) yapılmıştır.

## 3. Jeoloji

### 3.1. Bölgesel Jeoloji

BSZS Türkiye'nin güneydoğusunda yaklaşık olarak D-B uzanımlı bir hat boyunca gözlenmektedir (Şekil 1a). Paleotetis ve Neotetis okyanusal kabuklarına ait litolojilerden birini temsil eden bu kuşakta, Permian döneminde Gondwana ve Lavrasya kıtalarının çarpışması ile Neotetis okyanusu ile ilişkili kayaçlar yükselmiştir [30-33]. Orojenik kuşak kuzeyden güneye (Arabistan levhası) doğru bindirme zonları ile karakteristiktir [34-36].

Tektonik konum olarak Hasenekevleri (Maden-Elazığ) güneyindeki Cu zenginleşmesi, Bitlis-Zagros Sütur Zonu (BSZS) kuzeyinde yer almaktadır (Şekil 1a). Bu bölgede İlk kez Ketin [37] tarafından Ergani-Eğil dolaylarında "Maden serisi" olarak adlandırılan litostratigrafik birimler yer

almaktadır. Güneydoğu Anadolu Orojenik kuşağınca gözlenen bu birimler için “Maden Kompleksi/Karmaşığı” [38-42] ve “Maden Grubu” ismi kullanılmıştır [3, 43].

Maden Grubu bazalt, bazaltik andezit, diyabaz, yastık lav, kumtaşı, şeyl, çamurtaşı ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Bu gruba ait kayalar 100-750 m arasında kalınlığa sahiptir [44]. Maden (Elazığ) bölgesinde ofiyolitler üzerine açılal uyumsuzlukla gelen bu birime ait volkanosedimanter istifler Arbo, Ceffan, Melafan ve Karadere formasyonu şeklinde dört formasyona ayrılmıştır [44]. Ertürk vd., [42] Maden Grubuna ait bazaltların Erken Kretase’ye kadar bir okyanus ortası sırtı boyunca MORB oluşumu ile yayıldığını, Geç Kretase’de okyanus içi yitimin başlaması ile ofiyolitler ve yay magmatitleri oluştuğunu belirtmiştir.

Paleontolojik çalışmalar Maden Grubunun yaşının Orta Eosen olduğunu [45], radyometrik yaşlar ise 48 Ma (Orta Eosen) olduğunu [40] göstermektedir.

### 3.2. Çalışma Alanının Jeolojisi

İnceleme alanında Orta Eosen yaşlı [45-46] Maden Grubuna ait birimler bulunmaktadır. Maden Grubu, alt volkano-sedimanter ve üst volkanik birimlerden oluşmaktadır [47]. Alt birim mafik volkanitler, çamurtaşları, pelajik kireçtaşları ve kireçtaşı bloklarından oluşmaktadır. Birbiri ile yanal-düşey geçişli olan bu birim üzerinde ise bazalt, andezit, diyabaz ve piroklastik kayalardan oluşan üst volkanik birimler gelir. Hasenekevleri civarında ve güneyinde Maden Grubuna ait birimler yüzlek vermektedir (Şekil 2). Tabandan tavana doğru istif incelendiğinde en altta bazalt mercekli sedimanter kayalar bulunmaktadır. Kırkor Tepesi ve Safi Sırtı boyunca gözlenen bu birimdeki sedimanter istif kıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı ve pelajik kireçtaşından oluşmaktadır. İnceleme alanının büyük bir bölümünde gözlenen diyabaz ve spilitik bazaltlar, pelajik çamurtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşı ile yanal düşey geçişlidir (Şekil 2). Düzgeeri Tepesi civarında ise dolomitik kireçtaşları açılal uyumsuzlukla tüm birimleri üzerlemektedir.



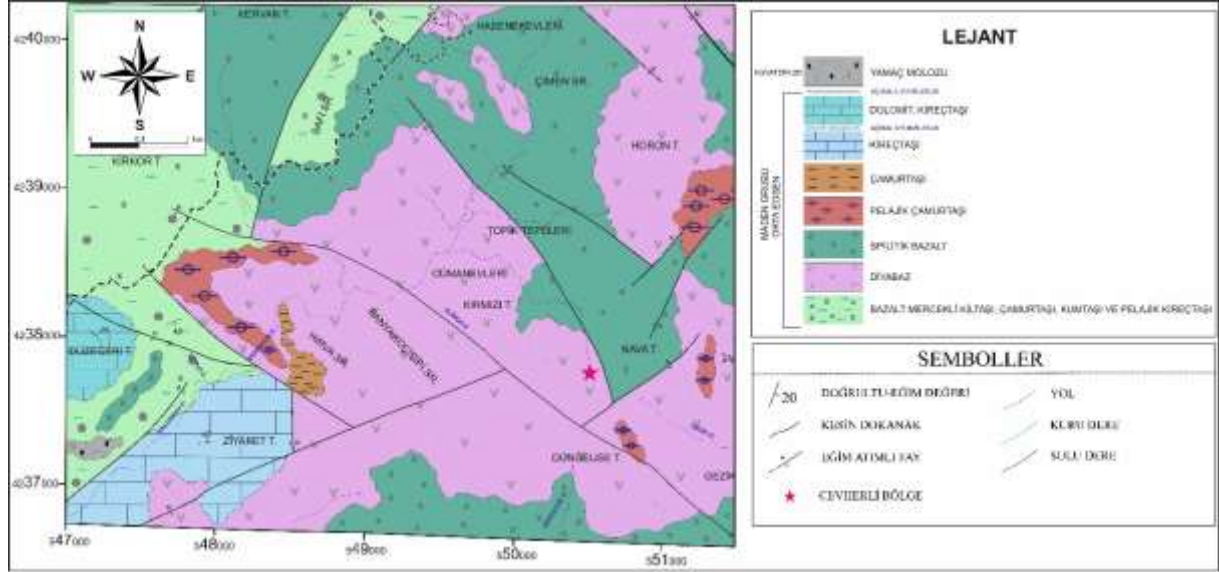
Şekil 1. a) İnceleme alanının tektonik konumu ve yer bulduru haritası (Işık, [48]’den değiştirilmiştir), b) Çalışma alanı ve civarının jeoloji haritası (MTA, [49]’den değiştirilmiştir).

Maden Grubuna ait birimler birçok alanda KD-GB ve KB-GD uzanımlı eğim atımlı faylar tarafından kesilmektedir. Bu faylar boyunca gelişen ezik zonlarda ise ikincil kuvars damarları ve altere zonlar yaygın olarak görülmektedir.

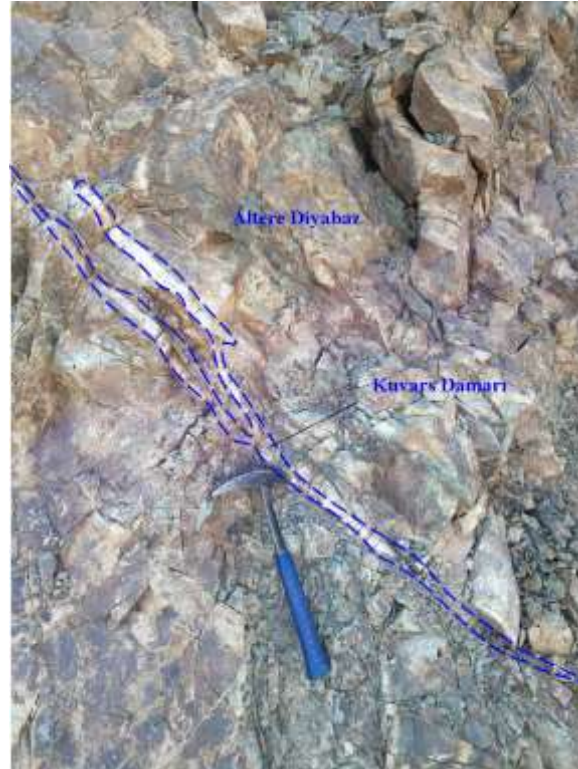
Hasanekevleri güneyindeki Nava Tepesi güneybatısında yer alan diyabazlar içerisinde gelişmiş kırık zonlarında kuvars damarları ile ilişkili Cu cevherleşmeleri bulunmaktadır (Şekil 2).

### 3.3. Cevherleşme

İnceleme alanında geniş alanlarda yüzlek veren diyabazlar içerisindeki süreksizlik düzlemleri boyunca kuvars damarları yaygın olarak gözlenmektedir. Bu damarların yaygın gözlendiği alanlarda ise diyabazlar oldukça altere olmuştur (Şekil 3).



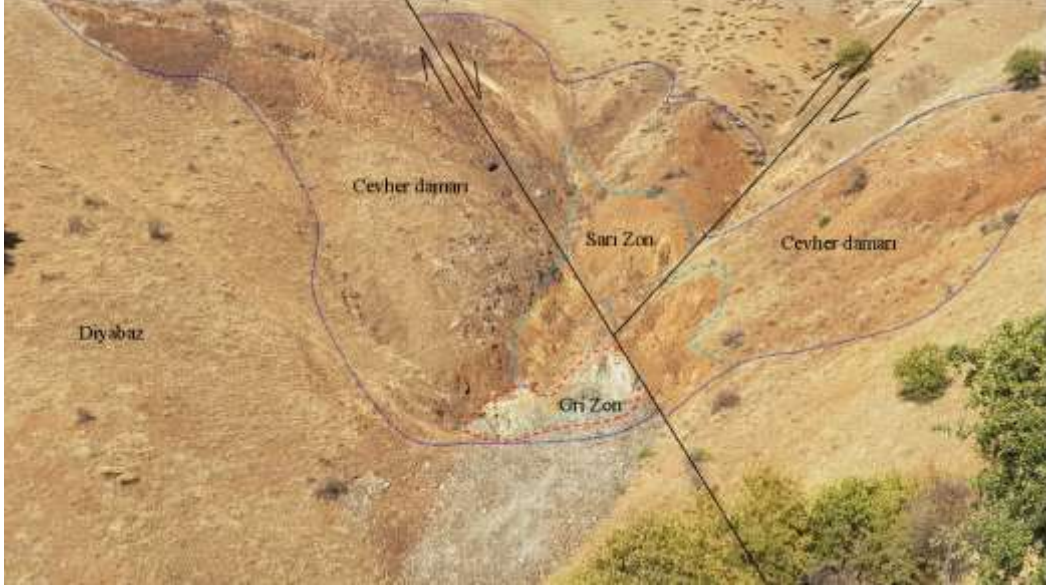
Şekil 2. İnceleme alanının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası



Şekil 3. İnceleme alanında altere diyabazlar ve kuvars damarlarının görünümü.



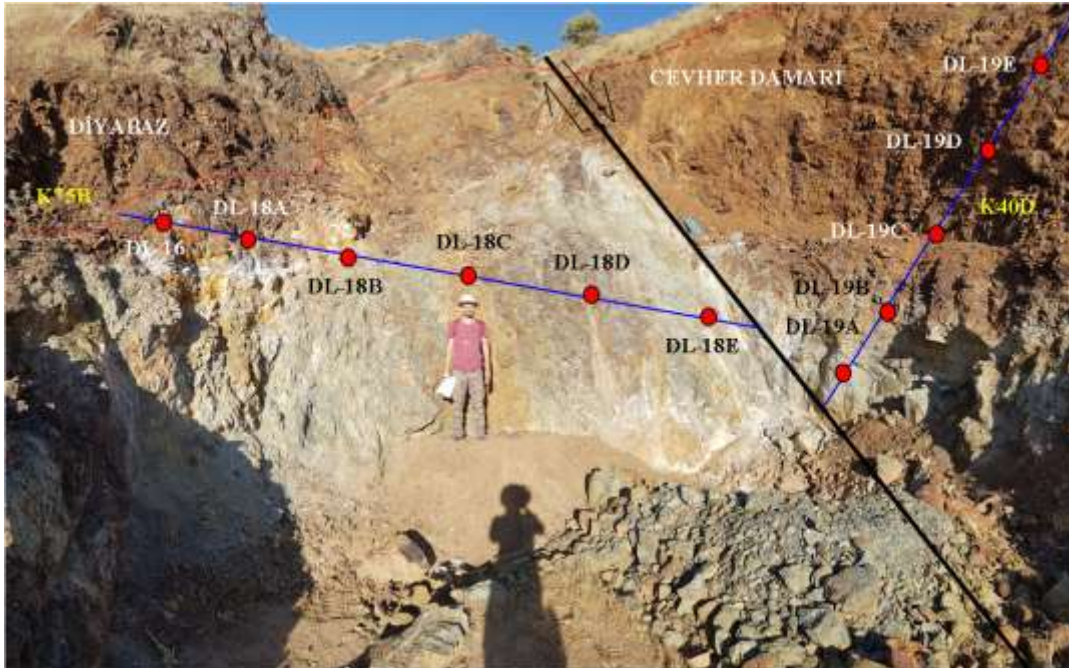
Hasanekevleri güneyinde yer alan Nava Tepesi güneybatısındaki diyabazlar içerisinde ise kırık hatları ile ilişkili damar tipi Cu cevherleşmesi bulunmaktadır (Şekil 2). Kuvars damarları ile ilişkili ve epijenetik oluşumlu cevherleşme, ortalama 30 m genişliğinde 100 m uzunluğundadır. Cevher damarları 3-10 cm arasında değişmektedir. Damarın doğrultusu K30D şeklindedir. Eğimi ve eğim yönü ise 65 GD'dir. Alterasyonun yoğun olarak gözlemlendiği bu alanda kükürtlü zonlar (sarı zon) ile kilce zengin zonlar (gri zon) görülmektedir (Şekil 4).



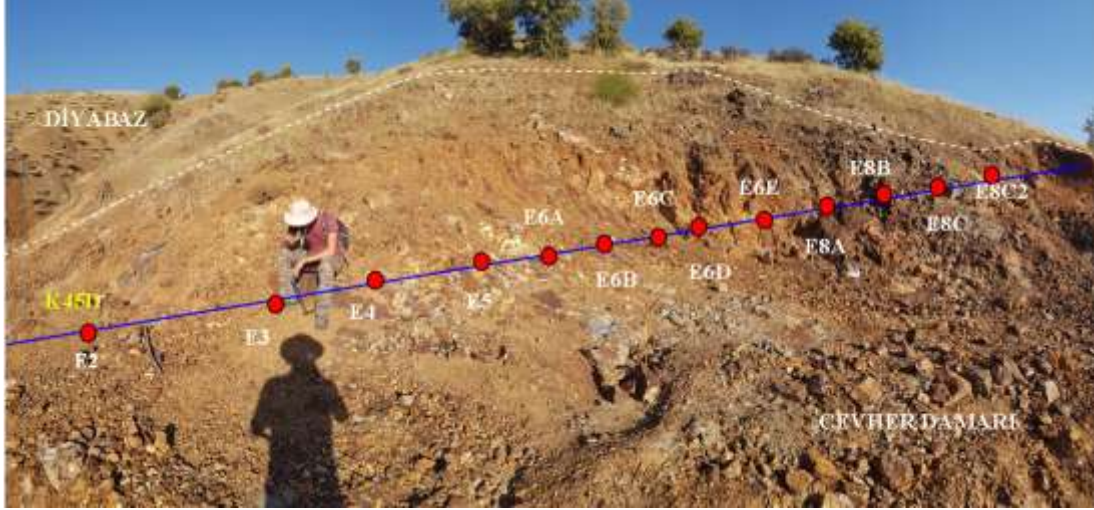
Şekil 4. İnceleme alanında Nava tepesi batısında yer alan cevher zonunun genel görünümü (Batıdan doğuya bakış)

### 3.4. Örnekleme

Nava Tepesi güneybatısında cevher damarı gözlenen diyabazlarda iki farklı zonda yüzey örnekleri alınmıştır. 1. zonda K75B doğrultusu boyunca 6 adet (Şekil 5), K40D doğrultusu boyunca 5 adet ve 2. zonda ise K45D (Şekil 6) doğrultusu boyunca 13 adet örnek derlenmiştir. Örneklemeye doğrultuları alterasyon, cevher damarı ve fay zonu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5. 1. Zonda derlenen örneklerin noktaları ve örnek doğrultuları

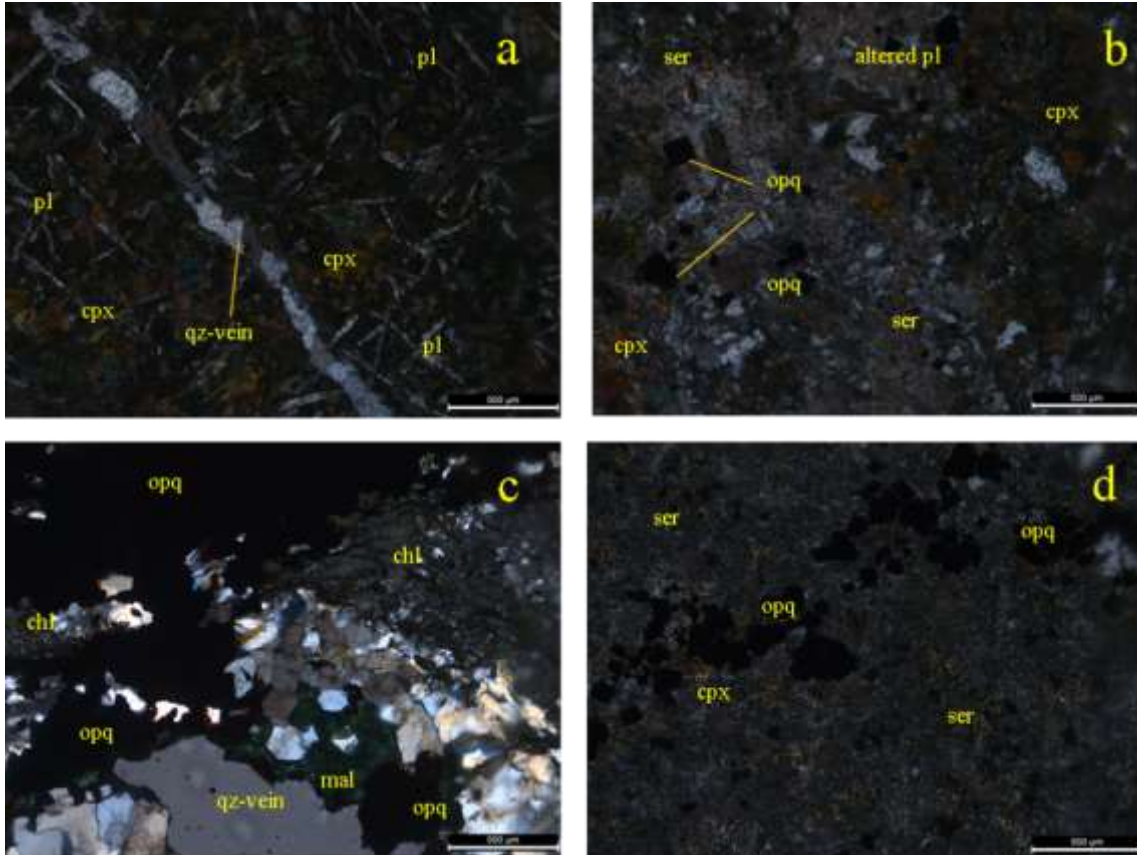


Şekil 6. 2. Zonda derlenen örneklerin noktaları ve örnek doğrultuları

## 4. Bulgular ve Tartışma

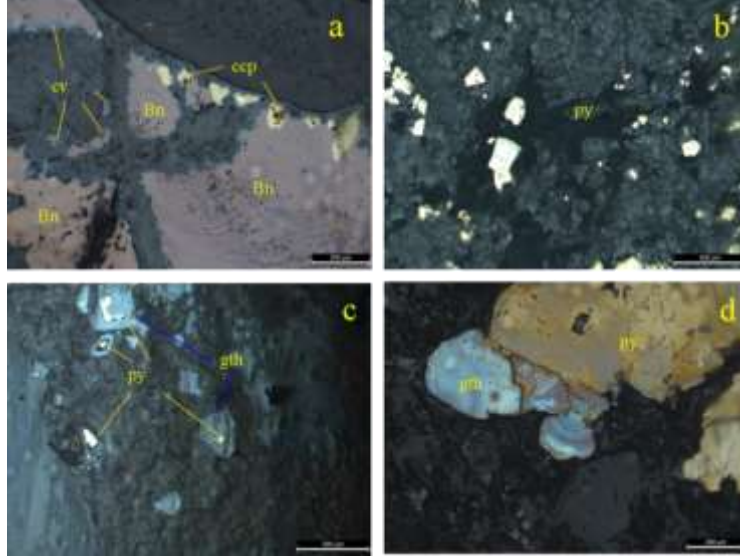
### 4.1. Mineraloji ve Petrografi

Cevher zonundaki diyabazların polarizan mikroskop incelemelerinde kayaç genel olarak subofitik dokuludur (Şekil 7a). Genel olarak kayaçta plajiyoklas, altere plajiyoklas, klinopiroksen, serisit, klorit, malakit, kuvars damarları ve opak mineraller yaygın olarak gözlenmektedir. Serisitleşme (Şekil 7b-d) ve kloritleşme (Şekil 7c) yaygın alterasyon mineralleridir. Kuvars damarları tarafından kesilen birim içerisinde ise kuvars damarları ile ilişkili opak mineraller bulunmaktadır (Şekil 7b-c-d).



Şekil 7. Diyabazların polarizan mikroskop görüntüleri, a: b: c: d: hangi fotoğrafta ne var yazılmalıdır. pl: plajiyoklas, cpx: klinopiroksen, ser: serisit, altered pl: altere plajiyoklas, chl: klorit, mal: malakit, qz-vein: kuvars damarı, opq: opak mineral.

Cevher mikroskobisi çalışmalarında ise başlıca pirit, kalkopirit, bornit, kovellit ve götit gözlenmiştir. Kalkopiritler bornite dönüşürken kovellit borniti ornatmaktadır (Şekil 8a). Piritlerde yer yer götit dönüşümü gözlenmekte olup bol piritli örneklerde pirit yüzeylerinin oldukça kirlendiği görülmektedir (Şekil 8b-c-d). Yapılan mikroskop çalışmaları sonucunda cevher minerallerinin diyabazları kesen kuvars damarları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir.



**Şekil 8.** Diyabazlar içerisinde gözlenen cevher minerallerine ait cevher mikroskobisi görüntüleri, Bn: bornit, ccp: kalkopirit, cv: kovellit, py: pirit, gth: götit.

Petrografik incelemeler cevher süksesyonunun pirit, bornit, kalkopirit, kovellit, götit ve malakit şeklinde olduğunu göstermektedir (Tablo 1).

**Tablo 1.** Cevherleşmenin parajenezi ve süksesyonu

Mineraller	Cevher Minerallerinin Oluştugu Evre	Süperjen Evre
Pirit	1	
Kalkopirit	2	
Bornit	3	
Kovellit	4	
Malakit		5
Götit		6

#### 4.2. Jeokimya

Cevher zonunda iki farklı alanda farklı doğrultularda alınan örneklerin ana oksit element içerikleri Tablo 2 ve Tablo 3’de sunulmuştur. 1.zonda alınan örneklerin SiO<sub>2</sub> değerleri % 36,34-68,52 (% ağırlık) arasında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri % 8,5-22,29 (% Ağırlık) arasında, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri % 4,72-26,11 (% Ağırlık) arasında MgO değerleri %0,91-13,71 (% Ağırlık) arasında ve SO<sub>3</sub> değerleri ise % 0,02-5,21 (% Ağırlık) arasındadır. Cu değerleri de % 0,01-0,03 (% Ağırlık) arasında olup eser miktarda bulunmaktadır (Tablo 2).

2. Zonda alınan örneklerin SiO<sub>2</sub> değerleri % 15,72- 71,6 (% Ağırlık) arasında, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri % 1,67-19,55 (% Ağırlık) arasında, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerleri % 2,81-23,96 (% Ağırlık) arasında MgO değerleri % 1,67-12,21 (% Ağırlık) arasında ve SO<sub>3</sub> değerleri ise % 0,13-44,72 (% Ağırlık) arasındadır. Cu maksimum % 2,45 (% Ağırlık) civarındadır (Tablo 3). Fay zonundan uzaklaştıkça Cu içeriğini arttırdığı, aşırı altere zonlarda Cu içeriğinin ise eser miktarda olduğu görülmektedir.

**Tablo 2. 1. Zonda alınan örneklerin XRF analizi sonuçları**

ÖRNEK	DL-16	DL-18A	DL-18B	DL-18C	DL-18D	DL-18E	DL-19A	DL-19B	DL-19C	DL-19D	DL-19E
<b>MAJOR OKSİTLER (%)</b>											
SiO <sub>2</sub>	50,93	45,66	54,59	46,15	68,52	36,34	53,41	46,53	48,71	44,66	45,65
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,23	18,9	10,16	14,04	8,5	15,38	15,67	10,2	16,15	22,29	17,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,71	7,3	9,88	10,62	4,72	13,44	9,21	26,11	12,65	17,15	16,15
MgO	13,36	11,0	4,12	9,87	4,61	13,71	4,49	0,91	5,57	1,36	5,37
CaO	0,54	0,8	16,26	7,44	0,42	2,98	1,78	0,02	0,98	0,3	0,14
Na <sub>2</sub> O	0,34	2,1	0,36	0,8	2,2	1,88	1,65	0,06	0,4	0,09	0,34
K <sub>2</sub> O	0,91	2,4	0,05	0,7	0,47	0,13	3,32	2,94	3,78	2,73	2,81
TiO <sub>2</sub>	0,41	0,6	1,09	0,56	0,26	1,03	1,42	2	1,1	1,14	1,67
MnO	0,33	0,3	0,28	0,51	0,11	0,49	0,15	0,01	0,18	0,02	0,22
SO <sub>3</sub>	4,06	3,3	0,02	2,56	5,21	4,77	2,48	1,61	2,61	0,11	0,44
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,15	0,2	0,09	0,16	0,09	0,61	0,67	0,52	0,56	0,15	0,37
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,18	0,1	0,61	0,04	0,15	0,21	0,4	0	0	0	0,45
Cu	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,03	0,01
LOI	7,63	7,09	2,18	6,3	4,62	8,86	4,98	8,8	6,88	9,67	8,01

**Tablo 3. 2. Zonda alınan örneklerin XRF analizi sonuçları**

ÖRNEK	E2	E3	E4	E5	E6A	E6B	E6C	E6D	E6E	E8A	E8B	E8C	E8C2
<b>MAJOR OKSİTLER (%)</b>													
SiO <sub>2</sub>	53,65	55,42	71,6	52,41	56,07	36,34	62,45	54,44	15,72	69,05	61,54	53,1	57,48
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,39	13,4	10,61	19,55	12,06	12,66	10,04	12,96	5,39	13,63	1,67	14,81	14,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,73	6,5	2,34	8,2	8,5	7,86	6,22	8,69	23,96	2,81	7,71	9,13	6,14
MgO	3,61	3,1	2,27	5,89	12,21	5,29	2,92	12,37	3,79	4,68	1,67	2,52	4,25
CaO	4,52	8,0	5,9	0,09	0,26	1,49	0,18	0,45	0,13	0,61	11,52	12,04	0,28
Na <sub>2</sub> O	7,16	3,2	3,21	0,29	0	1,35	1,01	1,03	0	2,84	0	3,35	0,14
K <sub>2</sub> O	0,15	1,1	0,03	3,63	0,84	2,14	1,93	0,26	0,73	1,7	0,13	0,04	3,81
TiO <sub>2</sub>	0,98	1,1	0,83	1,01	0,5	1,14	0,36	0,54	0,11	0,46	0,05	0,85	0,48
MnO	0,19	0,3	0,04	0,23	0,22	0,31	0,05	0,3	0,04	0,14	0,1	0,18	0,19
SO <sub>3</sub>	0,23	0,9	0,13	1,44	2,79	0,7	7,86	2,49	44,72	0,72	10,54	0,02	4,98
Ba	-	-	0,18	0,07	-	-	0,24	-	-	0,12	-	-	0,31
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,4	0,32	0,18	0,11	0,46	0,08	0,13	0,07	0,22	0	0,47	0,1
Sr	-	-	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	-
Cu	<b>1,07</b>	<b>2,45</b>	<b>0,20</b>	<b>0,02</b>	-	<b>0,01</b>	-	-	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	-	<b>0,56</b>	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,45	0,4	0	0,2	0,47	0	0,08	0,06	0,32	0,25	0	0,01	0,13
LOI	3,25	2,96	2,23	6,55	5,8	29,41	6,48	6,2	4,91	2,73	4,99	2,32	7,26

### 4.3. Alterasyon Jeokimyası

Yapılan saha ve laboratuvar çalışması sonucunda Nava Tepesi güneybatısında gözlenen altere zonlardaki mineralojik ve kimyasal değişimleri belirlemek amacıyla,

- 1- Klorit-karbonat-pirit indeksi [50-51] ( $CCPI=100(MgO+FeO^*)/(MgO+FeO^*+Na_2O+K_2O)$ ),
- 2- Kimyasal alterasyon indeksi [52] ( $CIA= molar Al_2O_3 / (Al_2O_3+CaO^*+Na_2O+K_2O)\times 100$ ),
- 3- Alterasyon indeksi [50-51] ( $AI= 100(K_2O+MgO)/(K_2O+MgO+Na_2O+CaO)$ ) hesaplanmıştır (Tablo 4).

İndeks değerleri (CIA); 15,72-85,90, klorit-karbonat-pirit indeksi (CCPI) değerleri; 56,94-98,51 ve alterasyon indeksi (AI) değerleri ise 13,51-98,05 arasındadır.

Kaolenit ve klorit gibi fillosilikatların CIA değeri 95-100, diğer killerden simektit ve illitin CIA değeri 75-85 aralığındadır [52]. CIA değerlerine göre fay zonu boyunca (1. Zon) orta dereceli ayrışma (CIA: 64,5-68,1), cevherleşme bölgesinde ise orta (CIA: 65-85) ve ileri dereceli (CIA >85) ayrışma gerçekleşmiştir.

A-CN-K( $Al_2O_3-CaO^*+Na_2O-K_2O$ ) diyagramında [53] (Şekil 9) 1.Örnekleme zonuna ait örneklere göre, K-feldispat büyük oranda alterasyona uğrayarak fillosilikata (illit) dönüşmüş ve ortamda  $K_2O$  azalırken  $Al_2O_3$  miktarı artmıştır (Şekil 9a). 2. Örnekleme zonuna göre ise  $Ca_2O$  ve  $Na_2O$  azalırken,  $K_2O$  ve  $Al_2O_3$  artmış ve feldispatlar (plajiyoklas) muskovite-illite (serisite) dönüşmüştür. Alterasyonun ileri evresinde ise  $K_2O$  azalarak ortamda  $Al_2O_3$  artmıştır (Şekil 9a).

A-CN-K-FM ( $Al_2O_3-CaO^*+Na_2O+K_2O-FeO^*+MgO$ ) [53] diyagramında 1.Örnekleme zonunda  $Fe_2O_3$  ve  $MgO$ 'in (FM) toplamı  $Ca_2O$ ,  $Na_2O$  ve  $K_2O$ 'e (CNK) göre artmış, kloritleşmeye doğru eğilim gerçekleşmiştir (Şekil 9b). 2. Örnekleme zonunda ise  $Fe_2O_3$  ve  $MgO$  miktarı alterasyonla birlikte artmış ve serisitler kloritleşmiştir (Şekil 9b).

Elde edilen indeks değerleri  $K_2O$ -AI (Şekil 10a) ve  $Na_2O$ -AI (Şekil 10b) diyagramlarında değerlendirilmiştir. Her iki örnek zonunda da alterasyon eğiliminin kloritleşme ve serisitleşmeye doğru ilerlediği ve alterasyonda hidrotermal akışkanların etkili olduğu [51] görülmektedir.

Na-Plajiyoklasların alterasyonu sırasında meydana gelen iyon değişimi nedeni ile alterasyonun şiddeti arttıkça %  $Na_2O$  azalmaktadır ( $R^2=0.84$ ) (Şekil 11a). Serisit klorite oranına bağlı olarak artan  $K_2O$  miktarı da, AI indeksi ile de ilişkilidir ( $R^2=0.98$ ) (Şekil 11 b).

CCPI-AI diyagramında ise (Şekil 12) iki zona ait örneklerin hidrotermal ayrışma alanında [51] ve yaygın alterasyon eğiliminin ise klorit+pirit+serisit şeklinde olduğu görülmektedir.

### 4.4. Tartışma

Kıbrıs tipi VMS yataklarından olan Maden (Elazığ) bölgesine yakın olması sebebiyle Hasenekevleri (Maden-Elazığ) güneyindeki Cu cevherleşmesinin jeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi önemlidir. Maden (Elazığ) bölgesinde yapılmış çalışmalarda iki farklı tip Cu mineralizasyonu oluşumundan bahsedilmektedir [54]. Aynı yazarlar tarafından iki farklı tipteki yatak, mineral parajenezi ve alterasyon mineralojisi araştırılarak karşılaştırılmıştır. Zahuran bölgesinde (Maden-Elazığ) diyabazlar içerisinde gelişen fay zonları ile ilişkili Cu zenginleşmelerinin olduğu ve epijenetik hidrotermal cevherleşmede alterasyonların görüldüğü belirtilmiştir [54]. Bu çalışmada da benzer şekilde mineral parajenezi ve alterasyon mineralojisi karşılaştırılmıştır.

Maden (Elazığ) bakır yatağı Eosen yaşlı Maden grubuna ait çamurtaşları ve kloritleşmiş bazaltlar arasında ve tabakalı diyabaz daykları arasında [13,17], Hasenekevleri güneyindeki cevherleşme ise diyabazlar içerisinde bulunmaktadır.

Maden yatağının mineral parajenezi pirit, kalkopirit, sfalerit, manyetit ve ekzojenik bornite bağlı nabit bakırdan oluşmakta [18] Hasenekevleri güneyinin ise pirit, bornit, kalkopirit, kovellit, götit ve malakitten oluşmaktadır.

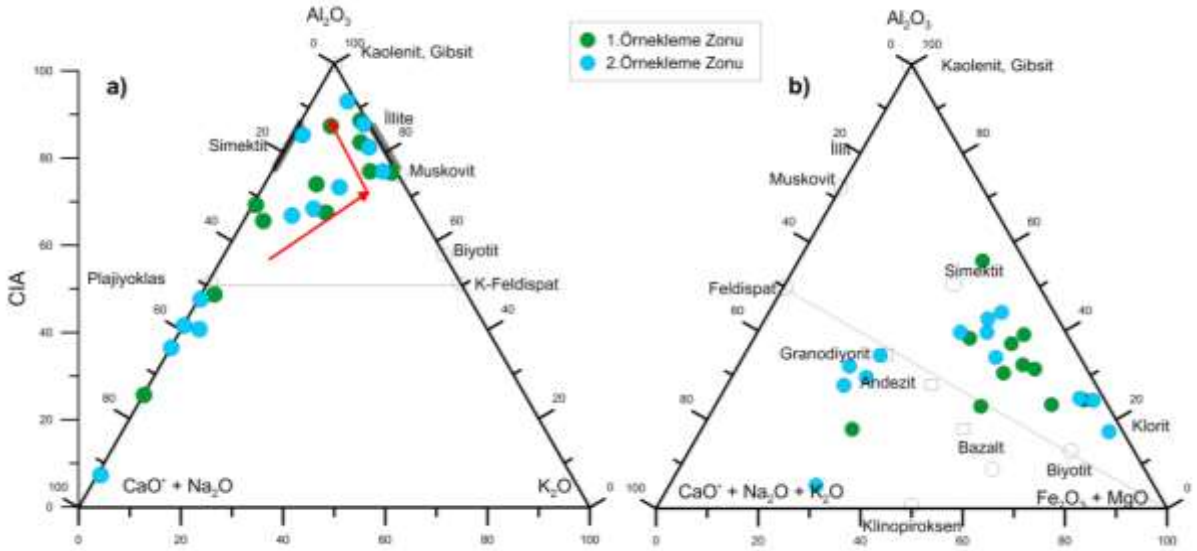
Maden yatağında diyabazlarda silisleşme, kloritleşme ve kaolenleşme yaygın olarak gözlenmekte [18] iken Hasenekevleri güneyinde kloritleşme, piritleşme ve serisitleşme yaygındır. Cevher zonunda yapılan alterasyon jeokimyası çalışmalarında indeks değerleri (CIA); 15,72-85,90, klorit-karbonat-pirit indeksi (CCPI) değerleri; 56,94-98,51 ve alterasyon indeksi (AI) değerleri ise 13,51-98,05 arasındadır. Bu değerler CCPI-AI diyagramında hidrotermal ayrışma alanında yoğunlaşmış [51] ve yaygın alterasyon eğiliminin ise klorit+pirit+serisit şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Kıbrıs Tipi VMS yataklarının sinjenetik oluşumlu olduğu kabul edilmektedir. Ancak Hasanekevleri güneyindeki cevherleşme diyabazlarda gelişmiş kırık hatlarındaki kuvars damarları ile ilişkilidir ve epijenetik oluşumludur.

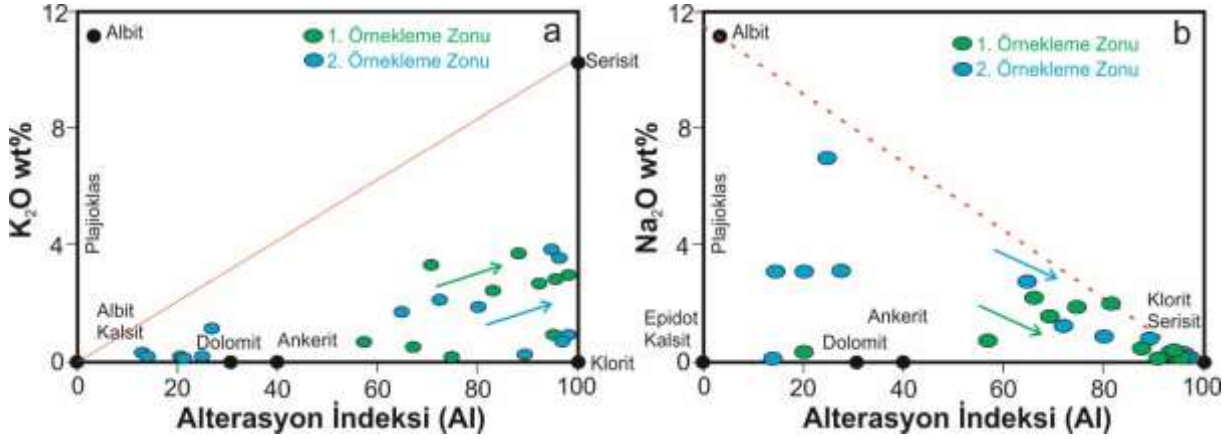
İnceleme alanına yakın alanda gözlenen Zahuran (Maden-Elazığ) bölgesindeki damar tipi cevherleşmelerin en azından bir kısmının daha önceden oluşmuş volkano-sedimanter tipdeki cevher zonlarından katyonlar ile kırık hatlarında hareket ederek diyabazlardaki ezik zonlara yerleşebileceği öne sürülmüştür [54]. Hasanekevleri güneyindeki Cu cevherleşmesi de benzer özellikler göstermektedir.

**Tablo 4.** Cevher zonunda hesaplanan alterasyon indeks değerleri

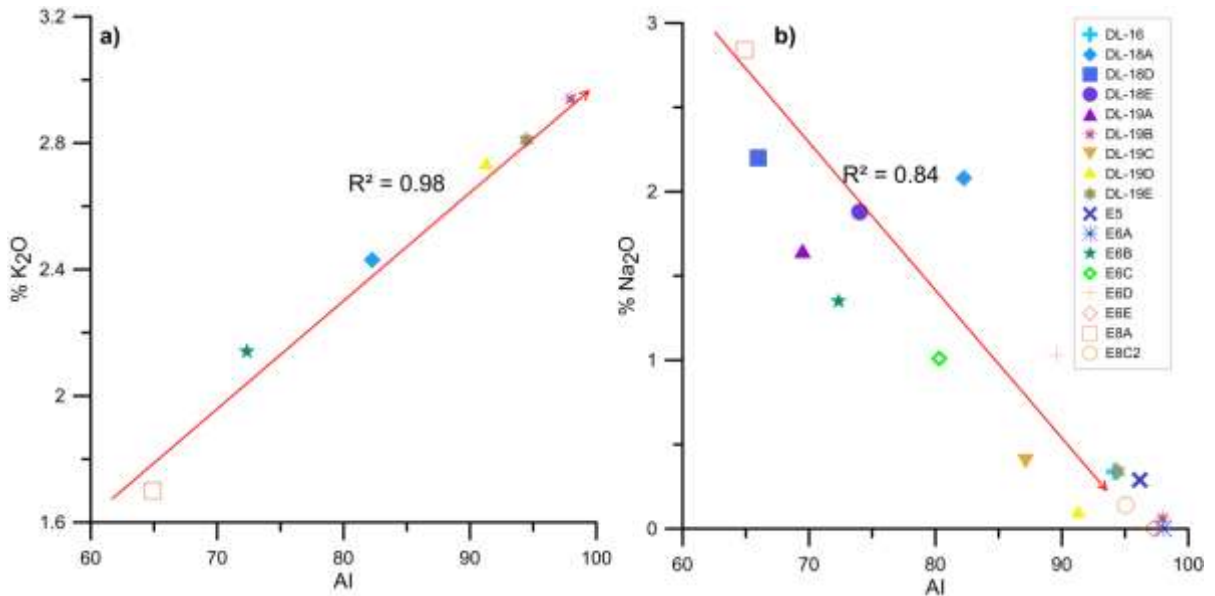
<b>Örnek</b>	<b>CIA</b>	<b>CCPI</b>	<b>AI</b>
<b>DL-16</b>	68,5	94,20	94,19
<b>DL-18A</b>	85,9	79,55	82,25
<b>DL-18B</b>	72,8	96,94	20,06
<b>DL-18C</b>	25,3	92,83	56,19
<b>DL-18D</b>	48,0	76,84	65,97
<b>DL-18E</b>	64,5	92,77	74,01
<b>DL-19A</b>	68,1	72,00	69,48
<b>DL-19B</b>	66,4	89,05	97,96
<b>DL-19C</b>	83,1	80,22	87,14
<b>DL-19D</b>	75,7	85,62	91,29
<b>DL-19E</b>	87,1	86,34	94,46
<b>E2</b>	53,65	56,94	24,35
<b>E3</b>	55,42	67,58	27,23
<b>E4</b>	71,6	57,46	20,16
<b>E5</b>	52,41	77,19	96,16
<b>E6A</b>	56,07	95,94	98,05
<b>E6B</b>	36,34	77,98	72,35
<b>E6C</b>	62,45	74,34	80,30
<b>E6D</b>	54,44	93,99	89,51
<b>E6E</b>	15,72	97,20	97,20
<b>E8A</b>	69,05	61,36	64,90
<b>E8B</b>	61,54	98,51	13,51
<b>E8C</b>	53,1	76,00	14,26
<b>E8C2</b>	57,48	71,22	95,05
<b>E8C2</b>	57,48	71,22	95,05



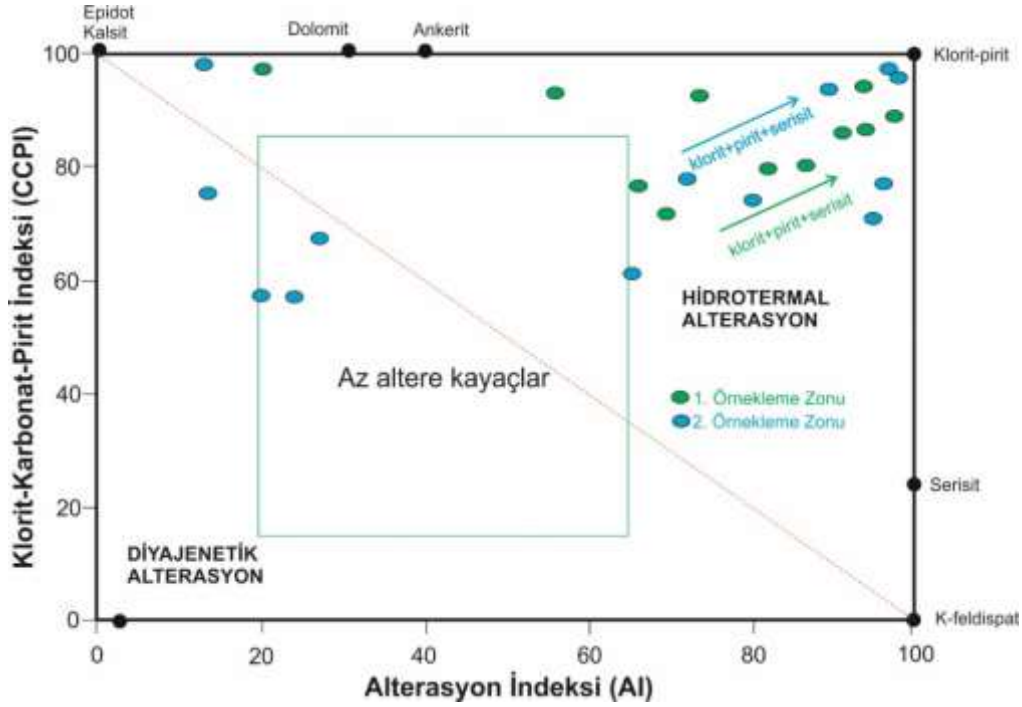
Şekil 9. Hasanekevleri cevher zonlarındaki örnekler için, (a) A-CN-K( $Al_2O_3$ - $CaO^*$ + $Na_2O$ - $K_2O$ ) ve (b) A-CN-K-FM ( $Al_2O_3$ - $CaO^*$ + $Na_2O$ + $K_2O$ -  $FeO^*$ + $MgO$ ) diyagramları.



Şekil 10. a. Hasanekevleri cevher zonlarındaki örnekler için,  $K_2O$ -AI diyagramı, b.  $Na_2O$ -AI diyagramı.



Şekil 11. a. Hasanekevleri cevher zonlarındaki örnekler için,  $K_2O$ -AI diyagramı, b.  $Na_2O$ -AI diyagramı.



Şekil 12. Hasanekevlere cevher zonlarındaki örnekler için, CCPI-AI diyagramı.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Hasanekevlere (Maden-Elazığ) güneyindeki Nava Tepesi batısında yer alan Orta Eosen yaşlı Maden Grubuna ait diyabazlar içerisinde gelişen fay zonları ve eklemlerde kuvars damarları gözlenmektedir. Bu damarlar ile ilişkili cevher mineralleri de gelişmiştir.

Yapılan petrografi ve jeokimya çalışmaları, bölgede hidrotermal alterasyonun geliştiğini ve yan kayaçlarda serisitlenme, kloritleşme ve piritleşmenin yaygın olduğunu göstermektedir. Alterasyon jeokimyası çalışmalarında indeks değerleri (CIA); 15,72-85,90, klorit-karbonat-pirit indeksi (CCPI) değerleri; 56,94-98,51 ve alterasyon indeksi (AI) değerleri ise 13,51-98,05 arasındadır. Yan kayaçlarda gözlenen alterasyon eğilimi klorit+pirit+serisit şeklindedir.

Damar tipi şeklinde ve epijenetik oluşumlu cevher zonunda süksesyona pirit, bornit, kalkopirit, kovellit, götit ve malakit şeklinde olduğu ve yapılan üç farklı doğrultudaki örneklendirmede Cu'nun %2,45'e (% Ağırlık) ulaştığı belirlenmiştir.

Cevherleşmenin Orta Eosen yaşlı Maden grubuna ait diyabazlar içerisindeki süreksizlik düzlemleri boyunca yerleşmiş kuvars damarları ile ilişkili olarak gözlenmesi ve bu zonlarda hidrotermal alterasyonun yoğun olarak bulunması cevherleşmede yapısal kontrolün etkin olduğunu ve cevher zonlarının kırık hatları ile sınırlı olduğunu göstermektedir.

## Yazarların Katkısı

Genel Jeoloji, saha jeolojisi, cevher petrografisi ve maden jeolojisi çalışmaları sorumlu yazar tarafından gerçekleştirilmiştir. Jeokimyasal analiz ve kayaç petrografisi çalışmaları ikinci ve üçüncü yazarlar tarafından yapılmıştır. Son yazar alterasyon jeokimyası çalışmalarını gerçekleştirmiştir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



## Kaynaklar

- [1] Seeliger T.C., Pernicka E., Wagner G.A., Begeman F., Schmitt-Strecker S., Eibner C., Öztunalı Ö., Baranyı I. 1985. Archo-metalurgische untersue-hungen ni Nord und Ostanatolien. 32. Jahrbuch des Römisch. Germanischen Zentralmuseums, Mainz, Germany, 597-659.
- [2] Tızlak E. 1991. Mining in the Keban-Ergani area (1780- 1850). Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (in Turkish).
- [3] Erdoğan B. 1977. Geology geochemistry and genesis of the sulphide deposits of the Ergani-Maden region SE Turkey. PhD Thesis. University of New Brunswick,
- [4] Özkaya İ. 1978. Stratigraphy of Ergani-Maden vicinity. Geological Bulletin of Turkey, 21: 129-139.
- [5] Özdemir Z., Sağıroğlu A. 1998. The Study of Biogeochemical Anomalies for Fe along the Maden River (Maden-Elazig). Geological Bulletein of Turkey, 41/1: 49-54.
- [6] Özdemir Z., Sağıroğlu A. 2000. The Study of Biogeochemical Anomalies for Zn along the Maden River (Maden-Elazig). Mersin University, Series of Essay, 4: 93-100.
- [7] Kırat G., Bölücek C., Kalender L. 2008. Distribution of Cu, Pb, Zn, As Cd and Fe in stream sediments around of Maden copper deposit. Geosound/Yerbilimleri, 53: 203-217.
- [8] Kalender L. 2012. Environmental impact and drainage geochemistry of the abandoned Keban Ag, Pb, Zn deposit, In: Dionisions Panagiotaras (Ed.), Working Maden Cu Deposit and Alpine Type Cr Deposit in the Eastern Anatolia, Turkey. Geochemistry, Published by In Tech, Croatia, 345–370.
- [9] Sirel M.A. 1949. Die Kupferlagerstaette Ergani-Maden in der Turkei. N. Jh. Mineral. Abh. Abt. A., 80: 36-95.
- [10] Borchert H. 1952. Ergani bakır cevheri yataklarında yapılan jeolojik tatbikata ait rapor. Yayımlanmamış rapor, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 2083 Ankara, Türkiye.
- [11] Schneiderhöhn H. 1954. Ergani bakır yatağı, Yayımlanmamış rapor. Etibank Genel Müdürlüğü, 812, Ankara, Türkiye, 1-48.
- [12] Göymen G., Aslaner M. 1969. Doğu Anadolu’da bulunan Ergani–Maden bakır yatağının ve bilhassa yantaşlarının maden mikroskopik incelenmesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Dergisi, 72: 176-188.
- [13] Bamba T. 1976. Güneydoğu Anadolu Ergani-Maden bölgesi ofiyolit ve ilgili bakır yatağı. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) Dergisi, 86: 35-49.
- [14] İleri S., Salancı B., Bitem M., Doğan R. 1976. Ergani (Maden) copper deposit and plate tectonics. Bull. Geol Soc. Turk, 19: 133-142.
- [15] Erdoğan T. 1975. VI. Bölge Gölbaşı Dolayının Jeolojisi. TPAO Rapor No: 929, Ankara (yayımlanmamış).
- [16] Erler A. 1983. Tectonic setting of the massive sulphide deposit of the Southeast Anatolian thrust belt. In: Tekeli, O., Göncüoğlu, M.C. (Eds.), Geology of the Taurus Belt. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara, 309-316.
- [17] Wijkerslooth P. 1944. Elazığ ili (Ergani-Maden) bakır yatakları hakkındaki bilgiye yeni bir ilave [New contribution to the understanding of Elazığ (Ergani-Maden) copper deposits]. Bull Min Res Exp, 33: 76-104.
- [18] Çiftçi E. 2019. Volcanogenic Massive Sulfide (VMS) deposits of Turkey. In: Pirajno F., Ünlü T., Dönmez C., Şahin M. (eds) Mineral Resources of Turkey. Modern Approaches in Solid Earth Sciences, Springer, Cham., 16: 427-496.
- [19] Constantinou G. 1980. Metallogenesis associated with the Troodos ophiolite. A. Panayiotu (Ed.). Ophiolites Proceeding International Ophiolite Symposium, 1980, Nicosia-Cyprus, 663-674.
- [20] Richards H., Cann J., Jensenius J. 1989. Mineralogical zonation and metasomatism of the alteration pipes of Cyprus sulfide deposits. Econ Geol, 84 (1): 91-115.
- [21] Yıldırım N., Dönmez C., Kang J., Lee I., Pirajno F., Yıldırım E., Günay K., Seo J.H., Farquhar J., Chang S.W. 2016. A magnetite-rich Cyprus-type VMS deposit in Ortaklar: a unique VMS style in the Tethyan metallogenic belt, Gaziantep, Turkey. Ore Geol Rev, 79: 425-442.
- [22] Altun Y., Yılmaz H., Şiner İ., Yazar F. 2015. The secrets of massive sulfide deposits on mid-ocean ridges and Küre-Mağaradoruk copper deposit. Bull Min Res Exp, 150: 51-64.

- [23] Şaşmaz A., Gümüş G., Sağıroğlu A. 1999. A typical example of allochthonous Cyprus type copper mineralizations: Derdere mineralizations. *Geol Bull Turkey*, 42 (1): 105-117.
- [24] Akıncı Ö.T. 2009. Ophiolite-hosted copper and gold deposits of southeastern Turkey: formation and relationship with seafloor hydrothermal processes. *Turk J Earth Sci*, 18 (4): 475-509.
- [25] Yıldırım N., İlhan S., Akyıldız M., Yıldırım E., Dönmez C. 2010. The importance of the ophiolites of the southern branch of the Neotethys (Koçali ophiolitic complex), in terms of the Cyprus Type VMS Deposits. In: 7th International symposium on Eastern Mediterranean Geology, Turkey, Adana.
- [26] Yıldırım N., İlhan S., Yıldırım E., Dönmez C. 2012. The geology, geochemistry and genetical features of the Ormanbaşı Hill (Sincik, Adıyaman) copper mineralization. *Bull Min Res Exp*, 144: 75-104.
- [27] Yıldırım N., Parlak O., Robertson A.H.F. 2012. A Geochemistry and tectonic significance of the Koçali ophiolite and the related Koçali melange, Adıyaman region, SE Turkey. In: EGU General Assembly conference abstracts, 1253.
- [28] İlhan S. 2013. The origin of massive sulfide deposits within the Kocali Complex (Adıyaman). PhD thesis, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Adana, (in Turkish with English Abstract, unpublished).
- [29] Akyıldız M., Yıldırım N., Gören B., Yıldırım E., İlhan S. 2015. The origin of vein-type copper-lead-zinc deposits Host in Palaeozoic metamorphic rocks at the Southeast Anatolian Orogenic Belt (Küplüce-Adıyaman, Southeastern Turkey). *J Afr Earth Sci*, 102: 191-202.
- [30] Ketin İ. 1983. An overview of the geology of Turkey. Istanbul Technical University Library Publication 1259, 1-595.
- [31] Şengör A.M.C., Yılmaz Y. 1981. Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75 (3-4): 181-241.
- [32] Robertson A.H.F., Ustaömer T., Pickett E.A., Collins A.S., Andrew T., Dixon J.E. 2004. Testing models of Late Palaeozoic–Early Mesozoic orogeny in Western Turkey: support for an evolving Open-Tethys model. *J Geol Soc*, 161 (3): 501-511.
- [33] Okay AI. 2008. Geology of Turkey: a synopsis. *Anschnitt*, 21: 19-42.
- [34] Yıldırım M. Yılmaz Y. 1991. Güneydoğu Anadolu orojenik kuşağının ekaylı zonu [Imbricated zone of the Southeast Anatolian Orogenic Belt]. *Turkish Assoc Pet Geol Bull (TAPG)*, 3: 57-73.
- [35] Yılmaz Y. 1993. New evidence and model evolution of the southeast anatolian orogen. *Geological Society of America Bulletin*, 105: 251-271.
- [36] Yılmaz Y., Yigitbaş E., Genç S. 1993. Ophiolitic and metamorphic assemblages of southeast Anatolia and their significance in the geological evolution of the orogenic belt. *Tectonics*, 12: 1280-1297.
- [37] Ketin İ. 1948. Ergani Eğil bölgesinin jeolojik etüdü hakkında memuar. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rap. No. 2015 (yayımlanmamış).
- [38] Perinçek D., Özkaya İ. 1981. Arabistan levhası kuzey kenarının tektonik evrimi. *Yerbilimleri*, 8: 91-101.
- [39] Yazgan E. 1983. A geotraverse Between the Arabian Platform and the Munzur Nappes. International Symposium on the Geology of the Taurus Belt, 17, 26-29 September, Ankara, 17p.
- [40] Yazgan E. 1984. Geodynamic Evolution of the Eastern Taurus Region (Malatya-Elazığ area, Turkey). International Symposium on the Geology of the Taurus Belt, 26-29 September, Ankara, 199-208.
- [41] Hempton M. 1985. Structure and deformation history of the Bitlis suture near Lake Hazar, SE Turkey. *Geological Society of America Bulletin*, 96: 223-243.
- [42] Ertürk M.A., Beyarslan M., Chung S.-L., Lin T.H. 2018. Eocene magmatism (Maden Complex) in the Southeast Anatolian Orogenic Belt: Magma genesis and tectonic implications. *Geoscience Frontiers*, 9: 1829-1847.
- [43] Aktaş G., Robertson A.H.F. 1990. Tectonic evolution of the tethys suture zone in SE, Turkey: Evidence from the petrology and geochemistry of late Cretaceous and Middle Eocene extrusives. In: Symposium On ophiolite genesis and evolution of oceanic lithosphere, Geological Society of London Special Publications, 311-328.

- [44] Açıkbaş D., Baştuğ C. 1975. V. Bölge Cacaz-Hani Yöresi Kuzey sahalarının jeoloji raporu ve petrol olanakları [Geology survey report and petroleum potentials of V. Region Cacaz-Hani area northern territories]. TPAO Raport No: 917 (in Turkish, unpublished).
- [45] Perinçek D. 1979. Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkânları. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Rap. No. 1361.
- [46] Robertson A.H.F., Parlak O., Rızaoğlu T., Ünlügenç U.C., Inan N., Taslı K., Ustaömer T. 2007. Tectonic evolution of the South Tethyan ocean: evidence from the Eastern Taurus mountains (Elazığ region, SE Turkey). Geological Society of London Special Publications, 272: 233-272.
- [47] Erdoğan B. 1982. Ergani-Maden Yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit kuşağının jeolojisi ve volkanik kayaçları. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 25: 49-50.
- [48] Işık V. 2016. Torosların Jeolojisi; Türkiye Jeolojisi Ders Notu. Ankara Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [49] Mineral Research and Exploration (MTA), 2002. 1/500.000 scale geological maps of Turkey. General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara, Turkey.
- [50] Ishikawa Y., Sawaguchi T., Iwaya S., Horiuchi M. 1976. Delineation of Prospecting Targets for Kuroko Deposits Based on Modes of Volcanism of Underlying Dacite and Alteration Haloes. Mining Geology, 26: 105-117.
- [51] Large R.R., Gemmell J.B., Paulick H., Huston D.L. 2001. The alteration box plot: A simple approach to understanding the relationship between alteration mineralogy and lithogeochemistry associated with volcanichosted massive sulfide deposits: Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, 96: 957-971.
- [52] Nesbitt H.W., Young G.M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. Nature, 299: 715-717.
- [53] Nesbitt H.W., Young G.M. 1989. Formation and diagenesis of weathering profiles: The Journal of Geology, 97: 129-147.
- [54] Üstüntaş A., Sağiroğlu A. 1993. Zahuran (Maden-Elazığ) yöresindeki iki farklı tip Cu cevherleşmesi. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 36: 179-188.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Köprülerin Yapısal Analizinde Hareketli Yük Dağıtma Katsayıları Etkisinin İncelenmesi**

Fatma ÜLKER PEKER<sup>1\*</sup>, Ragıp İNCE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Malatya

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
(ORCID: 0000-0002-0805-4367) (ORCID: 0000-0002-9837-8284)

---

### **Öz**

Bu çalışmada AASHTO-LRFD Köprü Şartnamesinde uygulama ve hesap özellikleri verilen hareketli yük dağıtma katsayılarının (LLDF) köprülerin analizinde kullanılması araştırılmıştır. Bu amaçla, üç açıklıklı 30-30-30 m ve 33-50-38 m köprülerin LLDF hesaplamaları AASHTO Şartnamesine göre yapılmıştır. Bu köprüler yaklaşık analiz yöntemi olan Çizgisel-Kiriş yöntemiyle analiz edilmiştir ve hesaplanan LLDF katsayıları analizde kullanılmıştır. 30-30-30 m köprüünün SAP2000 programıyla ve 33-50-38 m köprüünün CSiBridge programıyla analizi yapılmıştır. Bu programlarla yapılan analizde LLDF katsayıları program tarafından otomatik olarak hesaplamalara katılmaktadır. Yapılan çalışma sonucunda Çizgisel-Kiriş yöntemiyle analizden elde edilen sonuçların, hassas ve kesin analiz yapan SAP2000 ve CSiBridge programlarıyla elde edilen sonuçlara çok yakın olduğu görülmüştür. Böylece, AASHTO Tasarım Şartnamesi'ne göre LLDF hesaplamalarının yapısal analizde kullanımının doğruluğu ve uygunluğu ortaya konulmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Çelik köprü, köprü analizi, çizgisel-kiriş analizi, LLDF.

---

## **Investigation of Live Load Distribution Factors Effect in Structural Analysis of Bridges**

### **Abstract**

In this study, the use of live load distribution factors (LLDF) that application and calculation properties are defined in the AASHTO Bridge Specification, in the analysis of bridges is investigated. For this purpose, LLDF calculations of three spans of 30-30-30 m and 33-50-38 m bridges is made according to AASHTO Specification. These bridges are analyzed by Line-Girder method and calculated LLDF coefficients are used in the analysis. The 30-30-30 m bridge is analyzed by SAP2000 program and the 33-50-38 m bridge is analyzed by CSiBridge program. In the analysis made with these programs, LLDF coefficients are automatically included in the calculations by the program. As a result of the study, it was seen that the results obtained from the Linear-Girder analysis were very close to the results obtained with the SAP2000 and CSiBridge programs which perform precise and exact analysis. Thus, the accuracy and appropriateness of the use of LLDF calculations in structural analysis according to AASHTO Design Specification have been demonstrated.

**Keywords:** Steel bridge, bridge analysis, line-girder analysis, LLDF.

---

### **1. Giriş**

Kiriş dağıtma katsayısı veya tekerlek yükü dağıtma katsayısı olarak da adlandırılan hareketli yük dağıtma katsayısı (LLDF), bir köprü sisteminin karmaşık üç boyutlu davranışını tek boyutlu bir problemde basitleştirmek için köprü mühendisleri tarafından kullanılmaktadır. Köprülerin analiz ve tasarımı araştırılırken, açıklıkta pozitif gerilmenin, mesnetlerde maksimum negatif gerilmenin ve köprüdeki deplasmanların belirlenmesi önemlidir. Bunun için bir ve çok şerit yüklü durumlarda Hareketli Yük Dağıtma Katsayısı (LLDF)'nin bilinmesi gerekmektedir [1-3].

---

\*Sorumlu yazar: [fatma.peker@ozal.edu.tr](mailto:fatma.peker@ozal.edu.tr)

Geliş Tarihi: 08.10.2019, Kabul Tarihi: 19.03.2020

LLDF hesaplaması AASHTO Köprü Tasarım Şartnamesi'ne göre yapılır. Bu hesaplamalar köprü konfigürasyonuna göre değişmekte ve köprünün yapısal özelliklerine bağlı parametreler kullanılmaktadır. Köprüde maksimum yüklemeler iç kirişlerde yaratıldığından bu çalışmada LLDF katsayılarının hesabı iç kirişler için yapılmıştır [1, 2].

Köprülerde hareketli yük dağıtma katsayıları (LLDF) nın incelenmesi ile ilgi yapılan çalışmaları incelediğimizde; Dicleli ve Erhan yaptıkları çalışmada [4], integral kenar ayaklı köprü hareketli yük dağıtımına zemin ve alt yapı özelliklerinin etkisini incelemişlerdir. Erhan ve Dicleli bir başka çalışmada [5], integral köprü alt yapıları için hareketli yük dağıtımına eşitliklerini araştırmışlardır. Yine Dicleli ve Erhan [6] yaptıkları çalışmada, tek açıklıklı öngerilmeli beton kenar ayaklı köprü kirişleri için hareketli yük dağıtma formüllerini geliştirmişlerdir. Erhan ve Dicleli, integral köprü alt yapılarında AASHTO LRFD hareketli yük dağıtma eşitliklerinin uygulanabilirliğinin araştırılmasını kaynak [7]'de gerçekleştirmişlerdir. Dicleli ve Erhan [8], integral kenar ayaklı köprü kirişlerinde hareketli yük dağılımında üst yapı-kenar ayak sürekliliğine olan etkiyi araştırmışlardır. Yalçın ve Dicleli integral kenar ayaklı ve basit mesnetli köprü kirişlerinde hareketli yük dağıtımını üzerine giriş sayısının etkisi ile ilgili karşılaştırmalı bir çalışma yapmışlardır [9]. Yalçın yaptığı çalışmada [10], verevli integral köprü kirişleri ile verevli basit mesnetli köprü kirişlerinde hareketli yükün dağıtılmasını karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Kim ve ark. [11], askeri araç geçiş köprülerinin yük konfigürasyonu ve yanal yük dağıtılmasıyla ilgili bir çalışma yapmışlardır. Fanous ve ark. [12], yapıştırılmış lamine kereste kirişli köprülerde hareketli yük dağıtma katsayılarının geliştirilmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Zou ve ark. [3], ortotropik köprü tabliyelerinde yük dağıtma katsayılarının ardışık çözümle değerlendirmesini incelemişlerdir. Kalaycı ve ark.[13], ABD'de Vermont Eyaletinde integral kenar ayaklı köprülerde yük testi ve modellenmesi ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Hodson ve ark. [14], yaptıkları çalışmada ardgermeli kutu kirişli köprülerde hareketli yüklerin analizini incelemişlerdir. Hodson ve ark. [15], yaptıkları çalışmada ardgermeli kutu kirişli bir köprünün yük derecelendirmesini ve hareketli yük testi karşılaştırmasını yapmışlardır. Suksawang ve ark. [16], I-kiriş köprüler için kayma hareketli yük dağıtma katsayısı eşitliklerinin doğrulanması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Mohseni ve ark. [17], çok hücreli kutu kirişli köprülerde ara diyaframın yanal yük dağıtma katsayısı üzerine etkisini incelemişlerdir. Mohseni ve ark. [18], hareketli yüklere maruz eğrisel sürekli çok hücreli kutu kirişli köprülerin orta ayaklarında hareketli yük dağıtma katsayılarının etkisini incelemişlerdir. Yan ve ark. [19], rastgele araç yükleme konumundan dolayı hareketli yük dağıtma katsayısının olasılıksal dağılımını göz önüne alarak mevcut öngerilmeli beton köprülerin değerlendirilmesini yapmışlardır. Thakuria ve Talukdar [20], prekast I-kiriş köprülerin kayma hareketli yük dağıtma katsayılarını incelemişlerdir. Miranbeigi ve Maleki [21], kirişli köprülerde tank yükleme için hareketli yük dağıtma katsayısını incelemişlerdir. Choi ve ark. [22], araç yükleme altında beton kutu kirişli köprülerde hareketli yük dağıtma katsayısı denkleminin geliştirilmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır.

Bu çalışmada köprü kirişlerinde hareketli yük dağıtma katsayısının etkisi araştırılmıştır. Çalışmada önce, köprülerde hareketli yük dağıtma katsayılarının önemi üzerinde durulmuş ve bu konuda yapılmış önemli çalışmalar bir literatür araştırmasıyla verilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında, yük etkisinde en çok zorlanan köprü iç kirişlerinin AASHTO Köprü Tasarım Şartnamesine göre hareketli yük dağıtma katsayılarının hesaplanması açıklanmıştır. Araştırmanın üçüncü ve dördüncü bölümlerinde, örnek olarak seçilen 30-30-30 m ve 33-50-38 m üç açıklıklı köprülerin LLDF katsayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu LLDF katsayıları Çizgisel-Kiriş yöntemi ile yapısal analiz çözümünde kullanılmıştır. 3D kesin çözüm yapan SAP2000 Bridge ve CSiBridge paket programları ile de köprülerin analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizgisel-Kiriş analizi ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. İç Kirişlerde Moment Dağılımı

AASHTO Şartnamesinin Hareketli Yük Dağıtma Katsayısı LLDF ile ilgili yaklaşımı aşağıda yer verilen eşitliklerle hesaplanmaktadır.

Bir şerit yüklü tasarım durumunda hareketli yük dağıtma katsayısı:

$$LLDF_{M,Int} = 0.06 + \left(\frac{S}{4300}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1} \quad (1)$$

İki veya daha çok şerit yüklü tasarım durumunda hareketli yük dağıtma katsayısı:

$$LLDF_{M,Int} = 0.075 + \left(\frac{S}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{Lt_s^3}\right)^{0.1} \quad (2)$$

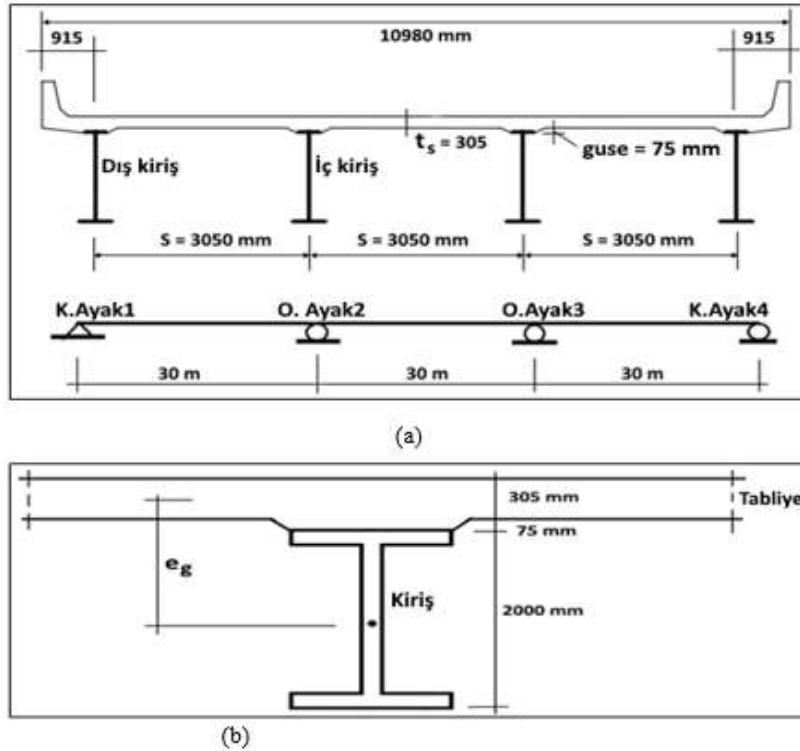
Yukarıda verilen eşitlikler SI birim sistemiyle yazılmıştır. Bu bağıntılarda; S, kiriş aralığı, L, kiriş açıklığı,  $t_s$ , beton plak kalınlığı,  $K_g$ , boyuna rijitlik parametresini ifade etmektedir. Ayrıca kiriş sayısı  $N_b > 4$  olması gerekmektedir. En az kiriş sayısı  $N_b = 4$  olmakla birlikte, tabliye düzenlenmesinde pratiklik bakımından  $N_b = 5$  seçilebilmektedir.

SAP2000 ve CSiBridge programlarında köprü analizi tamamlandıktan sonra “Design → Superstructure Design → Design Requests” sekmesi altında tasarım için tanımlamalar yapılmaktadır. Açılan pencerede, hareketli yükün kirişlere dağılımı için dört yöntem verilmiştir. Bu yöntemlerden, “Kullanıcının Belirlediği Katsayıları Kullan” ile verilen iç ve dış kirişler için moment katsayıları default değerlerdir. Yine burada “Şartnamenin Belirlediği Katsayıları Kullan” ile ikinci bir yöntem de seçilebilmektedir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Üç Açıklıklı 30-30-30 m Köprünün LLDF Hareketli Yük Dağıtma Katsayılarının Hesaplanması

Uygun bir LLDF katsayısı belirlemek amacıyla, SAP2000 programında “Quick Bridge” ile yaratılan  $3 \times 30 = 90$  m uzunluğundaki köprünün “Bridge Wizard” altında çözülen köprünün enkesit özelliklerinden yararlanılmıştır. Tipik köprü ve kiriş enkesitleri Şekil 1’de gösterilmektedir. Kenar ayaklar *K.Ayak1* sabit, *K.Ayak4* hareketli, orta ayaklar *O.Ayak2* ve *O.Ayak3* hareketli alınmıştır.



Şekil 1. Üç-açıklıklı çelik I-Kiriş köprü (a) Köprünün enkesit ve boykesitleri (b) Köprünün kiriş enkesiti.

Köprü ile ilgili teknik bilgiler:

- $S = 3050$  mm;  $L = 30000$  mm;  $t_s = 305$  mm;
- Beton (4000Psi) basınç dayanımı:  $f_c = 27.579$  MPa;
- Beton elastisite modülü:  $E_c = 4734\sqrt{f_c} = 24861$  MPa;
- Çelik elastisite modülü:  $E_s = 200000$  MPa;
- Elastisite modülleri oranı:  $n = \frac{200000}{24861} \cong 8.0$

olarak verilmiştir. Kiriş enkesit alanı ve atalet momenti, SAP2000 programından,  $A_g = 62380$  mm<sup>2</sup>;  $I_g = 3.902 \cdot 10^{10}$  mm<sup>4</sup> olarak alınmıştır.

Kiriş eksantritesi Eş. 3, Rijitlik parametresi ise Eş. 4 ile hesaplanmaktadır:

$$e_g = \frac{2000}{2} + 75 + \frac{305}{2} = 1227.5 \text{ mm} \quad (3)$$

$$K_g = n(I + Ae_g^2), \quad (4)$$

$$K_g = 8.0 * (3.902 * 10^{10} + 62380 * 1227.5^2) = 1.064 * 10^{12} \text{ mm}^4$$

Bir şerit yüklü tasarım durumunda hareketli yük dağıtma katsayısı:

$$LLDF_{M,Int} = 0.06 + \left(\frac{3050}{4300}\right)^{0.4} \left(\frac{3050}{30000}\right)^{0.3} \left(\frac{1.064 \cdot 10^{12}}{30000 \cdot 305^3}\right)^{0.1} = 0.509 \text{ Şerit/Kiriş} \quad (5)$$

İki veya daha çok şerit yüklü tasarım durumunda hareketli yük dağıtma katsayısı:

$$LLDF_{M,Int} = 0.075 + \left(\frac{3050}{2900}\right)^{0.6} \left(\frac{3050}{30000}\right)^{0.2} \left(\frac{1.064 \cdot 10^{12}}{30000 \cdot 305^3}\right)^{0.1} = 0.742 \text{ Şerit/Kiriş} \quad (6)$$

Eşitlik 5 ve 6'daki  $\left(\frac{K_g}{12Lt_s^3}\right)^{0.1}$  terimi 1.02257 olarak hesaplanmaktadır, bu da ön tasarımda 1.0 olarak alınmasının uygun bir yaklaşım olduğunu göstermektedir. Köprü hareketli yük dağıtma katsayısı LLDF'nin hesaplanması ayrıntılı olarak Tablo 1'de verilmektedir.

Bir yüklü şerit ve çok yüklü şerit için hesaplanan LLDF katsayılarından en büyük olan değer tasarımda göz önüne alınmaktadır. Örneğin, birinci açıklık için,  $LLDF_{M,Int} = 0.509$  Şerit/Kiriş ve  $LLDF_{M,Int} = 0.742$  Şerit/Kiriş değerlerinden, tasarımda kullanılacak katsayı;  $LLDF_{M,Int} = 0.742$  Şerit/Kiriş değeri seçilir. Tasarımda göz önüne alınacak hareketli yük eğilme momentleri; en elverişsiz yüklemeler altında elde edilen Envelope (ZARF) momentlerinin, LLDF katsayısıyla çarpımı Eş. 7'de yer verilen ifade ile elde edilmektedir.

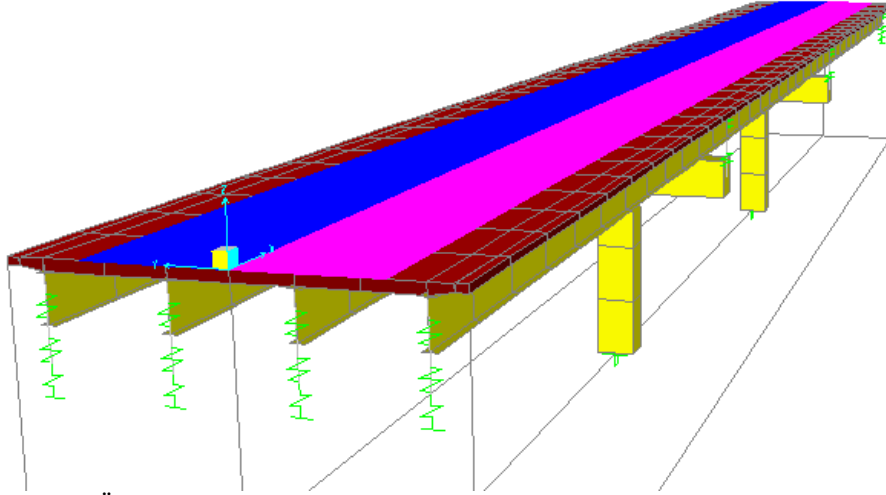
$$\max M = (LLDF) * (M_{ZARF}) \quad (7)$$

Kesit özellikleri Şekil 1'de verilen üç açıklıklı 30-30-30 m köprü SAP2000 V14.2 de mevcut olan "Bridge Wizard" ile modellenmiş (Şekil 2) ve analiz edilmiştir. Burada SAP2000 Bridge çözümünden birinci açıklık için iç kirişte HL-93K araç yüklemesinden dolayı pozitif hareketli yük momenti,  $\max M_1 = 1882.82$  KNm olarak bulunmuştur. SAP2000 Bridge ile elde edilen  $M_{ZARF}$  momentine LLDF katsayısı program tarafından otomatik olarak katılmıştır. Aynı köprü'nün tesir çizgileri yöntemi ile analizi yapılmış ve birinci açıklıkta açıklık ortasında HL-93K araç yüklemesinden dolayı pozitif hareketli yük momenti, hareketli yük dağıtma katsayısı LLDF göz önüne alındığında  $\max M_1 = 1638$  KNm elde edilmiştir [2].

**Tablo 1.** Üç-açıklıklı 30-30-30 m köprünün LLDF hareketli yük dağıtma katsayıları

3 Açıklıklı 30-30-30 m Köprünün Hareketli Yük Dağıtma katsayılarının; LLDF Hesabı					
Hesaplarda kullanılan değerler, köprünün CSiBridge çözümünden aktarılmıştır. (Birim: SI birim sistemi)					
Açıklıklarda ve mesnetlerde aynı kesit kullanılmıştır.					
s=	3050	mm	Açıklıkta eg=	1227.5	mm
L1=	30000	mm	mesnette eg=	1227.5	mm
L2=	30000	mm	ts=	305	mm
L3=	30000	mm	Es/Ec oranı n =	8	
1. iç mesnet L=	30000	mm	guse=	75	mm
2. iç mesnet L=	30000	mm	kesit1 h=	2000	mm
			kesit2 h=	2000	mm
A1=	62380	mm <sup>2</sup>			
A2=	62380	mm <sup>2</sup>			
I1=	39020000000	mm <sup>4</sup>			
I2=	39020000000	mm <sup>4</sup>			
Kg1=	1.06409E+12	mm <sup>4</sup>			
Kg2=	1.06409E+12	mm <sup>4</sup>			
Bir yüklü şerit için iç kirişlerde LLDF hesabı			Çok yüklü şerit için iç kirişlerde LLDF hesabı		
1. açıklıkta LLDF=	0.509	Şerit/Kiriş	1. açıklıkta LLDF=	0.742	Şerit/Kiriş
2. açıklıkta LLDF=	0.509	Şerit/Kiriş	2. açıklıkta LLDF=	0.742	Şerit/Kiriş
3. açıklıkta LLDF=	0.509	Şerit/Kiriş	3. açıklıkta LLDF=	0.742	Şerit/Kiriş
1. mesnette LLDF=	0.509	Şerit/Kiriş	1. mesnette LLDF=	0.742	Şerit/Kiriş
2. mesnette LLDF=	0.509	Şerit/Kiriş	2. mesnette LLDF=	0.742	Şerit/Kiriş

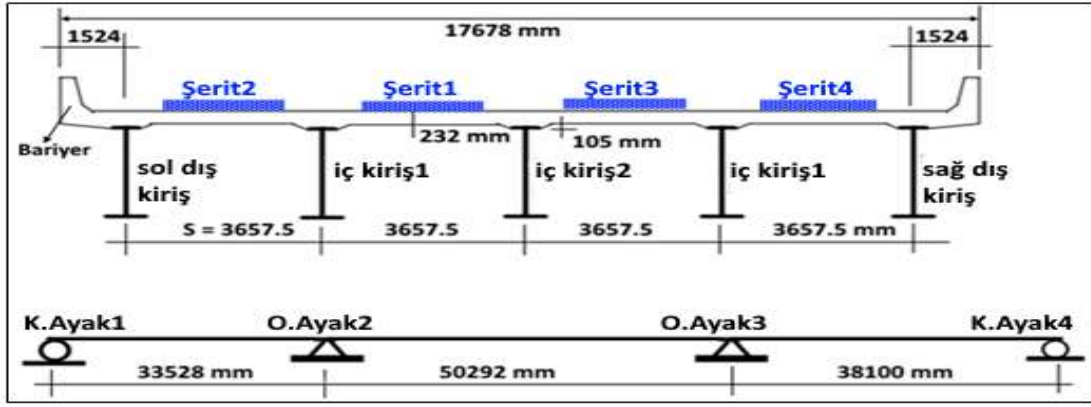
Tesir çizgileri yöntemiyle SAP2000 Bridge sonuçları karşılaştırıldığında, iç kirişin açıklık ortası momentinin %15 daha büyük olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Momentlerin hesaplanmasında, hareketli yük dağıtma katsayısı LLDF'nin gerçek değerleri kullanıldığında daha hassas sonuçların elde edildiği görülmüştür [2].

**Şekil 2.** Üç-açıklıklı sürekli köprü kirişin SAP2000 Bridge Wizard ile modellenmesi

### 3.2. Üç Açıklıklı 33-50-38 m Köprünün LLDF Hareketli Yük Dağıtma Katsayılarının Hesaplanması

Şekil 3'te gösterilen köprü sisteminde, farklı iki kesit kullanılarak prizmatik olmayan açıklıklar elde edilmiştir. Sistemde 2 kenar 3 te iç olmak üzere 5 adet kiriş eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. Kenar ayaklar *K.Ayak1* ve *K.Ayak4* hareketli, orta ayaklar *O.Ayak2* ve *O.Ayak3* ise sabit alınmıştır. Bu köprüde AASHTO LRFD şartnamesine göre yapılan bu hesaplamaların geçerliliği Tablo 2' de gösterilen sınırlamalarla kontrol edilmektedir. Şekil 3'te enkesit ve boyut özellikleri ile esas alınan köprünün ilgili şartnameye uyum sağladığı Tablo 2'te gösterilmektedir.





Şekil 3. Üç-açıklıklı 33-50-38 m köprü'nün en ve boy kesitleri

Tablo 2. AASHTO LRFD Şartnamesine göre sınırlamaların kontrolü

AASHTO LRFD Şartnamesi		Uygunluk
Kiriş aralığı	$3.5 ft \leq S = 12 ft \leq 16.0 ft$	+
Kiriş açıklığı	$20 ft \leq L = (110,165 ve 125) ft \leq 240$	+
Beton tabliye	$4.5 in \leq t_s = 9.125 in \leq 12.0 in$	+
Boyuna rijitlik parametresi	$10000 in^4 \leq K_g = 3026490 in^4 \leq 7000000 in^4$	+
Boyuna rijitlik parametresi	$10000 in^4 \leq K_g = 3409396 in^4 \leq 7000000 in^4$	+
Kiriş sayısı	$N_b = 5 > 4$	+

AASHTO LRFD şartnamesinin verdiği tüm sınırlamaların sağlanmış olması, LLDF hareketli yük dağıtma katsayılarının yükleri kirişlere tam anlamıyla yansıtacağını ve optimum tasarıma ulaşılacağını göstermektedir. Köprü hareketli yük katsayısı LLDF'nin hesaplanması ayrıntılı olarak Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Üç-açıklıklı 33-50-38 m köprü'nün LLDF hareketli yük dağıtma katsayıları

3 Açıklıklı 33-50-38 m Köprü'nün Hareketli Yük Dağıtma katsayılarının; LLDF Hesabı			
Hesaplarda kullanılan değerler, köprü'nün CSiBridge çözümünden aktarılmıştır. (Birim : SI birim sistemi)			
Köprüde kesit1 ve kesit2 ile nonprizmatik açıklıklar olduğundan, hesaplar açıklık ve mesnetler için ayrı ayrı yapılmıştır.			
s= 3657.5 mm	Açıklıkta eg= 1352.29 mm	A1= 63387.0 mm <sup>2</sup>	
L1= 33528 mm	mesnette eg= 1236.775 mm	A2= 77903.1 mm <sup>2</sup>	
L2= 50292 mm	ts= 232 mm	I1= 4157000000 mm <sup>4</sup>	
L3= 38100 mm	Es/Ec oranı n = 8	I2= 5825000000 mm <sup>4</sup>	
1. iç mesnet L= 41910 mm	beton guse= 79.375 mm	Kg1= 1.25988E+12 mm <sup>4</sup>	
2. iç mesnet L= 44196 mm	kesit1 h= 2051 mm	Kg2= 1.41929E+12 mm <sup>4</sup>	
	kesit2 h= 2083 mm		
Bir yüklü şerit için iç kirişlerde LLDF hesabı		Çok yüklü şerit için iç kirişlerde LLDF hesabı	
1. açıklıkta LLDF= 0.598	Şerit/Kiriş	1. açıklıkta LLDF= 0.899	Şerit/Kiriş
2. açıklıkta LLDF= 0.518	Şerit/Kiriş	2. açıklıkta LLDF= 0.805	Şerit/Kiriş
3. açıklıkta LLDF= 0.572	Şerit/Kiriş	3. açıklıkta LLDF= 0.868	Şerit/Kiriş
1. mesnette LLDF= 0.558	Şerit/Kiriş	1. mesnette LLDF= 0.855	Şerit/Kiriş
2. mesnette LLDF= 0.548	Şerit/Kiriş	2. mesnette LLDF= 0.842	Şerit/Kiriş

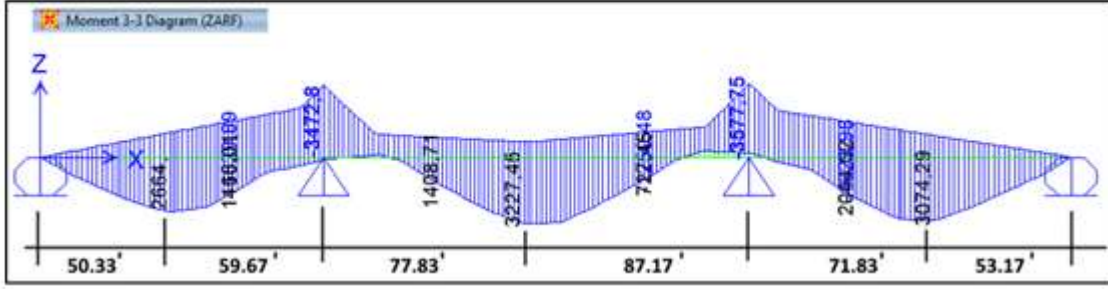
Şekil 3'te kesit özellikleri verilen üç açıklıklı 33-50-38 m açıklıklı köprü, SAP 2000 yazılımında modellenmiş, Çizgisel-Kiriş analiziyle en elverişsiz yükleme durumlarını elde etmek üzere aşağıdaki araç yük kombinasyonları uygulanmıştır:

$$\text{Tandem} + \text{Şerit} \rightarrow \text{HL} - 93\text{M}$$

$$\text{Kamyon} + \text{Şerit} \rightarrow \text{HL} - 93\text{K}$$

$$(\text{Kamyon} - \text{Katar}) * 0.90 + (\text{Şerit}) * 0.90 \rightarrow \text{HL} - 93\text{S}$$

Araç hareketli yükleri altında elde edilen maksimumların maksimumu ZARF (envelope) momentleri Şekil 4'te gösterilmektedir.

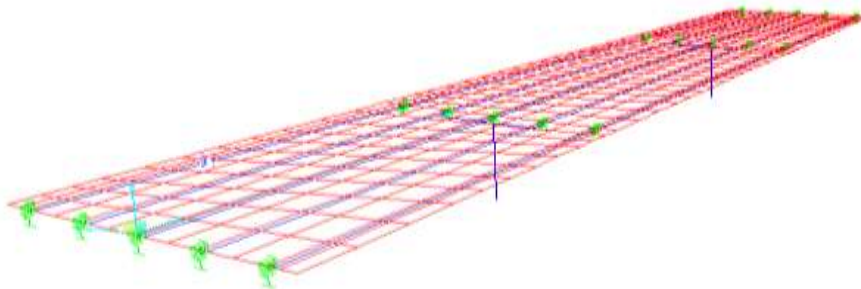


Şekil 4. Üç-açıklıklı 33-50-38 m köprünün en elverişsiz yüklemeler altında moment değerleri

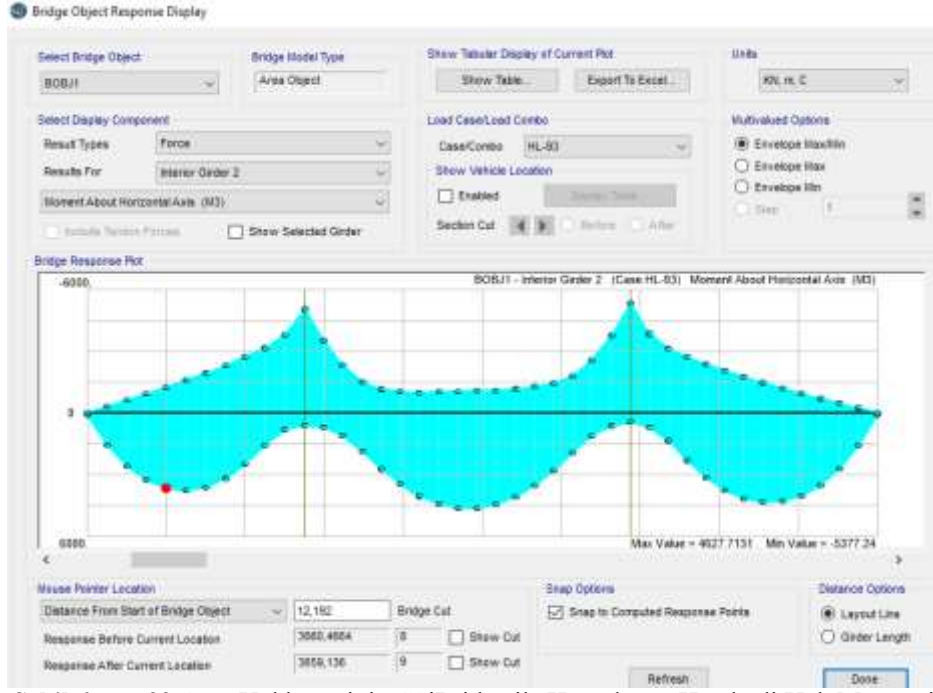
Çizgisel-Kiriş çözümünde araç yükü, hareketli yük dağıtma katsayısı LLDF ile çarpılmıştır. Birinci açıklıkta LLDF = 0.900, ikinci açıklıkta LLDF = 0.805, üçüncü açıklıkta LLDF = 0.869, birinci iç mesnette LLDF = 0.856, ikinci iç mesnette LLDF = 0.843 değerleri kullanılmıştır. Tasarımda göz önüne alınacak hareketli yük eğilme momentleri; en elverişsiz yüklemeler altında elde edilen Envelope (ZARF) momentlerinin, LLDF katsayısıyla çarpımı Eş. 7'de yer verilen ifade ile elde edilmektedir. Buna göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Burada kip-ft birim cinsinden olan momentler 1.35575 katsayısıyla kN.m'ye dönüştürülmüştür).

- $\max M_1 = 1.35575 * (0.900 * 2664) = 3250.55 \text{ KN.m}$
- $\max M_2 = 1.35575 * (0.805 * 3227.45) = 3522.37 \text{ KN.m}$
- $\max M_3 = 1.35575 * (0.869 * 3074.29) = 3621.96 \text{ KN.m}$
- $\max \bar{M}_1 = 1.35575 * (0.856 * 3472.80) = -4030.26 \text{ KN.m}$
- $\max \bar{M}_2 = 1.35575 * (0.843 * 3577.75) = -4089 \text{ KN.m}$

Çizgisel-Kiriş yöntemiyle analiz edilen üç açıklıklı bu köprü, CSiBridge, "Bridge Wizard" altında tasarlanarak (Şekil 5) tekrar analiz edilmiştir. Şekil 6' da gösterilen CSiBridge-3D kesin hesap sonuçları ile en elverişsiz yüklemeler altında Çizgisel-Kiriş çözüm yapılarak elde edilen sonuçlar açıklıklarda ve iç mesnetlerde karşılaştırıldığında hata oranları açıklıkta % 4.33, mesnette % 9.31 olduğu görülmüştür. Hata oranlarından anlaşılacağı gibi, Çizgisel-Kiriş yöntemiyle elde edilen sonuçların güvenli bir şekilde tasarımda kullanılabileceği anlaşılmıştır.



Şekil 5. Üç açıklıklı 33-50-38 m köprünün CSiBridge ile modellenmesi



Şekil 6. HL-93 Araç Yüklemesinin CSiBridge ile Hesaplanan Hareketli Yük Momenti

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, köprülerin Çizgisel-Kiriş analiz yöntemi ve SAP2000-Bridge paket programları ile analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. SAP2000-Bridge ile köprü çözümlerinde, program otomatik olarak araç hareketli yük dağıtma katsayılarıyla momentleri tüm kirişlere dağıtmaktadır. Bu özellik göz önüne alınarak köprülerde hareketli yük dağıtma katsayıları hesaplanmış ve Çizgisel-Kiriş analizden elde edilen momentlere yansıtılmıştır. Böylece, Çizgisel-Kiriş analiz yöntemiyle, SAP2000-Bridge çözümündeki moment değerlerine çok hassas bir şekilde yaklaşmıştır. LLDF hareketli yük dağıtma katsayılarının geçerliliği bu çalışmada sunulan problemlerde, AASHTO LRFD şartnamesine göre kontrol edilerek, kullanılabilirliği gösterilmiştir. Bu ise, uygulamada kompozit çelik I-kiriş köprülerin en iyi tasarımı için gerçekçi bir yaklaşım olmuştur. Çizgisel-Kiriş analizlerde, en elverişsiz durumu göz önüne almak üzere, *çok yüklü şerit durum* LLDF hareketli yük dağıtma katsayılarının kullanılması 3D analizlere yaklaşımda belirleyici olmuştur. Böylece, AASHTO Köprü Şartnamesinde hesap ve uygulama özellikleri verilen LLDF katsayılarının güvenilirliği ortaya konulmuştur.

#### Teşekkür

Bu çalışma ilk yazarın biten doktora tezinin bir bölümünden türetilmiştir.

#### Yazarların Katkısı

Bu çalışma, Prof. Dr. Ragıp İNCE danışmanlığında Fatma ÜLKER PEKER tarafından hazırlanan doktora tez çalışmasından yapılmıştır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**Kaynaklar**

- [1] AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th ed. 2012. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- [2] Peker F.Ü. 2019. Kompozit Çelik I-Kiriş Köprülerin Sezgisel Algoritma Teknikleriyle Optimum Tasarımı. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [3] Zou B, Davalos J.F., Chen A., Ray I. 2010. Evaluation of Load Distribution Factor by Series Solution for Orthotropic Bridge Decks. *Journal of Aerospace Engineering*, 24 (2): 240-248.
- [4] Dicleli M. and Erhan, S. 2008. Effect of Soil and Substructure Properties on Live-Load Distribution in Integral Abutment Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 13(5): 527-539.
- [5] Erhan S., Dicleli M. 2009. Live Load Distribution Equations for Integral Bridge Substructures. *Engineering Structures*, 31 (5): 1250-1264.
- [6] Dicleli M., Erhan S. 2009. Live Load Distribution Formulas for Single-Span Prestressed Concrete Integral Abutment Bridge Girders. *Journal of Bridge Engineering*, 14 (6): 472-486.
- [7] Erhan S., Dicleli M. 2009. Investigation of the Applicability of AASHTO LRFD Live Load Distribution Equations for Integral Bridge Substructures. *Advances in Structural Engineering*, 12 (4): 559-578.
- [8] Dicleli M., Erhan S. 2010. Effect of Superstructure-Abutment Continuity on Live Load Distribution in Integral Abutment Bridge Girders. *Structural Engineering and Mechanics*, 34 (5): 635-662.
- [9] Yalcin O.F., Dicleli M. 2013. Comparative Study on the Effect of Number of Girders on Live Load Distribution in Integral Abutment and Simply Supported Bridge Girders. *Advances in Structural Engineering*, 16 (6): 1011-1034.
- [10] Yalcin O.F. 2017. A Comparative Study of Live Load Distribution in Skewed Integral and Simply Supported Bridges. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21 (3): 937-949.
- [11] Kim Y.J., Tanovic R., Wight R.G. 2010. Load Configuration and Lateral Distribution of NATO Wheeled Military Trucks for Steel I-Girder Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 15 (6): 740-748.
- [12] Fanous F., May J., Wipf T. 2010. Development of Live-Load Distribution Factors for Glued-Laminated Timber Girder Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 16 (2): 179-187.
- [13] Kalaycı E., Civjan S.A., Breña S.F., Allen C.A. 2011. Load Testing and Modeling of Two Integral Abutment Bridges in Vermont, US. *Structural Engineering International*, 21 (2): 181-188.
- [14] Hodson D.J., Barr P.J., Halling M.W. 2011. Live-Load Analysis of Posttensioned Box-Girder Bridges. *Journal of Bridge Engineering*, 17 (4): 644-651.
- [15] Hodson D.J., Barr P.J., Pockels L. 2012. Live-Load Test Comparison and Load Ratings of a Posttensioned Box Girder Bridge. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 27 (5): 585-593.
- [16] Suksawang N., Nassif H., Su D. 2013. Verification of Shear Live-Load Distribution Factor Equations for I-Girder Bridges. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17 (3): 550-555.
- [17] Mohseni I., Rashid A.K.A., Kang J. 2014. Effect of Intermediate Diaphragm on Lateral Load Distribution Factor of Multicell Box-Girder Bridges. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 18 (7): 2128-2137.
- [18] Mohseni I., Khalim A.R., Kang J. 2015. Live Load Distribution Factor at the Piers of Skewed Continuous Multicell Box Girder Bridges Subjected to Moving Loads. *Transportation Research Record*, 2522 (1): 59-69.
- [19] Yan J., Deng L., He W. 2017. Evaluation of Existing Prestressed Concrete Bridges Considering The Randomness of Live Load Distribution Factor due to Random Vehicle Loading Position. *Advances in Structural Engineering*, 20 (5): 737-746.
- [20] Thakuria P., Talukdar S. 2018. Live Load Distribution Factor in Precast I-Girder Bridge. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 431 (11): 112012
- [21] Miranbeigi B., Maleki S. 2019. Live Load Distribution Factor for Tank Loading on Slab-Girder Bridges. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 1-11.
- [22] Choi W., Mohseni I., Park J., Kang, J. 2019. Development of Live Load Distribution Factor Equation for Concrete Multicell Box-Girder Bridges under Vehicle Loading. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 13 (1): 22.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Mezofilik ve Termofilik Anaerobik Çürütmenin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile Fayda, Maliyet ve Risk Açısından Karşılaştırılması**

Elanur ADAR\*

*Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Artvin  
(ORCID: 0000-0002-9609-0439)*

---

### **Öz**

Anaerobik çürütme atıkların stabilizasyonunu, kütle/hacim azaltımını ve aynı zamanda yenilebilir enerji üretimini sağlamaktadır. Bu çalışmanın amacı çevresel uygulama olan ve yaygın şekilde de atık/atıkların arıtımı için tam ölçekli olarak kullanılan anaerobik çürütmenin mezofilik mi yoksa termofilik şartlarda işletimi mi daha öncelikli olduğunu fayda, maliyet ve risk açısından belirlemektir. Bu yöntemlerden en etkin yöntemin seçilmesinde ele alınacak fayda, maliyet ve risk ana kriterleri için alt kriterler de belirlenerek, AHP ve TOPSIS yöntemleri ile karar verilmeye çalışılmıştır. Çalışma sonucunda her bir ana kriter açısından alternatifler değerlendirildiğinde fayda kriteri için T-AÇ, maliyet kriteri için M-AÇ ve risk kriteri için T-AÇ'ye karar verilmiştir. Tüm kriterler beraber ele alındığında ise fayda, maliyet ve risk açısından en iyi yöntemin termofilik anaerobik çürütme olduğu söylenebilir.

**Anahtar kelimeler:** Anaerobik çürütme, mezofilik, termofilik, AHP, TOPSIS.

---

## **Comparison of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion with Multi-Criteria Decision Making Methods in terms of Benefit, Cost and Risk**

---

### **Abstract**

Anaerobic digestion ensures the stabilization of waste/wastewaters, mass/volume reduction and at the same time producing renewable energy. The aim of this study is to determine whether anaerobic digestion, which is an environmental application and commonly used for the full-scale treatment of waste/wastewaters, has priority over mesophilic or thermophilic temperatures in terms of benefit, cost, and risk. Sub-criteria were also determined for the main criteria of benefit, cost, and risk to be considered in the selection of the most effective method and the decision was made with AHP and TOPSIS methods. At the end of the study, when the alternatives were evaluated in terms of each main criterion, it was decided to use T-AD for benefit criterion, M-AD for cost criterion and T-AD for risk criterion. When all the criteria are considered together, it can be said that the best method in terms of benefit, cost, and risk is thermophilic anaerobic digestion.

**Keywords:** Anaerobic digestion, mesophilic, thermophilic, AHP, TOPSIS.

---

### **1. Giriş**

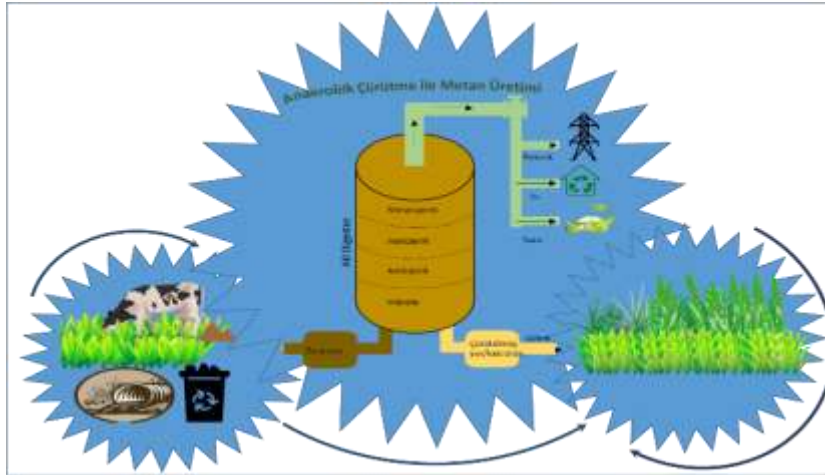
Sanayi ve teknolojinin gelişmesi ve nüfusun artması ile her geçen gün enerjiye daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, sanayinin gelişmesi, insan ve hayvan sayısının artması ile de arıtılması gereken farklı atık/atık suların oluşumu da artmaktadır. Hem artan enerji ihtiyacı hem de arıtılması/bertaraf edilmesi gereken atığın artması insanoğlunu sürdürülebilir arıtım tekniklerine teşvik etmektedir. Sürdürülebilir arıtım, hem atığın kirlilik yükünü azaltmak hem de atığın içeriğinden insan ve çevre sağlığı gözetilerek faydalanılmasıdır. Anaerobik çürütme (AÇ), sürdürülebilir arıtım yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, oksijen içeriğinin %1'in altında olduğu uygun şartlar altında (pH, sıcaklık, mikroorganizma sayısı ve türü, alkalinite, besin maddesi, vb.) organik içerikli atık/atık suların

---

\*Sorumlu yazar: [aelanur@artvin.edu.tr](mailto:aelanur@artvin.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10.10.2019, Kabul Tarihi: 08.04.2020

ayrıştırılması işlemidir. Ayrışma sonucu bu yöntem ile organik içerik; renksiz-kokusuz, havadan hafif olan biyogaza dönüştürülmekte ve çürütme sonrası oluşan sıvı ve katı ürün ise içeriğine bağlı olarak gübre olarak değerlendirilmektedir. Oluşan biyogazın bileşimini birçok parametre etkilemektedir. Fakat substrata ve işletme şartlarına bağlı olarak yaklaşık %40-70 metan, %30-60 karbondioksit, %0-3 hidrojen sülfür ile çok az miktarda azot ve hidrojen içerir [1]. Oluşan biyogaz enerjiye çevrilerek farklı amaçlar için kullanılabilir. Örneğin elektrik, ısı veya yakıt olarak değerlendirilebilir. Sıvı ve/veya katı ürün ise ağır metaller ve patojenik mikroorganizmalar açısından uygun olduğunda gübre olarak kullanılabilir (Şekil 1). Çakır ve Stenstrom [2] yaptıkları BMP çalışmasında uygun şartlar sağlandığında oluşan metan gazının enerjiye çevrilmesi sonucunda önemli boyutlarda ekonomik kazanç sağlanabildiğini ve elde edilen enerjinin tesisin işletme maliyetini (enerji tüketimi) %28 oranında azaltılabileceğini tespit etmiştir [1]. Çeşitli atık/atıksuların stabilizasyonu ve metan gazı eldesi için kullanılan anaerobik çürütme, psikrofilik (12-16 °C), mezofilik (35-37 °C) ve termofilik (55-60 °C) sıcaklıklarda gerçekleşebilmektedir. Psikrofilik ayrışma, düzenli depolamalarda, bataklıklarda ve sedimentlerde; mezofilik (M) ayrışma işkembede ve anaerobik çürütme sistemlerinde; ve termofilik (T) ayrışma ise anaerobik çürütme sistemlerinde ve jeotermal ısıtım ekosistemlerinde gerçekleşmektedir [3]. İndirgenmiş termofilik sıcaklık (47 °C) Avrupa'daki beraber çürütme tesislerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır [4]. Anaerobik çürütmede verim üzerine birçok parametre (sıcaklık, substrat bileşimi, mikroorganizma türü/sayısı, pH, alkalinite, besin elementleri, aktif aşı vb.) etki etmektedir. Tek tür substrat çürütülebileceği gibi farklı substratlarda uygun oranlarda karıştırılarak beraber çürütülebilmektedir. Farklı atıkların beraber çürütülmesi daha fazla mikroorganizma popülasyonu, daha fazla nütrient dengesi, uygun C/N oranı, toksik maddelerin seyreltilmesi yani inhibe edici etkilerin azaltılması, artan stabilizasyon ve artan metan oluşumu demektir [3].



Şekil 1. Atık/atık suların anaerobik çürütülmesi ve oluşan ürünlerin kullanımı

Gerçek hayat problemlerinin en karakteristik özelliklerinden bazıları çok kriterli, karmaşık, çelişkili ve belirsiz olmalarıdır. Araştırmacı ve bilim adamları bu tür problemlerde çoğunlukla çok kriterli karar verme yöntemlerini (ÇKKV) kullanmaktadır [5-9] ve optimum sonuçlara ulaşılmaktadır. Çevresel uygulamalar kompleks ve belirsiz [10] olduğundan atık yönetimi problemlerinde de birçok araştırmacı [11-20] ÇKKV yöntemlerini kullanmakta veya kullanılmasını önermektedir.

Bu çalışmanın amacı çevresel uygulama olan ve yaygın şekilde de atık/atık suların arıtımı için tam ölçekli olarak kullanılan anaerobik çürütmenin mezofilik mi yoksa termofilik mi olarak işletilmesi daha öncelikli olduğunu fayda, maliyet ve risk açısından belirlemektir. Literatür çalışması sonucunda katı atık bertarafı için alternatiflerden biri olarak ele alındığı fakat mezofilik/termofilik işletme açısından ele alınmadığı gözlenmiştir. Bu sebeple de literatür ve üç uzmanın bilgisine dayanarak mezofilik ve termofilik sıcaklıklarda işletilen anaerobik çürütmenin fayda, maliyet ve risk ana kriterleri açısından önem sıraları belirlenmiştir. Bu yöntemlerden en etkin yöntemin seçilmesinde ele alınacak fayda, maliyet ve risk ana kriterleri için alt kriterler de belirlenerek, AHP ve TOPSİS yöntemleri ile karar verilmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. ÇKKV Teknikleri

Bu çalışmada mezofilik ve termofilik anaerobik çürütmenin fayda, maliyet ve risk kriterleri açısından karşılaştırmaları AHP ve TOPSİS yöntemleri ile önceliklendirilmiştir. AHP ve TOPSİS çözümleri Excel programı ile gerçekleştirilmiştir.

AHP (Analytic Hierarchy Process) yöntemi Thomas L. Saaty tarafından 1980 yılında geliştirilmiştir [21]. AHP, çok kriterli problemleri hiyerarşik olarak yapılandırarak görselleştirmektedir. Nicel ve nitel kriterlerin kullanıldığı bu yöntemde karar vericinin her bir kriterin, alt kriterin ve alternatiflerin göreceli önemleri belirlenmektedir ve uygun alternatif seçilebilmektedir/sıralanabilmektedir. Tutarlılık oranı (CR) 0,1'den küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir.

AHP'nin adımları aşağıda verilmiştir.

- Adım 1: Amacın, alternatiflerin ve kriterlerin belirlenmesi
- Adım 2: İkili karşılaştırma matrisi ve çözümü
- Adım 3: Normalleştirme ve göreceli önem ağırlıkları
- Adım 4: Öncelik vektörünün elde edilmesi
- Adım 5: Tutarlılık oranının (CR) hesaplanması
- Adım 6: Nihai sıranın/seçmenin belirlenmesi

TOPSİS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi Hwang ve Yoon'un çalışması [22] referans alınarak Chen ve Hwang [23] tarafından 1992'de geliştirilmiştir. Bu teknik ile karar verilirken bir alternatifin pozitif ideal çözüme yakın olması ve negatif ideal çözüme de uzak olması beklenir. Böylece, fayda kriterleri maksimize edilirken maliyet kriterleri minimize edilmektedir [24].

TOPSİS'in adımları aşağıda verilmiştir:

- Adım 1: Alternatiflerin ve değerlendirme kriterlerin belirlenmesi
- Adım 2: Kriterler ve alternatifler ile karar matrisinin oluşturulması
- Adım 3: Normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması
- Adım 4: Ağırlıklı normalleştirilmiş karar matrisinin oluşturulması
- Adım 5: İdeal (A\*) ve negatif ideal (A-) çözümlerin oluşturulması
- Adım 6: İdeal ve negatif ideal noktalara uzaklıkların belirlenmesi
- Adım 7: İdeal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması ve karar verilmesi

### 2.2. Kriterler

Çalışma çok kriterli karar verme süreci olduğundan anaerobik çürütmenin en etkinine karar vermek için uzmanlarla beyin fırtınası seansları yapılmıştır. Uzmanlar yazar haricinde üç kişi ve konusunda uzman kişilerden oluşmuştur. Mezofilik (M-AÇ) ve termofilik (T-AÇ) anaerobik çürütme alternatiflerinden en uygunun seçimi için fayda, maliyet ve risk kriterleri, her bir kriter içinde farklı sayıda alt kriterlere karar verilmiştir. Fayda kriteri için 4, maliyet kriteri için 2 ve risk kriteri için 3 tane alt kriter belirlenmiştir. Bu kriterler Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ana ve alt kriterler

Ana Kriterler	Fayda	Maliyet	Risk
Alt Kriterler	KOİ Giderimi	Yatırım	Emisyon
	CH <sub>4</sub> Üretimi	İşletme	Patojen Mikroorganizma
	Reaksiyon Süresi		Sıvı Ürün Kalitesi
	Stabilite		

### 2.3. Mezofilik ve Termofilik Anaerobik Çürütmenin Karşılaştırılması

Anaerobik çürütme hem atık/atık suların stabilizasyonunu ve hacim/kütle azaltmasını (%30-50) [25] hem de biyometan eldesi sağlayan bir yöntemdir. Sera gazı emisyonunun azaltılmasına yardımcı olmasının yanısıra düzenli depolama yükünü de azaltmaktadır [3, 26]. Ayrıca bu yöntem ile katı/sıvı gübre üretilmektedir. Tablo 2’de mezofilik ve termofilik anaerobik çürütme karşılaştırılmıştır.

**Tablo 2.** Mezofilik ve termofilik anaerobik çürütmenin avantaj-dezavantajları [26; 27-31]

	<b>Mezofilik</b>	<b>Termofilik</b>
Avantajlar	Daha iyi proses kararlılığı Daha az işletme maliyeti N, P ve pH yaklaşık aynı	Yüksek organik yüklemelerde çalışabilme Atık su soğuk olsa bile bu etkiyi elimine edebilme KOİ ve metan verimi daha yüksek Daha hızlı ayrışma Daha küçük reaktör hacmi Çıkış AKM konsantrasyonu yaklaşık 2 kat az N, P ve pH yaklaşık aynı Patojen ve E.Coli bakteri gideriminde yeterli Kısa sürede ayrışma sonucu daha az H <sub>2</sub> S, daha az koku Daha az köpüklenme Çürütülmüş ürünün daha iyi susuzlaştırılabilirliği
Dezavantajlar	Daha düşük KOİ ve metan verimi Asetik asit daha baskın Çıkış AKM konsantrasyonu daha fazla E.Coli bakteri gideriminde düşük verim Toksik bileşiklere duyarlılık	Kararsızlığa gitme eğilimi yüksek UYA türleri hemen hemen aynı NH <sub>3</sub> miktarı daha yüksek Sıcaklık değişimine daha fazla duyarlı ( $\pm 0.5$ ) Toksik bileşiklere duyarlılık

(N: Azot, P: Fosfor, KOİ: Kimyasal oksijen ihtiyacı, AKM: Askıda katı madde, H<sub>2</sub>S: Hidrojen sülfür, UYA: Uçucu yağ asidi, NH<sub>3</sub>: Amonyak)

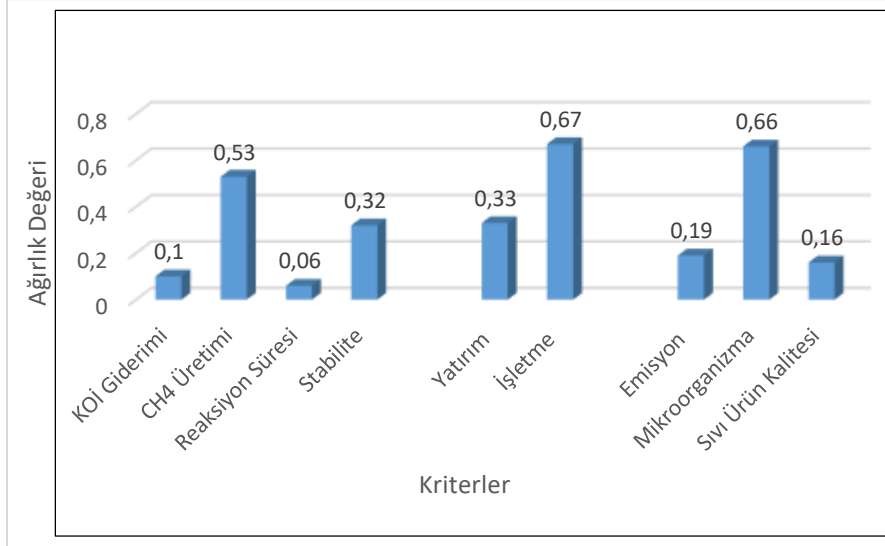
Mezofilik sıcaklıklarda anaerobik çürütme, termofilik sıcaklıklara kıyasla daha yaygın kullanıma sahiptir. Mezofilik sıcaklıklarda uçucu katı maddelerin ayrışması 30-40 günde gerçekleşmesine rağmen bu sıcaklık aralığı birçok sayıda metan oluşturan mikroorganizmalar için optimum olabilmektedir. Ayrıca, mezofilik sıcaklıklar düşük enerji kullanımı gerektirir. Termofilik sıcaklıklar hem bulaşıcı hayvan virüslerin hem de bakteriyofajların daha yüksek giderimini sağlamaktadır [32]. Termofilik sıcaklıklarda çürütme daha fazla avantajlara sahip olmasına rağmen (Tablo 2) sınırlı kullanılmasının başlıca sebepleri kötü proses stabilitesi, kötü üst faz kalitesi [33] ve işletme maliyetinin yüksekliğidir. Termofilik çürütmenin daha az kararlı olması, daha az mikrobiyal topluluk içermesi, propiyat asidinin kararlılığı ve artan ara ürün toksikliğidir [34]. Bu sebeple de giriş substratının azot benzeri bileşenler (üre, protein, vb.), asit, mikrobiyal içeriği vb. özellikleri performansı ve stabilizeyi etkileyen en önemli parametrelerdir [34]. Hammaddenin yüksek azot (N) içerikli olması özellikle de termofilik şartlarda ayrışma sonucu yüksek amonyağa ve yüksek amonyak ise uçucu yağ asidi (UYA) birikimine neden olarak sistemi olumsuz etkilemektedir. Yüksek NH<sub>3</sub>, pH artışına da neden olmaktadır [31]. Qi vd. [35] sığır gübresinin termofilik ve mezofilik sıcaklıklarda çürütülmesi sonucu oluşan ürünlerin çevresel risklerini indikatör bakterileri ve ağır metalleri analiz ederek belirlemişlerdir. Çalışma sonucunda indikatör bakterilerde azalma ve ağır metallerin düşük içeriği tespit edilmiştir. Termofilik üründe azotun daha yüksek olduğu mezofilik üründe ise Bacillus ve Pseudomonas’ın miktarı daha yüksek ölçülmüştür. Diğer nütrientlerin ise benzer içeriğe sahip olduğu ifade edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. AHP Verileri

Mezofilik ve termofilik anaerobik çürütmenin fayda, maliyet ve risk açısından önceliklendirilmesi için önce AHP analizi gerçekleştirilmiştir. AHP analizinde de her bir ana kriter ele alınan alt kriterler açısından lokal değerlendirilmiştir ve elde edilen sonuçlar Şekil 2’de verilmiştir.

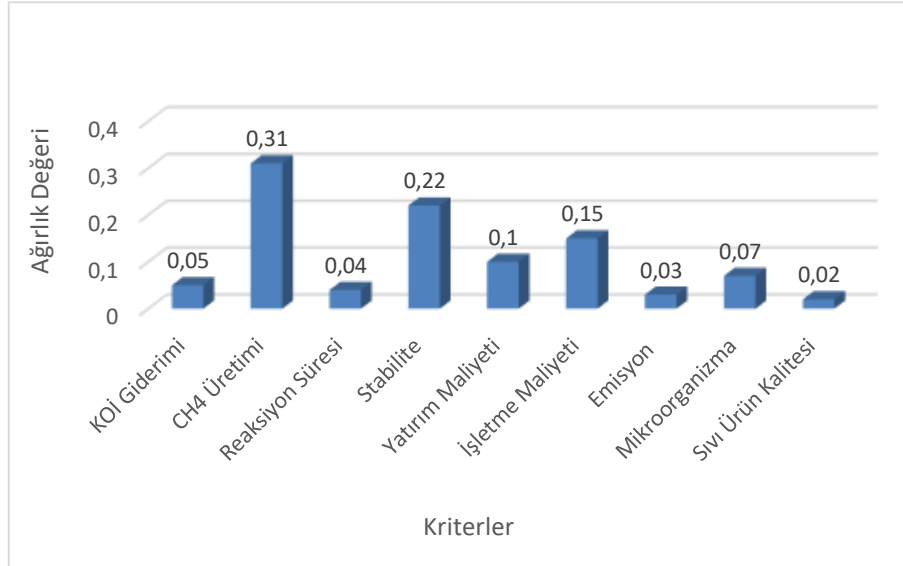




Şekil 2. Ana kriterlerin lokal değerlendirilmesi

Lokal değerlendirme sonuçlarından, fayda ana kriterinden CH<sub>4</sub> üretimi (0,53); maliyet ana kriterinden işletme maliyeti (0,67) ve risk ana kriterinden ise mikroorganizma (0,66) en yüksek ağırlık değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir. Metan üretiminin öncelikli olması işletme maliyetini de azaltacağı için öncelikli olarak değerlendirilmiş olabilir. Stabilite alt kriteri de yine gaz verimini etkileyen bir parametre olduğu için metan üretiminden sonra en yüksek ağırlığa sahip kriter olarak belirlenmiştir. En düşük ağırlık değerine sahip alt kriter ise reaksiyon süresi olup KOİ giderimine yakın bir ağırlık değerine sahiptir. Reaksiyon süresinin uzunluğu (verimin iyi olması şartı ile) işletme maliyetini artırmaktadır. Bu açıdan reaksiyon süresinin bir arıtım yöntemi seçiminde uzun olması istenmez fakat ele alınan diğer kriterler (özellikle de CH<sub>4</sub> üretimi ve stabilite) daha önemli kriterler olduğu uzmanlar tarafından düşünülmüştür.

Uzmanların tecrübesi ve literatür bilgisine dayanarak karar verilen alt kriterlerin genel değerlendirilmesinde elde edilen sonuçlar Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Alt kriterlerin genel değerlendirilmesi

Şekil 3'teki sonuçlar incelendiğinde 9 alt kriterden en yüksek ağırlığa sahip olan alt kriterin CH<sub>4</sub> üretimi olduğu görülmektedir. Diğer yüksek önceliğe sahip olan kriterler ise stabilite ve işletme maliyetidir. En düşük ağırlığa sahip alt kriter ise sıvı ürün kalitesidir. Aslında KOİ giderimi, reaksiyon süresi, emisyon ve sıvı ürün kalitesi alt kriterleri birbirlerine yakın ağırlık değerlerine sahiptir.

### 3.2. TOPSİS Verileri

AHP yöntemi ile elde edilen ağırlık değerleri kullanılarak TOPSİS analizi gerçekleştirilmiştir. TOPSİS analizi için literatür taraması sonucunda Tablo 3'teki veriler belirlenmiştir. Bu verilerin belirlenmesinde anaerobik çürütme ile ilgili gerçekleştirilen uygulamalı çalışmalardan bazıları (KOİ giderimi, CH<sub>4</sub> üretimi, reaksiyon süresi, maliyet, mikroorganizma, sıvı ürün kalitesi) alınırken bazıları da (stabilite ve emisyon) literatürdeki çalışmalardan yorumlanarak tahmini olarak belirlenmiştir. Maliyet verileri 94 sığır yani yaklaşık 941 kg/gün gübrenin arıtımı için 94 m<sup>3</sup> hacme sahip reaktörün yatırım ve işletme maliyeti dikkate alınmıştır. Bu veriler mezofilik sıcaklığa göre hesaplanmıştır [36]. Termofilik şartlarda kısa bekletme süresi yani daha küçük reaktör hacmi ve 45-55 °C sıcaklıkta işletme yüksek elektrik tüketimi demektir. Bu bilgilere dayanarak termofilik şartlarda işletme ve yatırım maliyeti tahminen 25000 TL (mezofilik şartlardakinin %32 fazlası) ve 55000 TL (mezofilik şartlardakinin %10 fazlası) olarak ele alınmıştır.

**Tablo 3.** AHP bazlı TOPSİS analizi için kullanılan veriler [27, 29, 37]

Kriterler	Birim	M-AÇ	T-AÇ	Karar
<b>Fayda</b>				
KOİ Giderimi	%	75-85	85-95	Maksimum
CH <sub>4</sub> Üretimi	Kat	1	1,5-2	Maksimum
Reaksiyon Süresi	Gün	30-40	15-20	Minimum
Stabilite	1-10 arası değer	7	3	Maksimum
<b>Maliyet</b>				
Yatırım Maliyeti	TL	50000	55000	Minimum
İşletme Maliyeti	TL	19000	25000	Minimum
<b>Risk</b>				
Emisyon	%	30	20	Minimum
Mikroorganizma	CFU/kg	1000	10	Minimum
Sıvı Ürün Kalitesi	%	65	75	Maksimum

Her bir kriter açısından alternatifler değerlendirildiğinde ise fayda kriteri için T-AÇ, maliyet kriteri için M-AÇ ve risk kriteri için T-AÇ'ye karar verilmiştir. Tüm kriterler beraber ele alındığında ise ideal uzaklık değerleri M-AÇ ve T-AÇ için sırasıyla 0,29 ve 0,71 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak fayda, maliyet ve risk açısından en iyi yöntemin termofilik anaerobik çürütme olduğu söylenebilir.

Katı atık yönetim sistemlerinin (KAYS) seçimi ile ilgili bazı ÇKKV çalışmaları gerçekleştirilmiştir [17; 38-40]. Mir vd. [17] KAYS seçimi için anaerobik çürütme, düzenli depolama, RDF, kompostlaştırma ve geri dönüşüm alternatifleri çeşitli kriterlere göre TOPSİS ve VİKOR yöntemleri ile önceliklendirilmiştir. Sonuçta, anaerobik çürütme (%40,4 ile geri dönüşüm (%36,4), düzenli depolama (%18,1), RDF (%3,1) ve kompostlaştırma (%2) alternatiflerine kıyasla daha öncelikli olarak belirlenmiştir. Pires vd. [38] Portekiz Setubal Yarımadası'ndaki KAYS seçimi için AHP ve TOPSİS ile değerlendirilmiştir. AHP ile ağırlıklandırmalar hesaplanmıştır ve TOPSİS ile sıralama yapılmıştır. Antonopoulos vd. [40] katı atık arıtım alternatifleri (mekanik biyolojik aerobik arıtma, mekanik biyolojik anaerobik arıtma ve enerji kazanımlı yakma) AHP ile önceliklendirilmiştir. Enerji kazanımlı yakma yüksek miktarda üretilen enerji nedeniyle en iyi performansı sağladığı ifade edilmiştir. Martowibowo ve Riyanto [39] Bandung şehrinde katı atık arıtım alternatiflerinin (kompostlaştırma, gazlaştırma, düzenli depolama, anaerobik çürütme, yakma ve açık depolama) seçiminde AHP, ELECTRE II, PROMETHEE II ve TOPSİS kullanılmıştır. Bu alternatiflerden kompostlaştırma en öncelikli olarak belirlenmiştir.

Literatür çalışmaları değerlendirildiğinde arıtım yöntemi alternatiflerini sıralarken veya en önceliklisini sıralarken birçok parametre kararı etkilemektedir. Ele alınan alternatifler, kriterler, anketörler (karar matrisini oluşturan kişiler) büyük etkiye sahiptir. Ayrıca hesaplamalarda kullanılan çok kriterli karar verme yöntemlerinin seçimi bile kararın farklı olmasına neden olabilmektedir.

Yukarıda bahsedilen çalışmalardan da görüldüğü gibi ele alınan alternatiflerin bazıları ortak olsa bile öncelikli olarak farklı alternatif seçilmiş olabilir.

Bu çalışmada anaerobik çürütme mezofilik ve termofilik şartlara göre AHP ve TOPSİS ÇKKV teknikleri ile değerlendirilmiştir ve termofilik şart öncelikli olarak belirlenmiştir. Farklı alternatifler ve farklı ÇKKV teknikleri ile hesaplamalar yapılırsa aynı/farklı sonuçlar elde edilebilir. Termofilik anaerobik çürütmenin daha öncelikli belirlenmesinde en önemli etkenler sınırlı alternatif olması ve dikkate alınan kriterler olduğu söylenebilir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Gelişen sanayi ve teknoloji, ve artan insan ve hayvan nüfusu ile hem atık/atık sular oluşacaktır hem de her geçen gün enerji ihtiyacı artacaktır. İnsanoğlu var oldukça oluşan atık/atık suların doğaya en az zarar verecek şekilde uygun arıtma ve bertaraf yöntemleri ile yönetilmesi gerekmektedir. Atıkların yönetimi için yöntem seçilirken de sürdürülebilirliğin göze alınması büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple de bu çalışmada sürdürülebilir arıtım yöntemi olan ve yaygın bir şekilde de tam ölçekli olarak işletilen anaerobik çürütmenin mezofilik ve termofilik sıcaklıklarda işletiminin fayda, maliyet ve risk açısından farklı alt kriterler de ele alınarak önceliklendirilmesi çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSİS ile yapılmıştır. Çalışma sonucunda her bir kriter ayrı ayrı olarak değerlendirildiğinde fayda kriteri için T-AÇ, maliyet kriteri için M-AÇ ve risk kriteri için T-AÇ öncelikli olarak belirlenirken tüm kriterler beraber ele alındığında ise T-AÇ öncelikli olarak hesaplanmıştır. Farklı alternatifler ve farklı ÇKKV teknikleri ile hesaplamalar yapılırsa aynı/farklı sonuçlar elde edilebilir. Termofilik anaerobik çürütmenin daha öncelikli belirlenmesinde en önemli etkenler sınırlı alternatiflerin olması ve dikkate alınan kriterlerdir. Gelecek çalışmalar için farklı kriter/alt kriterler ve farklı ÇKKV yöntemleri ile çalışmalar önerilebilir.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmada 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] Çetinkaya A.Y. 2018. Investigation of Biomethane Potential of Dairy Industry Wastewater. *Journal of Polytechnic*, 21 (2): 457-460.
- [2] Çakır F.Y., Stenstrom M.K. 2005. Greenhouse Gas Production: A Comparison Between Aerobic and Anaerobic Wastewater Treatment Technology. *Water Research*, 39 (17): 4197-4203.
- [3] Vindis P., Mursec B., Janzekovic M., Cus F. 2009. The Impact of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion on Biogas Production. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 36 (2): 192-198.
- [4] Cavinato C., Fatone F., Bolzonella D., Pavan P. 2010. Thermophilic Anaerobic Co-Digestion of Cattle Manure With Agro-Wastes and Energy Crops: Comparison of Pilot and Full Scale Experiences. *Bioresource Technology*, 101 (2): 545-550.
- [5] Turskis Z., Zavadskas E.K., Antucheviciene J., Kosareva N. 2015. A Hybrid Model Based on Fuzzy AHP and Fuzzy WASPAS For Construction Site Selection, *International Journal of Computers Communications & Control*, 10 (6): 113-128.
- [6] Yapici Pehlivan N., Şahin A., Zavadskas E., Turskis Z. 2018. A Comparative Study of Integrated FMCDM Methods For Evaluation of Organizational Strategy Development. *Journal of Business Economics and Management*, 19 (2): 360-381.

- [7] Toklu M.C., Uygun Ö. 2018. Location Selection For Wind Plant Using AHP and Axiomatic Design in Fuzzy Environment. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences (PEN)*, 6 (2): 120-128.
- [8] Zavadskas E.K., Kaklauskas A., Kalibatas D., Turskis Z., Krutinis M., Bartkienė L. 2018. Applying the TOPSIS-F Method to Assess Air Pollution in Vilnius. *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)*, 17 (9).
- [9] Abdullah L., Zulkifli N., Liao H., Herrera-Viedma E., Al-Barakati A. 2019. An Interval-Valued Intuitionistic Fuzzy DEMATEL Method Combined with Choquet Integral For Sustainable Solid Waste Management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 82: 207-215.
- [10] Tseng M.L. 2011. Using a Hybrid MCDM Model To Evaluate Firm Environmental Knowledge Management in Uncertainty. *Applied Soft Computing*, 11 (1): 1340-1352.
- [11] Vego G., Kučar-Dragičević S., Koprivanac N. 2008. Application of Multi-Criteria Decision-Making on Strategic Municipal Solid Waste Management in Dalmatia. Croatia, *Waste Management*, 28 (11): 2192-2201.
- [12] Tseng M.L. 2009. Application of ANP and DEMATEL to Evaluate The Decision-Making of Municipal Solid Waste Management in Metro Manila. *Environmental Monitoring and Assessment*, 156 (181): 1-4.
- [13] Dursun M., Karsak E.E. Karadayi M.A. 2011. A Fuzzy MCDM Approach For Health-Care Waste Management. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Industrial and Manufacturing Engineering*, 5 (1).
- [14] Büyükožkan G., Çifçi G. 2012. A Novel Hybrid MCDM Approach Based on Fuzzy DEMATEL, Fuzzy ANP and Fuzzy TOPSIS to Evaluate Green Suppliers. *Expert Systems with Applications*, 39 (3): 3000-3011.
- [15] Nixon J.D., Dey P.K., Ghosh S.K., Davies P.A. 2013. Evaluation of Options For Energy Recovery From Municipal Solid Waste in India Using the Hierarchical Analytical Network Process. *Energy*, 59: 215-223.
- [16] Liu H.C., You J.X., Fan X.J., Chen Y.Z. 2014. Site Selection in Waste Management By The VIKOR Method Using Linguistic Assessment. *Applied Soft Computing*, 21: 453-461.
- [17] Mir M.A., Ghazvinei P.T., Sulaiman, N.M.N., Basri N.E.A., Saheri S., Mahmood N.Z., Aghamohammadi N. 2016. Application of TOPSIS and VIKOR Improved Versions in A Multi Criteria Decision Analysis to Develop An Optimized Municipal Solid Waste Management Model. *Journal of Environmental Management*, 166: 109-115.
- [18] Arıkan E., Şimşit-Kalender Z.T. Vayvay Ö. 2017. Solid Waste Disposal Methodology Selection Using Multi-Criteria Decision Making Methods and An Application in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 142: 403-412.
- [19] Goulart Coelho L.M., Lange L.C., Coelho H.M. 2017. Multi-Criteria Decision Making To Support Waste Management: A Critical Review of Current Practices and Methods. *Waste Management & Research*, 35 (1): 3-28.
- [20] Coban A., Ertis I.F., Cavdaroglu N.A. 2018. Municipal Solid Waste Management via Multi-Criteria Decision Making Methods: A Case Study in Istanbul, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 180: 159-167.
- [21] Saaty T.L. 1980. *The Analytic Hierarchy Process*. McGraw-Hill, New York, USA.
- [22] Hwang C.L., Yoon K. 1981. *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Application*. Springer, Berlin.
- [23] Cheng S., Hwang C. 1992. *Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer.
- [24] Alp S., Engin T. 2011. Analysis and Evaluation of The Relation Between The Reasons and Consequences of The Traffic Accidents By Using TOPSIS and AHP Methods. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10 (19): 65-87.
- [25] Nges I.A., Liu J. 2010. Effects of Solid Retention Time on Anaerobic Digestion of Dewatered-Sewage Sludge in Mesophilic and Thermophilic Conditions. *Renewable Energy*, 35 (10): 2200-2206.
- [26] Aich A., Ghosh S.K. 2016. Application of SWOT Analysis for the Selection of Technology for Processing and Disposal of MSW. *Procedia Environmental Sciences*, 35: 209-228.

- [27] Coşkun T., Manav N., Debik E., Binici M.S., Tosun C., Mehmetli E., Baban A. 2011. Anaerobic Digestion of Cattle Manure. *Journal of Engineering and Natural Sciences*, 3: 1-9.
- [28] Kardos L., Juhasz A., Palko G., Olah J., Barkacs K., Zaray G. 2011. Comparing of Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Fermented Sewage Sludge Based on Chemical and Biochemical Tests. *Applied Ecology and Environmental Research*, 9 (3): 293-302.
- [29] Şentürk E. 2010. Investigation on The Treatability and Modelling of Potato-Processing Wastewaters in A Completely Mixed Anaerobic Contact Reactor Under Mesophilic and Thermophilic Conditions. PhD Thesis, Gebze Technical University, Environmental Engineering, Kocaeli.
- [30] Öztürk M. 2017. Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretimi. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 1-71. [http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider\\_pdf/UWDntXjXQmfS.pdf](http://www.cevresehirkutuphanesi.com/assets/files/slider_pdf/UWDntXjXQmfS.pdf). (Erişim Tarihi: 05.09.2019).
- [31] Bi S., Qiao W., Xiong L., Ricci M., Adani F., Dong R. 2019. Effects of Organic Loading Rate on Anaerobic Digestion of Chicken Manure Under Mesophilic and Thermophilic Conditions. *Renewable Energy*, 139: 242-250.
- [32] Sassi H.P., Ikner L.A., Abd-Elmaksoud S., Gerba C.P., Pepper I.L. 2018. Comparative Survival of Viruses During Thermophilic and Mesophilic Anaerobic Digestion. *The Science of the Total Environment*, 615: 15-19.
- [33] Kim M., Ahn Y.H., Speece R. 2002. Comparative Process Stability and Efficiency of Anaerobic Digestion; Mesophilic vs. Thermophilic. *Water Research*, 36 (17): 4369-4385.
- [34] Labatut R.A., Angenent L.T., Scott N.R. 2014. Conventional Mesophilic vs. Thermophilic Anaerobic Digestion: A Trade-Off Between Performance and Stability? *Water Research*, 53: 249-258.
- [35] Qi G., Pan Z., Sugawa Y., Andriamanohiarisoamanana F.J., Yamashiro T., Iwasaki M., Kawamoto K., Ihara I., Umetsu K. 2018. Comparative Fertilizer Properties of Digestates From Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion of Dairy Manure: Focusing on Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) and Environmental Risk. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20 (3): 1448-1457.
- [36] Tufaner F., Avsar Y., 2019. Economic Analysis of Biogas Production From Small Scale Anaerobic Digestion Systems For Cattle Manure. *Environmental Research and Technology*, 2(1): 6-12.
- [37] Yakut H.U. 2012. Investigation of The Effect of Mixer Speed on Biogas Production. MSc Thesis, Kocaeli University, Department of Machine Engineering, Kocaeli.
- [38] Pires A., Chang N.B., Martinho G. 2011. An AHP-Based Fuzzy Interval TOPSIS Assessment For Sustainable Expansion of the Solid Waste Management System in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resources, Conservation and Recycling*, 56 (1): 7-21.
- [39] Martowibowo S.Y., Riyanto H. 2011. Suitable Multi Criteria Decision Analysis Tool For Selecting Municipal Solid Waste Treatment in The City of Bandung. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 18 (4).
- [40] Antonopoulos I.S., Perkoulidis G., Logothetis D., Karkanias C. 2014. Ranking Municipal Solid Waste Treatment Alternatives Considering Sustainability Criteria Using The Analytical Hierarchical Process Tool. *Resources, Conservation and Recycling*, 86: 149-159.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi Depreminin ( $M_w=6.9$ ) Sonlu-Fay Dalga Şekli Ters Çözümü

Emrah BUDAKOĞLU\*, Murat UTKUCU

*Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Sakarya  
(ORCID: 0000-0002-9897-2435) (ORCID: 0000-0001-7528-937X)*

---

### Öz

Bu çalışmada 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depreminin kırılma özellikleri telesismik P ve SH dalga şekilleri kullanılarak araştırılmıştır. Ters çözüm sonuçları depremin iç merkezinin KD yönünde konumlanan üç fay pürüzünün yenilmesi nedeniyle oluştuğu belirlenmiştir. Depremin iç merkezine en yakın pürüz 10 km derinliğin altında konumlanmış şekilde bulunurken uzak pürüzler ise 10 km derinliğin üzerinde konumlanmış haldedir. En büyük kayma genliği ve toplam salınan sismik moment sırasıyla 1.2 m ve  $2.180 \times 10^{19}$  Nm olarak bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** Kuzey Ege Denizi Depremi, sonlu-fay, dalga şekli modellemesi.

---

## Finite-fault Waveform Inversion of the May 24, 2014 Northern Aegean Sea Earthquake ( $M_w = 6.9$ )

---

### Abstract

In this study, the finite-fault rupture properties of the North Aegean Sea earthquake of 24 May 2014 have been investigated by inverting the teleseismic P and SH body waveforms. The inversion results indicated that the earthquake was due to failure of three asperities all of which were located in the NE of the hypocentre indicating unilateral fault rupture. The asperity closest to the hypocentre was located below the depth of 10 km while the distant asperities were located above the depth of 10 km. The maximum slip amplitude and total seismic moment release were found to be 1.2 m and  $2.180 \times 10^{19}$  Nm, respectively.

**Keywords:** Northern Aegean Sea Earthquake, finite-fault, waveform inversion.

---

### 1. Giriş

24 Mayıs 2014 tarihinde Türkiye saati ile 12:25'te Gökçeada açıklarında (Kuzey Ege Denizi) bir deprem meydana gelmiştir (Şekil 1). Depremin USGS sismoloji merkezine göre büyüklüğü 6.9 ( $M_w$ )'dur. Deprem Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nun Ege Denizi içerisindeki uzanımı üzerinde meydana gelmiştir. Deprem 42 sn sürmüş ve ilk 48 saat içerisinde büyüklükleri 1.1 ile 5.3 arasında değişen 405 adet artçı deprem meydana gelmiştir [1]. Deprem başta Çanakkale, Edirne, İstanbul, İzmir illerinde olmak üzere Ege ve Marmara Bölgelerinde geniş çaplı hissedilmiş ve bazı binalarda hafif hasarlar tespit edilmiştir.

Aletsel dönem deprem etkinliği içerisinde Kuzey Ege bölgesinde çok sayıda orta ve büyük ölçekli depremler meydana gelmiştir. Bölgede bulunan aktif Ganos Fay Zonu üzerinde meydana gelen 9 Ağustos 1912 Mürefte-Şarköy depremi ( $M_s=7.2$ ) en önemli depremlerden biridir. Bu deprem orta büyüklükte tsunami üretmiştir [2]. 6 Temmuz 2003 ( $M_w=5.7$ ) Saroz körfezi depremi Kuzey Ege Denizi depremine çok yakın bir konumda meydana gelmiştir [3]. Yakın zamanda meydana gelen 8 Ocak 2013 Bozcaada depremi ( $M_L=6.2$ ) ve 30 Temmuz 2013 Kaleköy-Gökçeada depremi ( $M_L=5.3$ ) bölgedeki sismik aktivitenin en önemli kanıtlarındandır [4].

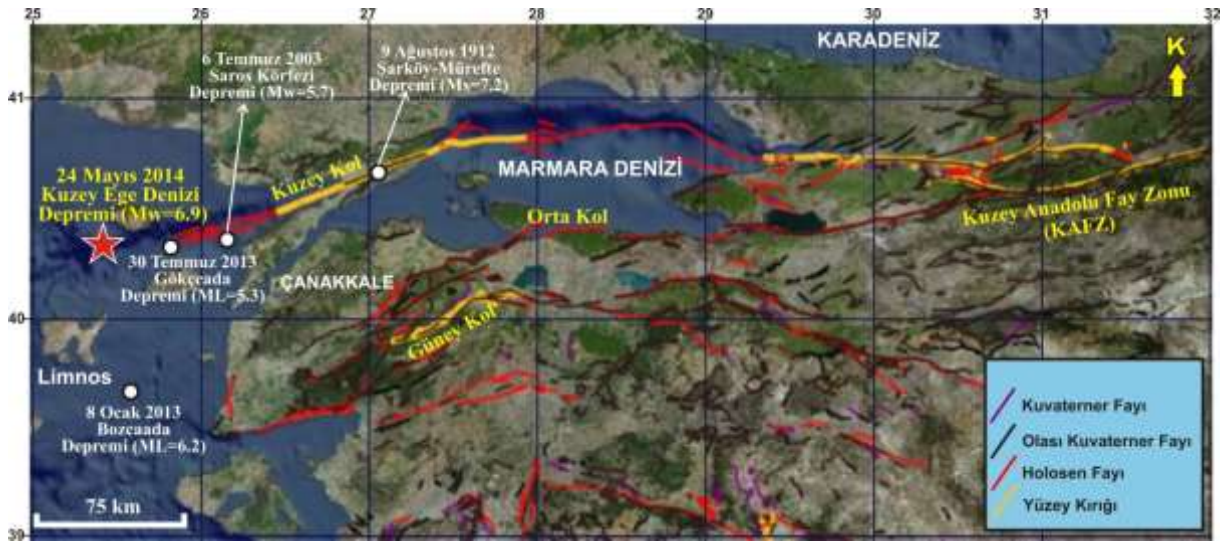
---

\*Sorumlu yazar: [ebudakoglu@sakarya.edu.tr](mailto:ebudakoglu@sakarya.edu.tr)

Geliş Tarihi: 17.10.2019, Kabul Tarihi: 08.04.2020

Marmara Bölgesi ve Kuzey Ege Bölgesinin aktif tektoniği Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) tarafından kontrol edilmektedir. Türkiye'nin en önemli deprem kuşağı KAFZ, Arap ve Avrasya levhalarının arasında sıkışan Anadolu levhasının batıya doğru kaçışını karşılamaktadır [5]. KAFZ, Marmara Bölgesinde üç kola ayrılmaktadır (Şekil 1) [6-8]. Kuzey kol, Sapanca-Çınarcık-Marmara Denizi altından ilerleyerek Saroz Körfezine girmektedir. Orta kol, Osmaneli-Gemlik-Bandırma-Bayramiç hattını takip ederek Ege Denizi'ne girmektedir. Güney kol ise Geyve-Yenişehir-Bursa-Biga Yarımadası hattında ilerleyerek Kuzey Ege Denizine girmektedir. Bölgede yapılan çalışmalar sonucu Kuzey Ege Denizi'nde meydana gelen depremlerin kaynak mekanizma çözümleri genişleme bileşenli sağ-yanal doğrultu atımlı faylanmaları ve ilişkili tektonik yapıları önermektedir [9-10].

GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) çalışmaları, üç kol arasında en büyük kayma hızının 20 mm/yıl ile Kuzey kolda olduğunu önermiştir. Orta ve Güney kollar için ise hesaplanan fay kayma hızları sırasıyla 3 ve 2 mm/yıl'dır. Bu üç kol ortalama 25 mm/yıl'lık bir levha hareketini karşılamaktadır. Bu durum Marmara Bölgesi ve Kuzey Ege Denizi'nde var olan deprem tehlikesini gözler önüne sermektedir. Bölgede tarihsel ve aletsel dönem de çok sayıda büyük deprem meydana gelmiş olması ve bu depremlerin çok sayıda can ve mal kayıplarına yol açması deprem tehlikesinin en önemli kanıtıdır [11-14].



**Şekil 1.** Kuzey Ege ve çevresinin basitleştirilmiş tektonik haritası ve 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depreminin dış merkez lokasyonu ve bölgede meydana gelmiş önemli depremler (Faylar Emre vd. [8]'den, harita altlığı ise MTA web sitesinden (yerbilimleri.mta.gov.tr) ve deprem dış merkez lokasyonları Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE)'den alınmıştır)

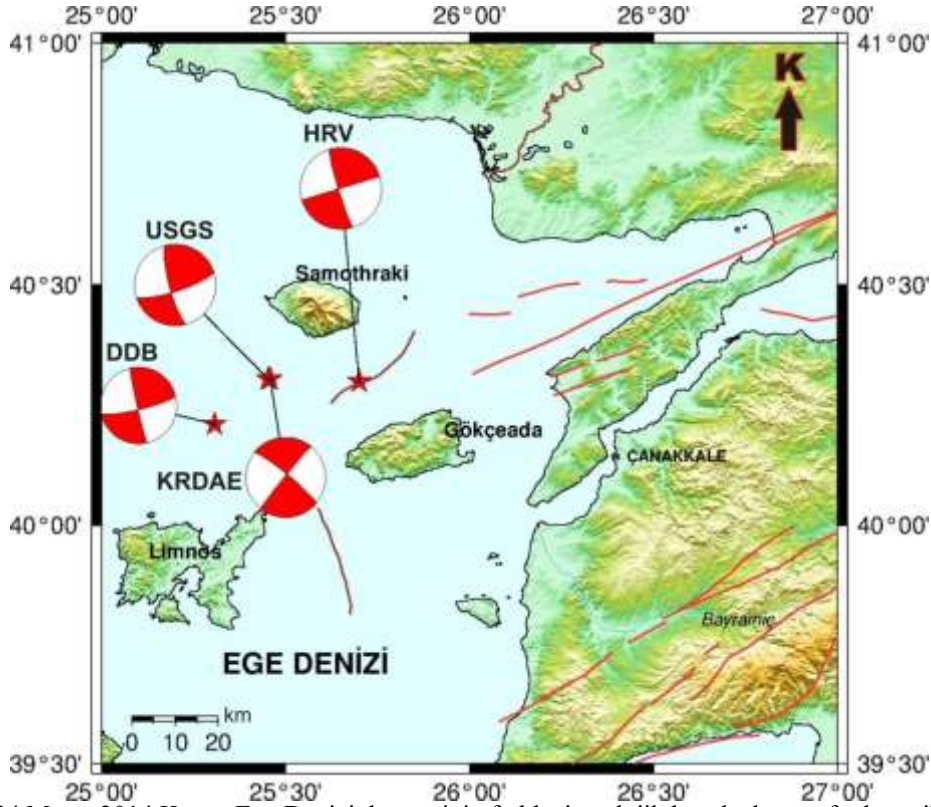
24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depremi KAFZ'ın açılma rejiminin sonucu oluşan Kuzey Ege Çukurluğunda Gökçeada civarında meydana gelmiştir. KAFZ 300 km uzunluğundaki Kuzey Ege Denizi Çukurluğu boyunca Ege Denizine yayılmaktadır [15]. Marmara bölgesinin batıya doğru hareketi kuzey ve güney sınırlarında deformasyona sebep olmaktadır. KAFZ ve Kuzey Ege Çukurluğu'nda 23 mm/yıllık bir kayma hızı hesaplanmıştır [16-17].

24 Mayıs Kuzey Ege Denizi depremi, Marmara Bölgesinin batısında bulunan Gökçeada (İmbros) adasınının, KAFZ boyunca Saroz Körfezi graben çöküntüsü ile ilgili olarak Pliyosen'den bu yana birkaç kilometreye kadar hızlı bir yükselim yaşadığını desteklemektedir [18]. Bölgenin Jeolojik, morfolojik ve sismotektonik özellikleri incelendiğinde, güney ve orta Ege'nin deformasyonu KKD-GGB yönelimli açılma rejimi tarafından kontrol edildiğini, Kuzey Ege'nin ise KAFZ'ın en batıdaki kolu ile kontrol edildiğine işaret etmektedir [19-21].

24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depreminin farklı sismolojik kuruluşlar tarafından verilmiş lokasyon ve kaynak parametreleri Tablo 1'de listelenmiştir. Tablo 1'de belirtilen kaynak parametrelerine göre yapılan odak mekanizması çözümleri ve lokasyon bilgilerinin harita üzerinde gösterimi Şekil 2'de verilmiştir. Hemen hemen tüm sismoloji merkezleri sağ yanallı doğrultu atımlı faylanmayı işaret etmektedir.

**Tablo 1.** 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depremi için çeşitli kuruluşlar tarafından verilen odak ve kaynak parametreleri (KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü; DDB: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı; USGS: United States Geological Survey, HRV: Harvard-Global Centroid Moment Tensor)

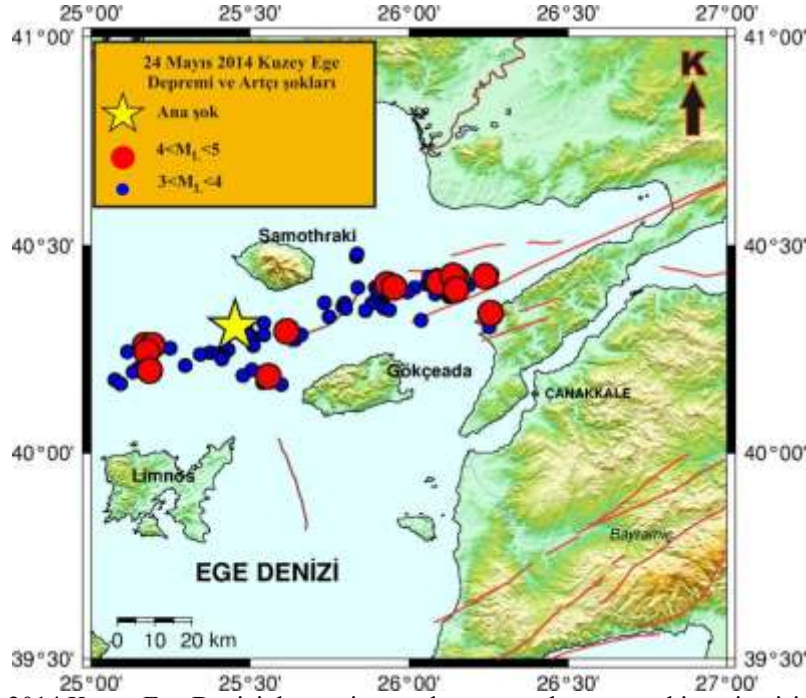
Oluş Zamanı (Saat:dak:sn)	Enlem (°K)	Boylam (°E)	Derinlik CMT (km)	$M_w$	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Rake (°)	Kaynak
09:25:01	40.3050	25.4580	24	6.8	219	88	173	KRDAE
09:25:00	40.2108	25.3073	25	6.5	167	87	9	DDB
09:25:20	40.3000	25.7000	12	6.9	163	85	0	HRV
09:25:03	40.3050	25.4530	12	6.9	165	78	13	USGS



**Şekil 2.** 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depreminin farklı sismolojik kuruluşlar tarafından verilmiş odak mekanizma çözümlerini ve lokasyonlarını gösteren harita

24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depreminden sonra bölgedeki artçı deprem aktivitesi yoğun bir şekilde devam etmiştir. Ana şoktan sonra bir ay içerisinde yaklaşık olarak 100 adet  $M_L \geq 3.0$  deprem meydana gelmiş ve bu depremlerin lokasyonları Şekil 3'de gösterilmiştir. Artçı depremlerin dağılımı incelendiğinde GB-KD yönlü bir doğrultuda oluştuğu görülmektedir. Bu durum depremin yukarıda verilen fay düzlemi çözümlerini destekler niteliktedir. Bir başka dikkat çekici husus depremden sonraki artçı dağılımları incelendiğinde  $M_L \geq 5.0$  herhangi bir artçı deprem bulunmamasıdır. Depremin bir haftalık artçı dağılımında ise sadece iki adet  $M_L = 4.9$  deprem bulunmaktadır. Saltogianni vd. [22] ve Kiratzi vd. [23] yaptıkları çalışmalarda bu duruma dikkat çekmişler ve hızlı artçı şok azalımı, güçlü artçı şok eksikliği (sadece 2 adet  $M_L = 4.9$ ) ve artçı şokların Kuzey Ege çukurluğu boyunca (200 km) yayılması gibi karakteristik özelliklerini ortaya koymuşlardır. Kiratzi vd. [23] 2014 Kuzey Ege Denizi depreminin güçlü bir pürüzün yenilmesi sonucu oluştuğunu belirtmiştir. Aynı zamanda depremin bölgede 1995'den beri bulunan sismik boşluğu dolduracak nitelikte oluştuğunu ileri sürmüştür.





Şekil 3. 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depremi ana şok ve ana şoktan sonra bir ay içerisinde meydana gelen artçı deprem dağılımını gösteren harita. Depremler KRDAE kataloglarından elde edilmiştir

Bu çalışmada 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depreminin sonlu-fay dalga şekli ters çözümü ile kırılma özellikleri ortaya konmaya çalışılacaktır. Sonlu-fay dalga şekli ters çözümü ile kırılma özelliklerinin belirlenmesi için yapılacak ters çözümde telesismik P ve SH dalga şekilleri kullanılacaktır. Bu çalışmanın bir kısmı özet metin olarak 3. Uluslararası Mühendislik Mimarlık Ve Tasarım Kongresi'nde sözlü olarak sunulmuştur.

## 2. Yöntem

Sismolojide gerçekleştirilen çalışmaların büyük çoğunluğunu depremlerin kaynak özelliklerinin belirlenmesi üzerinedir. Depremlerin kaynak özelliklerinin incelenmesi ile deprem oluşum süreçleri detaylı bir şekilde anlaşılmaktadır. Bu aşamada deprem kayıtları yani sismogramlar önemli rol oynamaktadır. Sismogramlar üzerindeki sinyaller çeşitli ters çözüm teknikleri ile incelenerek depremlerin kırılma detayları ortaya konmaktadır.

Bir sismogram sadece depremin kaynak özelliklerinden etkilenmemektedir. Aynı zamanda bu zaman serisi yol etkisi ( $Q(t)$ , path effect-deprem kaynağı ile kayıt istasyonu arasındaki yol) ve alet etkisi ( $I(t)$ , instrument response) tarafından da etkilenmektedir. Deprem kaynağındaki yer değiştirme ( $u(t)$ , source effect) ile birlikte sismogramların modellenmesinde üç adet filtre bulunmaktadır [24].

$$W(t) = u(t) * Q(t) * I(t) \quad (1)$$

Bu eşitlikte "\*" simgesi konvolüsyonu,  $W(t)$  hesaplanan (sentetik) sismogramı ifade etmektedir [25, 26]. Geliştirilen yöntemlerle  $u(t)$  ve  $Q(t)$  modellenebilmektedir. Son dönemde yapılan yüksek kalitedeki cihazlarla  $I(t)$  ise oldukça iyi bilinmektedir. Tüm bunların sonucunda hesaplanan ile gözlenmiş sismogramların karşılaştırılması işlemine deprem dalga şekli modellemesi denmektedir. Deprem kaynağında meydana gelen kırılmanın boyutları ve kayma büyüklüklerinin dağılımı gibi ayrıntılı kaynak parametrelerinin belirlenmesi deprem kaynağının  $L$  uzunluğu ve  $W$  genişliğindeki sonlu bir fay ile temsil edilerek bir modelleme yapılmasını gerektirmektedir [27]. Deprem kaynağını sonlu fay olarak tanımlayabilmek için fay yüzeyi üzerine dağılmış çok sayıda nokta kaynak düşünebiliriz. Faylanmanın gerçek kaynak zaman fonksiyonunu elde etmek için tüm bu nokta kaynakların tepkileri toplanmalıdır.

Bu çalışmada sonlu fay analizi için kullanılan ters çözüm tekniği Hartzell ve Heaton [28], Kikuchi ve Kanamori [29], Yoshida [30], Yoshida vd. [31], Ide ve Takeo [32] tarafından geliştirilen

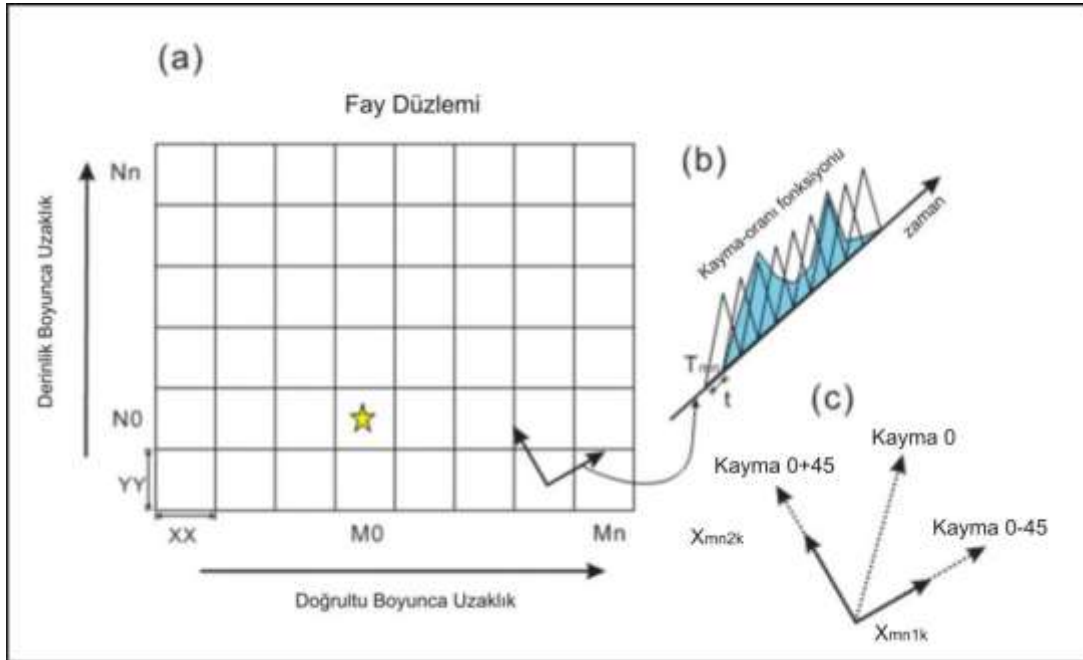
yöntemleri temel almaktadır. Sonlu fay analizinde tüm faylanma alanı XX ve YY genişliğinde MxN adet küçük fay parçalarına bölünmektedir. Kırılmanın davranışını belirlemek amacıyla her bir fay parçası bir nokta kaynak olarak düşünülmektedir (Şekil 4). Her bir fay parçası üzerindeki kırılmanın zaman içerisindeki değişimini ifade eden kaynak zaman fonksiyonu ( $\tau$  yarı genişliğinde, L adet ikizkenar üçgen) tanımlanmıştır. Faylanma alanı üzerindeki tüm fay parçaları üzerinde sabit ya da değişken olarak kayma vektörü belirlenmiştir. Eğer kayma vektörü değişken olarak tercih edilmişse her bir vektörün bileşkesi fay parçasının kayma vektörü olarak kabul edilir. Tüm parametreler ile j istasyonundaki dalga şekli aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$W_j^{obs}(t_i) = \sum_{mnlk} X_{mnlk} g_{mnlk}(t_i - (l-1)\tau - T_{mn}) + e \quad (2)$$

Eşitlikte,  $X_{mnlk}$ , i-inci zaman adımında  $mn$ 'inci fay parçasındaki  $k$ 'ncü kayma vektörü bileşenini ifade etmektedir.  $g_{mnlk}$ , Green fonksiyonu (birim kaymalı  $mn$  fay parçasındaki bir nokta kaynaktan gelen başlangıç dalgası);  $T_{mn}$ , fay parçasındaki kaynak zaman fonksiyonu başlangıç zamanı; e, varsayılan Gaussian hata bileşenidir. Uzak alan deprem kayıtlarının modellenmesi için Kikuchi ve Kanamori [29] metodu Green fonksiyonunun hesaplanması için kullanılmıştır. Eşitlik (2)'de verilen denklem vektörel şekilde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$y = Ax + e \quad (3)$$

Eşitlikte A, jakobiyen matrisidir (veri sayısı  $\times$  model parametre sayısı boyutunda). Veriler için değişinti kavramı ( $\sigma_j$ ) genel anlamda en büyük dalga genliğinin ( $DG_{maks}$ ) %10'u kadar tercih edilir ve istasyon ağırlıklandırması  $1/(DG_{maks} \times \sigma_j)$  şeklinde olur.



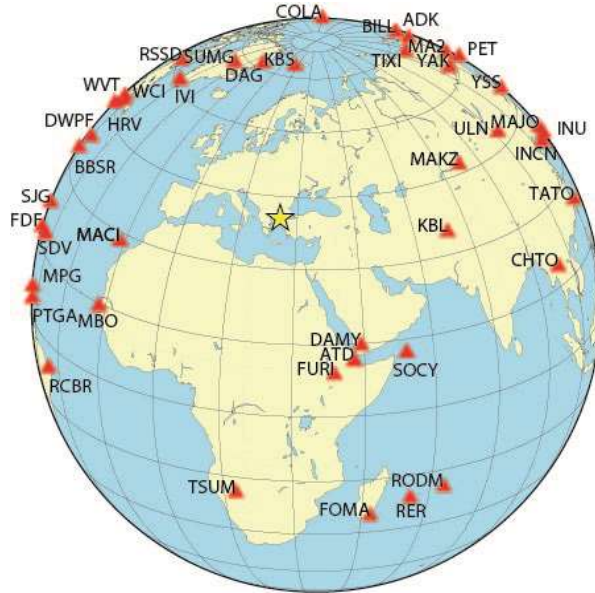
**Şekil 4.** Kaynak parametrisasyonunu ifade eden temsili şema [33]. a) Fay düzlemi, fay parçalarına bölünmüştür. b) Mn, fay parçası için moment fonksiyonunun parametresi. Tmn maksimum kırılma hızı tarafından belirlenen her bir fay parçasındaki kaynak zaman fonksiyonunun başlangıç zamanını verir. c) Kayma vektörünün bileşenlerini gösterir

Fay düzlemi üzerinde kayma dağılımının hesaplanması safhasında herhangi bir değer negatif olmaması gerekliliği nedeniyle çalışmada kullanılan yöntemin ters çözüm işleminde negatif olmayan en küçük kareler yaklaşım (non-negative least squares, NNLS) metodu kullanılmaktadır. Eğer kayma dağılımı değeri negatif olursa bu üzerinde bulunduğu fay parçasında kırılmanın negatif yönde gerçekleştiğini ve sürecin de geriye doğru işlediğini ileri sürmektedir. Bu gibi fiziksel olarak akla uygun olmayan ve imkanı bulunmayan durumlar modellemede duyarsızlığa yol açmaktadır.

### 3. Kullanılan veri

Ters çözümde kullanılan uzak alan geniş band veriler internet aracılığıyla IRIS ([http://ds.iris.edu/wilber3/find\\_event](http://ds.iris.edu/wilber3/find_event))’den temin edilmiştir. Veri sağlayıcı istasyonların dış merkez uzaklıklarının  $30^\circ \leq \Delta \leq 90^\circ$  arasında olması tercih edilmiştir. Bu tercihin nedeni çekirdek ve üst manto yansımalarından kaynaklanan dalga şekillerini etkileyecek saçılımlardan kaçınmaktır. P ve S fazları ile çekirdek fazları olan PcP, ScS gibi fazlar episantra  $90^\circ$  den uzak istasyonlarda birbirlerine karışmaktadır.  $30^\circ$ ’den daha yakın istasyonlar ile odak arasındaki ışınlar genelde yüksek hız değişiminin görüldüğü heterojen kabuk ve üst manto içinde seyahat etmektedirler.  $30^\circ \leq \Delta \leq 90^\circ$  arası uzaklıklarda dalgalar göreceli olarak homojen alt manto içinden geçerek istasyonlara ulaşırlar. Telesismik uzaklıklardaki P ve SH fazları diğer fazlardan rahatça ayırt edilebildiğinden bağımsızca analiz edilebilirler [34].

Depremin sonlu-fay dalga şekli ters çözümü için uzak alan 39 adet P dalgası ve 13 adet SH dalgasına ait yer değiştirme dalga şekli kullanılmıştır. Verilerden ilk olarak alet etkisi giderilmiştir. Daha sonra filtreleme işleminde 0.01–0.7 Hz frekans aralığında Butterworth bant geçişli filtre tercih edilmiştir ve veriler 0.5 sn örnekleme aralığı ile örneklendirilmiştir. Depremin büyüklüğü göz önüne alındığında ters çözümde P ve SH dalga şekilleri için kayıt uzunluğu 60 sn tercih edilmiş ve bu sürenin kırılma özelliklerinin ortaya konması için uygun olduğuna karar verilmiştir. Ters çözümde kullanılan istasyonlara ait azimutal dağılımlar Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Çalışmada 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depremi sonlu-fay dalga şekli ters çözümünde kullanılan telesismik istasyonların azimutal dağılımı. Yıldız depremin dış merkezini göstermektedir

### 4. Sonlu Fay Model Parametrizasyonu

24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depreminin ters çözümü için giriş dosyasına Sakarya Üniversitesi Deprem İzleme ve Araştırma Merkezi (SAÜ-Divam) tarafından verilmiş mekanizma çözümünden elde edilen doğrultu ( $72^\circ$ ), eğim ( $77^\circ$ ) ve rake ( $-168^\circ$ ) açıları model fay düzleminin tanımlanmasında kullanılmıştır. Depremin odak lokasyonu ( $40.305^\circ\text{K} - 25.458^\circ\text{D}$  koordinatlarında ve 10 km derinlikte) Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü-Bölgesel Deprem ve Tsunami İzleme Merkezi (KRDAE-BDTİM) kataloglarından alınmıştır. 80 km x 20 km boyutlarındaki bir model fay düzlemi kırılma alanının temsili için kullanılmıştır. Model fay düzlemi doğrultu boyunca 5 km, eğim boyunca 4 km boyutlarında 80 fay parçasına (doğrultu boyunca 16 ve eğim boyunca 5 fay parçası) bölünmüştür (Şekil 6). Deprem odağının model fayın derinlik kenarlarına uzaklıkları yapılacak ters çözüm denemeleri ile belirlemeye çalışılacaktır.



**Şekil 6.** 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depreminin ters çözümü için kullanılan sonlu-fay modeli. Modelde fay düzlemi doğrultu boyunca 5 km ve eğim boyunca 4 km aralıklarla toplam 80 adet fay parçasına bölünmüştür.

Model üzerinde bulunan yıldız depremin odağını temsil etmektedir. Gösterimdeki odağın üst, KD ve GB kenarlara olan uzaklıkları (sırasıyla 10, 12.5 km ve 67.5 km) ters çözüm denemeleri sonucunda elde edilmiş olup başlangıç değerlerinden farklı olabilecekleri hatırlatılmalıdır.

Depremin modellenmesi esnasında müsaade edilen en büyük kırılma hızı ( $V_r$ ) 3.0 km/sn olarak tercih edilmiştir. Tüm fay parçaları kayma yükselim zamanı eşit yükselim ve düşümlü, 1.0 sn süreli birbiriyle örtüşen 10 üçgen zaman-fonksiyonu ile temsil edilmiştir. Modelleme esnasında birden fazla sayıda deneme yapılmıştır. Bu sayede en uygun çözümün bulunulması hedeflenmiştir. Sonlu-fay kaynaklı yapay uzak-alan kayıtların üretilebilmesi amacıyla Karabulut vd. [35] tarafından önerilen genel kabuksal hız modeli kullanılmıştır (Tablo 2).

**Tablo 2.** Çalışmada sonlu-fay analizi yapılan tüm depremler için kullanılan kabuksal hız yapısı [35]

$V_p$ (km/sn)	$V_s$ (km/sn)	Derinlik (km)
2.25	1.1	0
5.70	3.20	1.0
6.10	3.60	6.0
6.80	3.85	20.0
8.0	4.55	33.0

## 5. Modelleme Sonuçları ve Tartışma

Depremin ters çözümü aşamasında çok sayıda deneme yapılarak en uygun çözüm elde edilmeye çalışılmıştır. Sonlu-fay düzleminin odağa göre göreceli konumunu belirlemek için birkaç ters çözüm denemesi yapılmıştır. Yapılan bu denemelerin sonuçları Tablo 3'de listelenmiştir. Tablo 3'den görüleceği üzere odağın sonlu-fay modelinin KD kenarına 67.5 km uzaklıkta olması durumunu temsil eden Model D4 için gözlenmiş dalga şekillerine en iyi uyum elde edilmiştir. Böylelikle çalışmada kullanılan verinin deprem kırılmasının daha çok KD yönüne yani Türkiye'ye doğru tek taraflı bir kırılmayı önerdiği sonucuna erişilmiştir.

**Tablo 3.** Çalışmada 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depremi için yapılmış ters çözüm denemeleri

	İç Merkez Lokasyonu (km)*	Doğrultu (°)	Eğim (°)	Rake (°)	Mo ( $\times 10^{20}$ )	MBZ** (sn)	Mw	En büyük Kayma (m)	Hata Miktarı
Model D1	27.5	72	77	-171.5	0.1890	28	6.85	1.3	0.4432
Model D2	42.5	72	77	-167.5	0.1918	25	6.86	1.4	0.4234
Model D3	52.5	72	77	-167.0	0.2062	28	6.87	1.7	0.4132
Model D4	67.5	72	77	-167.7	0.2180	31	6.89	1.2	0.3939

\* Kuzey Doğu Kenarından Doğrultu Boyunca Uzaklık (Türkiye tarafından)

\*\* Moment Boşalım Zamanı

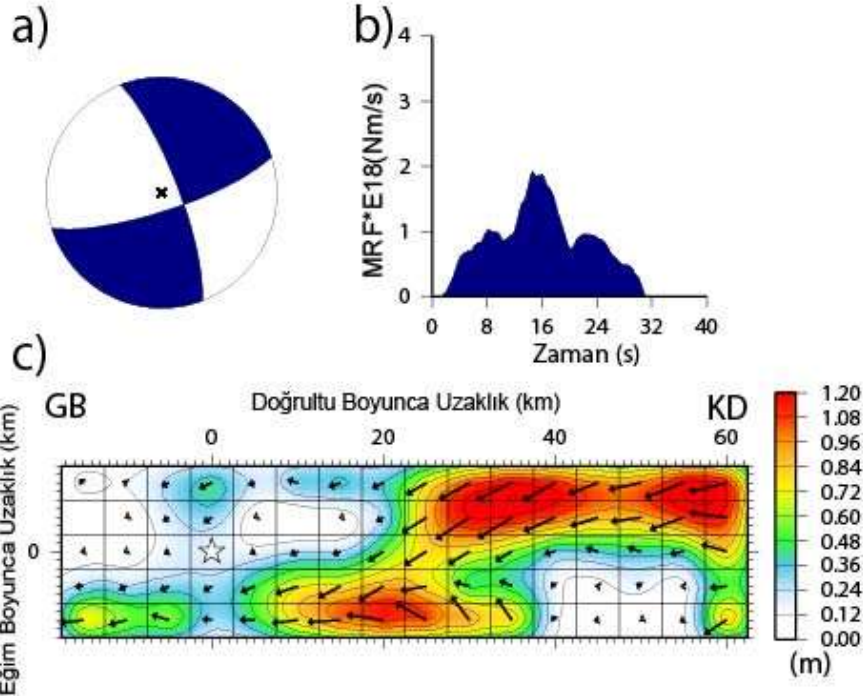
Model D4 ters çözüm denemesi sonucu elde edilen kayma dağılım modeli Şekil 7'de gösterilmiştir. Bu model için hesaplanan dalga şekilleri ile gözlenmiş dalga şekilleri Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Kayma dağılım modelinin yüzey izdüşümü de Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekil 7'de verilen sonlu-fay kayma dağılım modeli  $2.180 \times 10^{19}$  Nm'lik ( $M_w=6.89$ ) bir sismik momente ( $M_o$ ) karşılık gelmektedir. Ters çözümde değişken kayma açısı varsayımı ile modelleme yapıldığından ortalama kayma açısı yaklaşık olarak  $-168^\circ$  ve en büyük kayma değeri 1.2 m olarak bulunmuştur. Moment serbestlenme fonksiyonu incelendiğinde kırılmanın yaklaşık 31 sn sürdüğü ve kendi içinde üç farklı alt-olayın varlığına işaret ettiği görülebilir.

Elde edilen kayma dağılım modeli hepsi odağın KD doğrultusunda yerleşmiş ve kayma genlikleri 1.2 m'ye ulaşan üç belirgin fay pürüzünün yenilmesi ile deprem kırılmasının kontrol edildiğini önermektedir. Bu fay pürüzlerinden odağa yakın olanı derinde diğer ikisi de sığda yerleşmiştir. Kırılmanın genel olarak tek taraflı KD yönünde ya da Türkiye'ye doğru ilerlediği görülmektedir ki bu durum Türkiye'de bu depremin kuvvetlice hissedilmesini de açıklamaktadır (Şekil 7 ve 9). Sığdaki pürüzler  $45 \times 12$  km<sup>2</sup>'lik bir faylanma alanını örtmektedir. Sığdaki pürüzlerden odağa yakın olanının daha büyük bir moment serbestlenmesine neden olduğu anlaşılmaktadır. Faylanma alanının GB doğrultusundaki köşesinde yerleşmiş göreceli olarak küçük bir kayma alanı 0.7 m'lik en büyük kayma genliği ile göze çarpmaktadır. Ters çözüm sonucunda elde edilen fay parçası kayma vektörleri deprem kırılmasının ağırlıklı olarak sağ-yanal faylanma sonucu geliştiğini önermektedir. Göreceli olarak küçük bir düşey faylanma da göze çarpmaktadır.

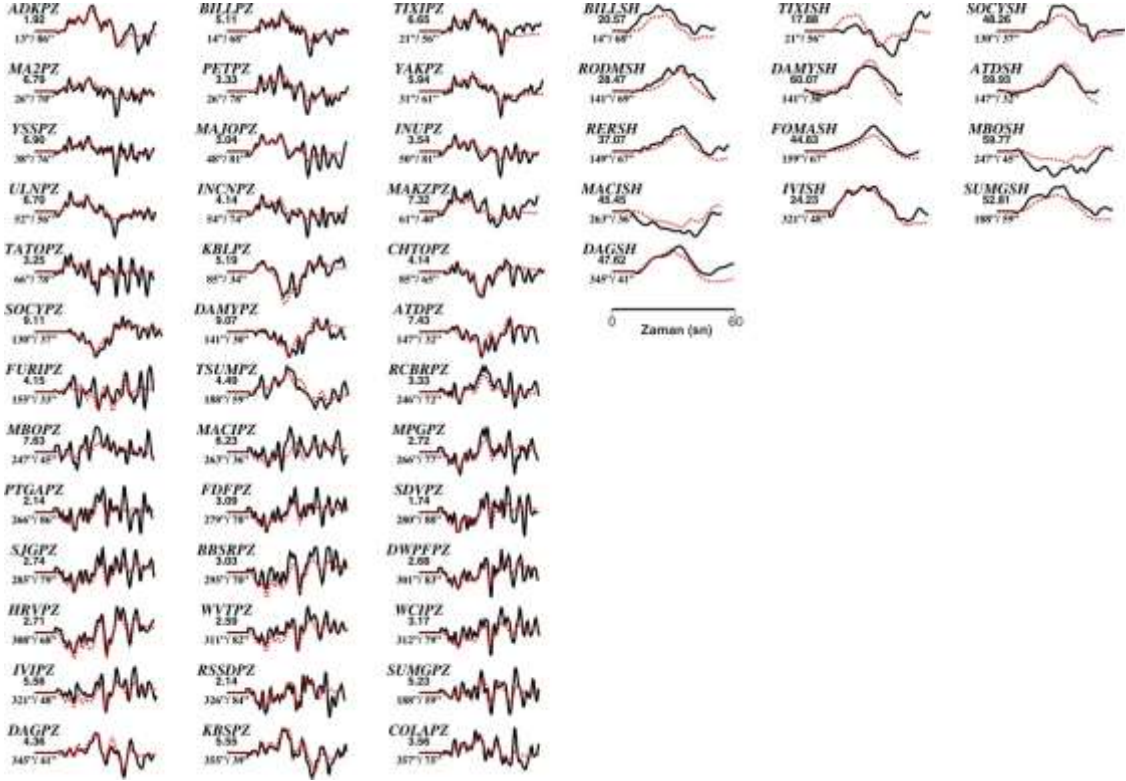
## 24 MAYIS 2014 KUZEY EGE DENİZİ DEPREMİ

Moment =  $0.2180E+20$ (Nm),  $M_w = 6.89$

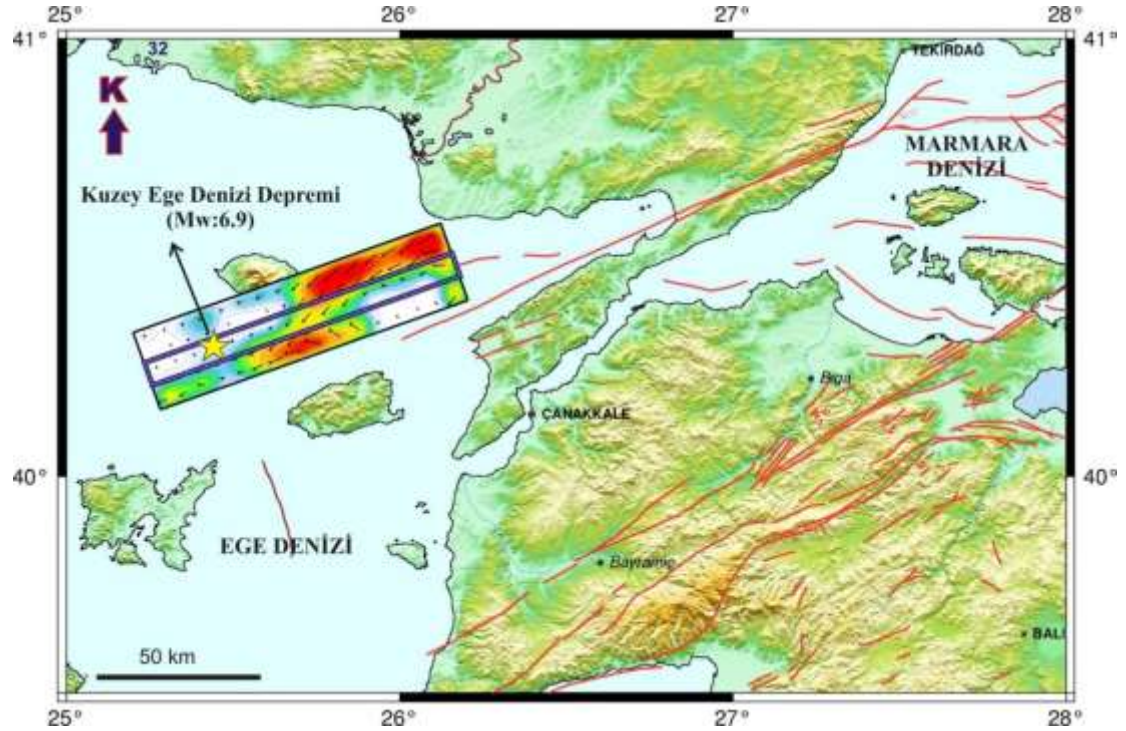
(Doğrultu,Eğim,Kayma,h) = ( 72.0, 77.0, -167.7, 10.0)



Şekil 7. a) 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depremi için elde edilen odak mekanizma çözümü, b) moment serbestlenme fonksiyonu ve c) kayma dağılım modeli. Bu çözüm Tablo 3'deki Model D4 denemesinin sonucunda elde edilmiştir.



Şekil 8. 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depremi için hesaplanan (yapay) dalga şekilleri (kırmızı) ile gözlenen (siyah) dalga şekillerinin karşılaştırılması. Model D4 denemesi için yapılan ters çözüm denemeleri sonucu ortaya çıkan kayma dağılım modeline ait dalga şekilleridir. İstasyon ismi altındaki rakamlar mikron cinsinden pikten pike dalga genliklerini ve onların altındaki rakamlarda sırasıyla istasyon azimut ve uzaklıklarını göstermektedir.



Şekil 9. 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depremi (sarı yıldız) kayma dağılımı konturlarının harita projeksiyonu üzerinde gösterimi. Lacivert çizgi fay düzleminin gerçek iz düşümünü göstermektedir. Kayma dağılımının daha iyi gösterilmesi için genişletilerek dikdörtgen şeklinde çizilmiştir. Kayma dağılımı için konturlar 0.12 m aralıklarla çizilmiştir.

Kuzey Ege Denizi depremi çok sayıda araştırmacının dikkatini çekmiş ve dolayısıyla farklı yönleriyle araştırılmıştır [22, 23, 36-38]. Kiratzi vd. [23] tarafından önerilen sonlu-fay modeli ile bu çalışmada elde edilen sonlu-fay modeli birbiriyle bazı farklılıklar göstermesine rağmen benzemektedir. Kiratzi vd. [23] sığda ve derinde yerleşmiş pürüzler önermektedir. Pürüzler bu çalışmadakine benzer konumlarda yerleşmiştir. Fakat Kiratzi vd. [23] biri sığ ve biri derinde olmak üzere iki adet pürüzün yenilmesi sonucu depremin meydana geldiğini öne sürmektedirler.

Sodoudi vd. [39] Kuzey Ege bölgesinde kabuk kalınlığının 25-28 km arasında değiştiğini önermektedir. Karabulut vd. [3] tarafından verilen ve bu çalışmada da kullanılan kabuksal hız modeline göre Moho süreksizliğine karşılık gelebilecek sismik hız değişimi 30 km derinlikte yer almaktadır. Benzer bir Moho derinliği (29 km) Görgün ve Görgün [36]'da görülebilir. Gerek 6 Temmuz 2003 Saroz depremi artçı deprem etkinliği [3] gerekse bu çalışmanın da konusunu oluşturan 2014 Kuzey Ege depreminin artçı deprem etkinliği [36, 38], artçı depremlerin yoğun olarak 20 km derinliğe kadar oluştuklarına işaret etmektedir. Bu durumda sismojenik zon kalınlığı 20 km civarındadır. Konca vd. [38] tarafından elde edilen kayma dağılım modeli 3 fay pürüzüne işaret etmesine rağmen kırılmanın ilk 10 km derinlikte gerçekleştiğine işaret etmektedir. Bununla birlikte bu çalışmada elde edilen kayma dağılım modeli odaktan uzakta yer alan iki pürüzün ilk 10 km'lik kabuk kalınlığını kırmasına rağmen odağa yakın pürüzün kırılmasının 10-20 km derinliği arasında gerçekleştiğine ve kırılan fay uzunluğu boyunca kısmen de olsa tüm sismojenik kabuğu kırdığına işaret etmektedir.

## 6. Sonuçlar

Bu çalışmada 24 Mayıs 2014 Kuzey Ege Denizi depreminin sonlu-fay kırılma özellikleri telesismik P ve SH dalga şekilleri ters çözümü ile ortaya konulmuştur. Elde edilen sonlu-fay kayma dağılım modeli 2014 Kuzey Ege depreminin, üç fay pürüzünün yenilmesi sonucu meydana geldiğini ve kırılmanın KD yönünde yani Türkiye'ye doğru tek taraflı ilerlediğini önermiştir. Faylanma alanı üzerinde odağın eğim yukarı ve aşağısında sırasıyla sığ ve derinde yerleşen pürüzlerin en büyük kayma değerleri birbirlerine yakındır (sırasıyla 1.2 m ve 1.1 m). Elde edilen sonlu fay modeli diğer araştırmacıların sonlu-fay modelleriyle önemli benzerlikler içermesine rağmen bazı farklılıklar da içermektedir. Kayma dağılım modeli  $2.180 \times 10^{19}$  Nm'lik ( $M_w=6.9$ ) bir sismik moment serbestlenmesine karşılık gelmektedir.

## Yazarların Katkısı

Çalışmada her iki yazarda 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] AFAD, 2014. 24 Mayıs 2014 Gökçeada Açıkları (Ege Denizi) Depremi ( $M_w=6.5$ ) Basın Bülteni.
- [2] Altınok Y., Alpar B., Yaltırak C. 2003. Tsunami of Şarkoy-Mürefte 1912 Earthquake: Western Marmara, Turkey. In *Submarine Landslides and Tsunamis* (pp. 33-42). Springer, Dordrecht.
- [3] Karabulut H., Roumelioti Z., Benetatos C., Mutlu A.K., Özalaybey S., Aktar M., Kiratzi A. 2006. A source study of the 6 July 2003 ( $M_w 5.7$ ) earthquake sequence in the Gulf of Saros (Northern Aegean Sea): seismological evidence for the western continuation of the Ganos fault. *Tectonophysics*, 412 (3-4): 195-216.
- [4] KRDAE, 2014. Ulusal Deprem İzleme Merkezi 24 Mayıs 2014 Gökçeada Açıkları Ege Denizi Depremi, Basın Bülteni.

- [5] McClusky S., Balassanian S., Barka A., Demir C., Ergintav S., Georgiev I., Gurkan O., Hamburger M., Hurst K., Kahle H., Kastens K., Kekelidze G., King R., Kotzev V., Lenk O., Mahmoud S., Mishin A., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanlı I., Seeger H., Tealeb A., Toksoz M.N., Veis G. 2000. Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105: 5695-5719.
- [6] Barka A.A., Kadinsky-Cade K. 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. *Tectonics*, 7 (3): 663-684.
- [7] Emre Ö., Duman T.Y., Olgun Ş., Elmacı H., Özalp S. 2012. 1: 250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [8] Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Elmacı H., Olgun Ş., Şaroğlu F. 2013. Scale 1/1.250.000 Turkey Live Fault Map. General Directorate of Mineral Reserach and Exploration special publications series, Ankara, Turkey.
- [9] Taymaz T., Kasahara J., Hirn A., Sato T. 2001. Investigations of micro-earthquake activity within the Sea of Marmara and surrounding regions by using ocean bottom seismometers (OBS) and land seismographs: initial results. In Proc Symposium Seismotectonics of the north-western Anatolia-Aegean and recent Turkish earthquakes, Istanbul, 42-51.
- [10] Jolivet L., Faccenna C., Huet B., Labrousse L., Pourhiet L., Lacombe O., Lecomte E., Burov E., Denele Y., Brun J.P., Philippon M., Paul A., Salaün G., Karabulut H., Piromallo C., Monie P., Gueydan F., Okay A., Oberhansli R., Pourteau A., Auiger R., Gadenne L., Driussi O. 2012. Aegan Tectonivs: Strain localisation, slab tearing and trench retreat. *Tectonophysics*, Tecto-125491, 33.
- [11] Ambraseys N.N. 2001. Reassessment of earthquakes, 1900-1999, in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Geophysical Journal International*, 145: 471-485.
- [12] Ambraseys N.N. 2009. Earthquakes in the eastern Mediterranean and the Middle East: a multidisciplinary study of 2,000 years of seismicity. Cambridge University Press.
- [13] Nalbant S.S., Hubert A., King G.C.P. 1998. Stress coupling between earthquakes in northwest Turkey and the north Aegean Sea. *Journal of Geophysical Research*, 103: 24 469-24 486.
- [14] Caputo R., Chatzipetors A., Pavlides S., Sboras S. 2012. The Greek Database of Siesmogenic Sources (GreDaSS): state-of-the-art for northern Greece. *Annals of Geophysics*, 55: 5. Doi: 10.4401/ag-5168.
- [15] Le Pichon X., Kreemer C. 2010. The Miocene-to-present kinematic evolution of the Eastern Mediterranean and Middle East and its implications for dynamics. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 38: 323-351.
- [16] Nyst M., Thatche, W. 2004. New constraints on the active tectonic deformation of the Aegean. *Journal of Geophysical Research*, 109, B11406, doi:10.1029/2003JB002830.
- [17] Reilinger R., McClusky S., Paradissis D., Ergintav S., Vernant P. 2010. Geodetic constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone. *Tectonophysics*, 488 (1-4): 22-30.
- [18] Koral H., Öztürk H., Haniççi N. 2009. Tectonically induced coastal uplift mechanism of Gökçeada Island, northern Aegean Sea, Turkey. *Quaternary International*, 197 (1-2): 43-54.
- [19] Horasan G., Gülen L., Pinar A., Kalafat D., Özel N., Kuleli H.S., Isikara A.M. 2002. Lithospheric structure of the Marmara and Aegean regions, western Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92 (1): 322-329.
- [20] Kürçer A., Yalçın H., Gülen L., Kalafat D. 2014. 8 January 2013 Mw = 5.7 North Aegean Sea earthquake and its seismotectonic significance. *Geodinamica Acta*, DOI: 10.1080/09853111.2014.957503.
- [21] Kalafat D., Kekovali K., Pinar A. 2015. Moment tensor inversion of the January 8, 2013 (Mw= 5.7) and May 24, 2014 (Mw 6.8) North Aegean Earthquakes: seismicity and active tectonics of the North Aegean Region. In EGU General Assembly Conference Abstracts.
- [22] Saltogianni V., Gianniou M., Taymaz T., Yolsal-Çevikbilen S., Stiros S. 2015. Fault slip source models for the 2014 M 6.9 Samothraki-Gökçeada Earthquake (North Aegean Trough) combining geodetic and seismological observations. *Journal of Geophysical Research Solid Earth*, 120: 8610-8622.



- [23] Kiratzi A., Tsakiroudi E., Benetatos C., Karakaisis G. 2016. The 24 May 2014 (Mw6. 8) earthquake (North Aegean Trough): spatiotemporal evolution, source and slip model from teleseismic data. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 95: 85-100.
- [24] Lay T., Wallace T.C. 1995. *Modern Global Seismology*. Vol. 58, Elsevier.
- [25] Udias A., Buforn E. 1996. Source mechanism of earthquakes from Seismic waves. Third Workshop on 3D modelling of Seismic waves generation propagation and their inversion, Trieste, Italy.
- [26] Udias A. 1999. *Principles of Seismology*. Cambridge University Press, Cambridge, ISBN 0-521 62434-7.
- [27] Utkucu M., Pınar A., Alptekin Ö. 2002. A detailed slip model for the 1995, October 1, Dinar, Turkey, earthquake (Ms= 6.1) determined from inversion of teleseismic P and SH waveforms. *Geophysical Journal International*, 151 (1): 184-195.
- [28] Hartzell S.H., Heaton T.H. 1983. Inversion of strong-ground motion and teleseismic wave form data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 73: 1553-1583.
- [29] Kikuchi M., Kanamori H. 1991. Inversion of complex body wave-III. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 81: 2335-2350.
- [30] Yoshida S. 1992. Waveform inversion for rupture process using a non-flat seafloor model: application to 1986 Andean Islands and 1985 Chile earthquake. *Tectonophysics*, 211: 45-59.
- [31] Yoshida S., Kokhetsu K., Shibazaki B., Sagiya T., Kato T., Yoshida Y. 1996. Joint Inversion Of Near- And Far-Field Waveforms And Geodetic Data For Rupture Process Of The 1995 Kobe Earthquake. *Journal of Physics of the Earth*, 44: 437-454.
- [32] Ide S., Takeo M. 1996. Determination of constitutive relations of fault slip based on seismic wave analysis. *Journal of Geophysical Research*, 102: 27379-27391.
- [33] Yagi Y., Mikumo T., Pacheco J., Reyes G. 2004. Source rupture process of the Tecoman, Colima, Mexico earthquake of 22 January 2003, determined by joint inversion of teleseismic body-wave and near-source data. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 94 (5): 1795-1807.
- [34] Langston C.A., Helmberger D.V. 1975. A procedure for modelling shallow dislocation sources. *Geophysical Journal International*, 42 (1): 117-130.
- [35] Karabulut H., Bouin M.-P., Bouchon M., Dietrich M., Cornou C., Aktar M. 2002. The seismicity in the Eastern Marmara Sea after the 17 August 1999 Izmit Earthquake. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92: 387-393.
- [36] Görgün E., Görgün B. 2015. Seismicity of the 24 May 2014 Mw 7.0 Aegean Sea earthquake sequence along the North Aegean trough. *Journal of Asian Earth Sciences*, 111: 459-469.
- [37] Evangelidis C.P. 2015. Imaging supershear rupture for the 2014 Mw 6.9 Northern Aegean earthquake by backprojection of strong motion waveforms. *Geophysical Research Letters*, 42 (2): 307-315.
- [38] Konca A.O., Cetin S., Karabulut H., Reilinger R., Dogan U., Ergintav S., Cakir Z., Tari E. 2018. The 2014, M W6. 9 North Aegean earthquake: seismic and geodetic evidence for coseismic slip on persistent asperities. *Geophysical Journal International*, 213 (2): 1113-1120.
- [39] Sodoudi F., Kind R., Hatzfeld D., Priestley K., Hanka W., Wylegalla K., Stavrakakis G., Vafidis A., Harjes H-P., Bohnhoff M. 2006. Lithospheric structure of the Aegean obtained from P and S receiver functions, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111: B12307.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Kum Zeminlerde İlave Düşey Gerilmenin Derinlikle Değişiminin Farklı Yöntemlerle İncelenmesi**

Mehmet Fatih YAZICI<sup>1\*</sup>, Recep AKAN<sup>2</sup>, Sıddıka Nilay KESKİN<sup>3</sup>

*Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta*  
(ORCID: 0000-0002-3557-7817) (ORCID: 0000-0002-9277-1659) (ORCID: 0000-0002-0367-943X)

---

### **Öz**

Bu çalışmada, yüklü alan boyutunun ve zeminin içsel sürtünme açısının zeminde meydana gelecek gerilme artışlarına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla farklı boyutlara sahip temeller farklı içsel sürtünme açısına sahip kum zemin üzerine oturtularak hem iki boyutlu bir sonlu elemanlar yazılımı olan Plaxis 2D ile gerçekleştirilen analizlerle hem de zemin mekaniğinde yaygın bir şekilde kullanılan analitik çözümlerle zeminde meydana gelen ilave düşey gerilmeler belirlenmiştir. Temel boyutu küçüldükçe sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçlar, zemin mekaniğinde kullanılan analitik çözümlerden elde edilen sonuçlara yaklaşmaktadır. Ayrıca zeminin içsel sürtünme açısındaki artış ile temelin köşe noktası altında meydana gelen ilave düşey gerilmeler artmakta, temelin orta noktası altında ise belli bir derinliğe kadar azalmaktadır. Genel olarak yaklaşık yöntemden elde edilen sonuçlar, sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçlar ile daha uyumlu çıkmış ve küçük temel boyutlarında bu uyum artmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** İlave düşey gerilme, sonlu elemanlar yöntemi, temel boyutları, içsel sürtünme açısı.

---

## **Investigation the Change of Additional Vertical Stress by Depth in Sand Soil by Different Methods**

---

### **Abstract**

In this study, the effect of the loaded area size and the internal friction angle of the soil on the stress increases occurring in the ground was investigated. For this purpose, the rectangular foundations that have different dimensions rested on a sand soil which has different internal friction angles analyzed by Plaxis 2D and conventional methods. After, additional vertical stress distribution due to an external load in soil was analysed and the results obtained from conventional methods and finite element method were compared. As a result, the approximate method results generally have the best agreement with finite element method results and while the length of foundation gets shorter this agreement gets better. Furthermore, additional vertical stress values increase with increase of internal friction angle of soil below the corner of foundation. Below the middle of foundation, additional vertical stress values increase with increase of internal friction angle of soil up to a certain depth and after this depth additional vertical stress decreases.

**Keywords:** Additional vertical stress, finite elements method, foundation dimensions, internal friction angle.

---

### **1. Giriş**

Geoteknik mühendisliğinde zeminlerin sıkışabilirliği ve zemin iksa yapıları üzerine etkiyen yatay toprak basınçları gibi problemleri analiz edebilmek için zemin profilinde belirli bir en kesitteki gerilme dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Zeminlerde meydana gelen ilave gerilme artışlarının belirlenmesi için çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemler genellikle zemini elastik, izotrop, homojen ve yarı sonsuz ortam olarak kabul etmektedir. Elastik teoriden faydalanılarak oluşturulan bu yöntemler, zemine ait parametreleri dikkate almamaktadır. Buna karşılık bir dış yükleme nedeniyle zeminde meydana gelen

---

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

Geliş Tarihi: 23.10.2019, Kabul Tarihi: 08.05.2020

gerilme artışı; yüklü alanın boyutlarına, zeminin özelliklerine ve uygulanan yükün büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir [1].

Literatürde genellikle zeminin sıklığına ve uygulanan dış yükün büyüklüğüne bağlı olarak zemin içerisinde meydana gelen gerilme dağılımının ölçülmesi için model deneyler oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar, sonlu elemanlar yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile ve Boussinesq [2] ve Westergaard [3] tarafından önerilen yöntemlerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Çiçek vd. [1], bir kum yatağı üzerindeki üniform yüklü bir şerit temel in merkezi altında meydana gelen düşey gerilme değerlerini veren bir laboratuvar model deneyi geliştirmişler ve orta sıkı kumdaki düşey gerilme dağılımını küçük basınç sensörleri kullanarak ölçmüşlerdir. Ayrıca modele ait düşey gerilme artışlarını bir sonlu elemanlar yazılımı yardımı ile ve geleneksel yöntemlerle belirleyerek sonuçları karşılaştırmışlardır. Araştırmacılar, özellikle hesap derinliğinin temel genişliğine oranının 1'den küçük olduğu derinliklerde deneysel sonuçların Westergaard [3] yönteminden elde edilen sonuçlara çok yakın olduğunu, buna karşılık nihai taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra deneysel sonuçların Boussinesq [2] yönteminden elde edilenlere daha yakın olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca sonlu elemanlar modelinden elde edilen gerilmelerin, ölçülen ve geleneksel yöntemlerden elde edilen gerilmelerden daha büyük değerlere sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Laman ve Keskin [4], kare temel in altında kumlu bir zemin içerisinde oluşacak ilave düşey gerilme artışlarını farklı iki sıklığa sahip kum zemin için incelemişlerdir. Bu amaçla bir model deney oluşturmuşlar ve farklı sıklığa sahip iki kum zemin içerisinde farklı yükleme kademeleri altında ve belirli derinliklerde oluşan ilave düşey gerilmeleri belirlemişlerdir. Aynı modele ait gerilme artışlarını sonlu elemanlar yazılımı ve geleneksel yöntemler ile de hesaplamışlardır. Elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında Hardening Soil ve Mohr Coulomb zemin modelleri ile yapılan sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Bazı yükleme durumlarında Boussinesq [2] tarafından önerilen yöntem ile bulunan sonuçların yakın olduğu ve Westergaard [3] tarafından önerilen yöntem ile bulunan sonuçların diğer yöntemlere nispeten daha küçük sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca araştırmacılar, yaptıkları deneyler sonucunda, aynı yükleme altında aynı hesap derinliğinde bulunan ilave düşey gerilmelerin, zeminin sıklık değerinin artması ile arttığını gözlemlemişlerdir.

Keskin vd. [5], kumlu bir zemin üzerindeki üniform yüklü kare bir temel in merkezi altında meydana gelen düşey gerilme değerlerini deneysel ve nümerik olarak belirlemişler ve elde ettikleri sonuçları Boussinesq [2] yönteminden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak sonlu elemanlar yöntemi ile teorik yöntemlerden elde edilen sonuçların, özellikle temel genişliğinin iki katına eşit olan derinlik içerisinde uyumlu olduğu ve Boussinesq [2] yönteminin ise zemin yüzeyine uygulanan gerilmenin büyüklüğünün %10'una düştüğü derinlik içerisinde hem deneysel hem de sonlu elemanlar yöntemi sonuçlarıyla uyum içerisinde olduğu ifade edilmiştir.

Birçok araştırmacı üniform yüklü dikdörtgen bir alan altında meydana gelen gerilmelerin hesaplanabilmesi için ampirik eşitlikler önermişlerdir [6-8].

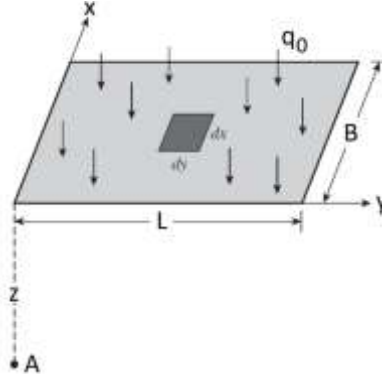
Bu çalışma kapsamında belli bir üniform yayılı yük altında meydana gelen ilave düşey gerilmeye zemin özelliklerinin ve temel boyutlarının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 1mx1m, 4mx1m ve 10mx1m boyutlarındaki temeller, içsel sürtünme açıları 10°, 20°, 30° ve 40° olan kum zemin üzerine oturtularak zemin içerisindeki ilave düşey gerilmelerin değişimleri araştırılmıştır. İlave düşey gerilme hesapları, iki boyutlu bir sonlu elemanlar yazılımı olan Plaxis 2D ile ve geleneksel zemin mekaniğinde yaygın bir şekilde kullanılan Boussinesq [2], Westergaard [3] yöntemi ve yaklaşık yöntem ile gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Literatürde yüklü bir alan altındaki gerilme artışlarının hesabı için önerilen birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında kullanılacak temeller altındaki gerilme artışlarının hesabında kullanılmaya en uygun yöntemler üniform dikdörtgen yüklü ve üniform şerit yüklü bir alan altında gerilme hesabı yapan yöntemlerdir. Şerit yükleme altında meydana gelen gerilme artışlarının hesabı için kullanılan yöntemlerde "Sonlu genişlik ve sonsuz uzunluk ( $L/B=\infty$ )" tarifi kullanılmaktadır [9]. Ayrıca şerit veya dikdörtgen yüklü alan altındaki gerilme artışlarının hesabı için kullanılan yöntemlerde  $L/B$  oranı için bir sınırdan net olarak bahsedilmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada tüm temel durumları için üniform dikdörtgen yüklü alan altındaki gerilme artışını hesaplayan yöntemler dikkate alınmıştır.

## 2.1. Boussinesq yöntemi

İlave düşey gerilmelerin belirlenmesinde yaygın bir şekilde kullanılan ve elastisite teorisi kullanılarak oluşturulan pratik çözümlerden birisi Boussinesq [2] yöntemidir. Bu yöntem, Şekil 1'de gösterildiği gibi L uzunluğuna ve B genişliğine sahip esnek ve üniform yüklü dikdörtgen bir alanın köşesi altında herhangi bir A noktasındaki düşey gerilmenin hesaplanmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 1. Esnek ve üniform yüklü dikdörtgen alan altında gerilmenin belirlenmesi [10]

Bu yöntemde göre üniform yüklü dikdörtgen bir alan altında herhangi bir A noktasındaki toplam gerilme artışı  $\Delta\sigma$ , Eşitlik (1)'den hesaplanmaktadır.

$$\Delta\sigma = q_0 * I \quad (1)$$

$$I = \frac{1}{4\pi} \left( \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1} * \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} + \tan^{-1} \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 - m^2n^2 + 1} \right) \quad (2)$$

$$m = \frac{B}{z} \quad (3)$$

$$n = \frac{L}{z} \quad (4)$$

Eşitlik (2)'deki ters trigonometrik fonksiyon içerisindeki ifadenin birimi radyandır ve eğer bu ifade negatif çıkarsa bu terime  $\pi$  eklenmelidir. Burada  $q_0$ , net taban basıncını temsil etmektedir.

## 2.2. Westergaard yöntemi

Westergaard [3], üniform yüklü esnek bir dikdörtgen alan altındaki herhangi bir noktada meydana gelen ilave düşey gerilmenin hesaplanabilmesi için, Boussinesq [2] tarafından önerilen yöntemi modifiye ederek zeminin poisson oranını da dikkate alan Eşitlik (5)'i önermiştir [9].

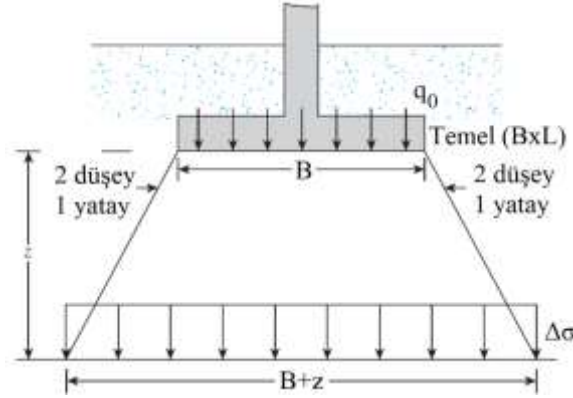
$$\Delta\sigma = \frac{q_0}{2\pi} \left( \cot^{-1} \sqrt{\eta^2 \left( \frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} \right) + \eta^4 \left( \frac{1}{m^2n^2} \right)} \right) \quad (5)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{1 - 2\mu_s}{2 - 2\mu_s}} \quad (6)$$

Eşitlik (5)'teki m ve n değerleri de Eşitlik (3) ve Eşitlik (4)'ten hesaplanmaktadır. Burada  $\mu_s$ , zeminin poisson oranıdır.

### 2.3. Yaklaşık yöntem (2:1 yöntem)

Geoteknik mühendisleri, inşa edilen bir yapı tarafından zeminde meydana gelecek ilave düşey gerilmenin derinlikle değişimini belirlemek için genellikle yaklaşık yöntemi kullanırlar [10]. Bu yöntem kullanılarak z derinliğindeki ilave düşey gerilme hesabı Şekil 2’de gösterilmiş ve hesapta kullanılacak bağıntı Eşitlik (7)’de sunulmuştur.



Şekil 2. Bir temel altındaki gerilme artışlarının 2:1 yöntem (yaklaşık yöntem) ile hesabı [10]

$$\Delta\sigma = \frac{q_0 * B * L}{(B+z) * (L+z)} \quad (7)$$

### 2.4. Sonlu elemanlar yöntemi

Yapılan çalışmada, zeminin içsel sürtünme açısındaki ve temel boyutlarındaki değişimin zemin içerisindeki gerilme dağılımı üzerine etkilerini araştırmak için bir sonlu elemanlar yazılımı olan Plaxis 2D kullanılmıştır. Kurulan modellerde zemin davranışı, derinlikle artan rijitlik değerlerini dikkate alması ile gerçek zemin davranışına daha yakın bir model oluşturulmasına yardımcı olduğu için Hardening Soil modeli olarak seçilmiş ve analizler düzlemsel şekil değiştirme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bu modelde kullanılan zemin parametreleri Tablo 1’de verilmiştir. Analizlerde dört farklı içsel sürtünme açısı için ( $\phi=10^0, 20^0, 30^0$  ve  $40^0$ ) zemin modeli oluşturulmuş ve her bir durum için drenajlı analizler kullanılmıştır.

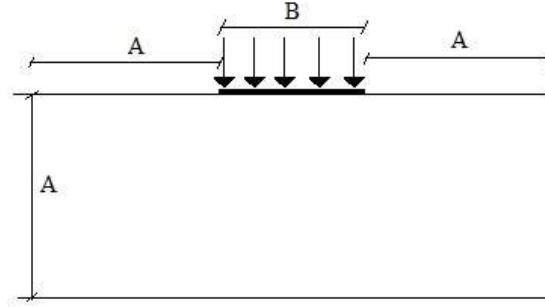
Tablo 1. Zemin elemanının modellenmesinde kullanılan girdi parametreleri

Parametre	Sembol	Birim	Değeri
Sekant rijitlik	$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	30000
Tanjant rijitlik	$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	30000
Yükleme-boşaltma rijitliği	$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	90000
Elastisite modülü değişim katsayısı	m	-	0.5
Poisson oranı	$\mu_{ur}$	-	0.2
Zeminin doygun olmayan birim hacim ağırlığı	$\gamma_n$	kN/m <sup>3</sup>	18

Girdi parametrelerinden biri olan dilatansi açısı ( $\phi$ ) Eşitlik (8)’den hesaplanmıştır [11]:

$$\phi = \phi^o - 30^o \quad (8)$$

Yüzeysel temeller için Brinkgreve’in [12] Şekil 3’teki önerisi doğrultusunda, analizlerdeki model sınırları, yatayda toplam 90 m ve düşeyde toplam 40 m olacak şekilde seçilmiştir.



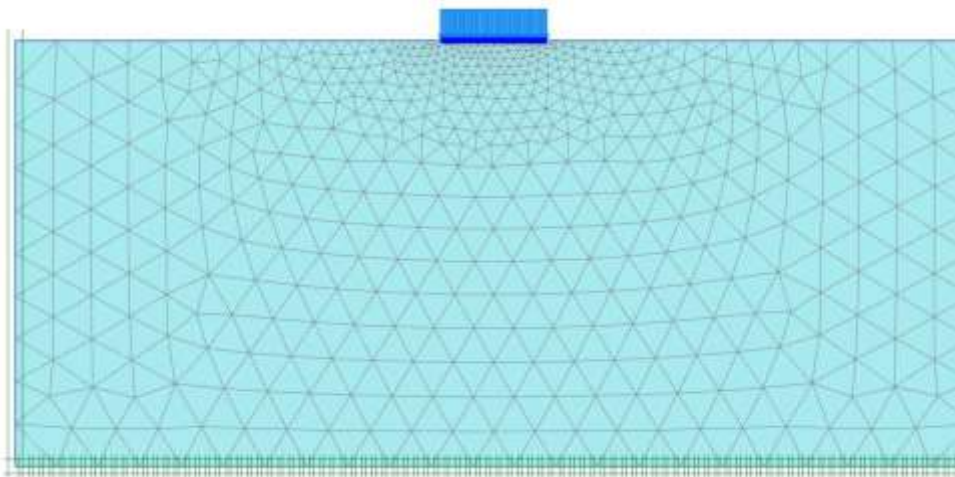
Stabilite için;  $A \geq 2B$   
 Drenajlı deformasyon için;  $A \geq 3B$   
 Drenajsız deformasyon için;  $A \geq 4B$   
**Şekil 3.** Yüzeysel temellerde model sınırları [11]

Yapılan analizlerde dikdörtgen yüklü alanın boyutları ve ilave düşey gerilme artışı arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek için  $1m \times 1m$ ,  $4m \times 1m$  ve  $10m \times 1m$  olmak üzere üç farklı temel boyutunda çalışılmıştır. Temel, levha eleman olarak modellenmiş ve bu eleman üzerine tüm durumlar için üniform  $10 \text{ kPa}$ 'lık yük etkilmiştir. Temel malzemesine ait girdi parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Temelin modellenmesinde kullanılan girdi parametreleri

Parametre	Sembol	Birim	Değeri
Malzeme türü	-	-	Elastik, izotrop
Normal rijitlik	EA	kN/m	19200000
Eğilme rijitliği	EI	kNm <sup>2</sup> /m	576000
Ağırlık	w	kN/m/m	0
Poisson oranı	$\mu$	-	0

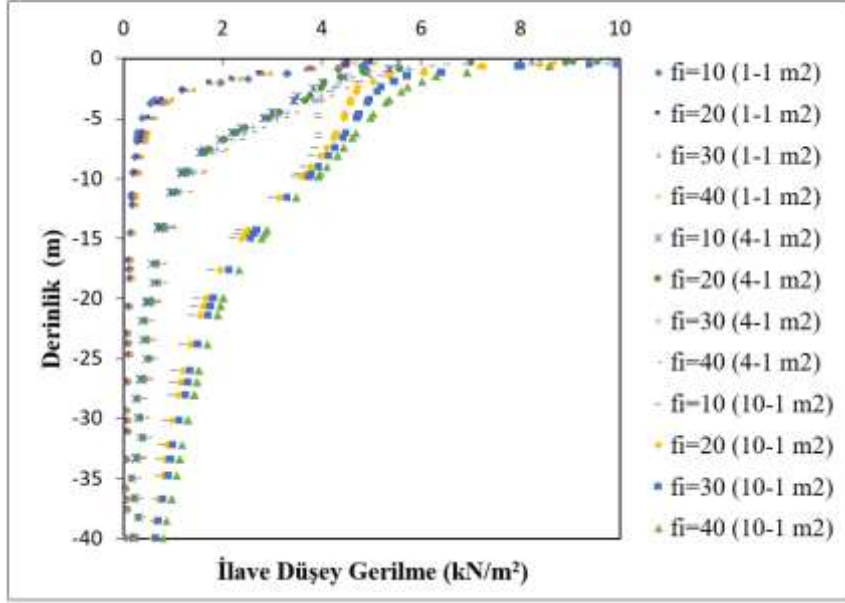
Oluşturulan modelde sık üçgensel ağ(mesh) kullanılmıştır (Şekil 4). Daha sonra aşamalı inşaat analizi kullanılarak hesaplamalar yapılmış, temelin köşe noktası ve orta noktası altında gerilmenin derinlik ile değişimi belirlenmiştir.



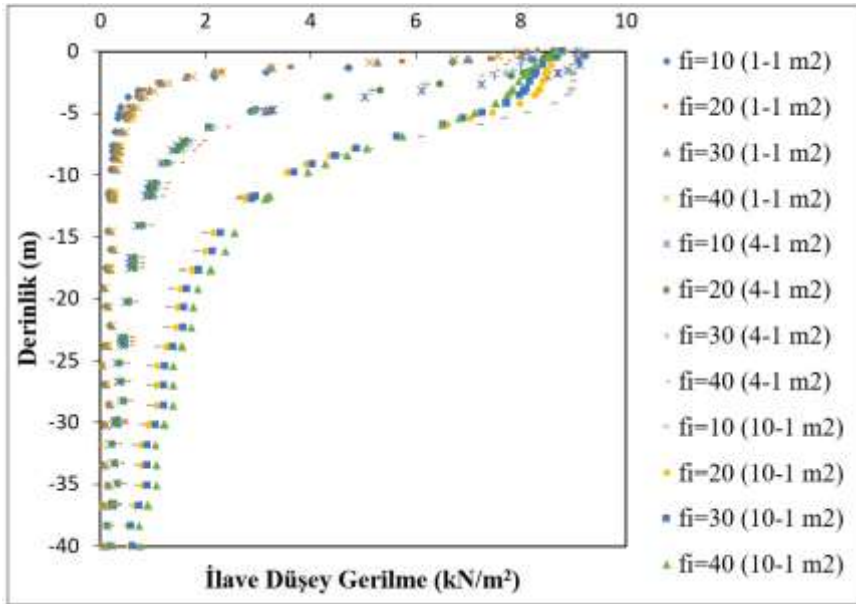
**Şekil 4.** Zemin, temel ve dış yükün Plaxis 2D modeli

### 3. Bulgular ve Tartışma

Farklı boyutlara sahip temeller altında farklı içsel sürtünme açısına sahip zeminler içerisinde ilave düşey gerilmenin derinlikle değişiminin sonlu elemanlar analizi ile incelenmesi sonucunda temelin köşe ve orta noktası altında elde edilen değerler sırasıyla Şekil (5) ve Şekil (6)'te verilmiştir.



Şekil 5. Sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen temelin köşesi altındaki ilave düşey gerilmenin derinlikle değişimi

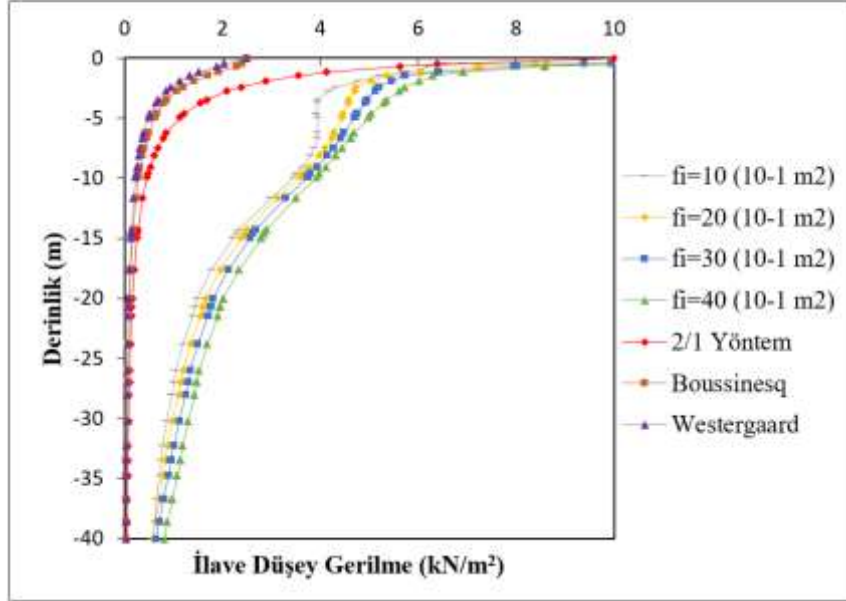


Şekil 6. Sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen temelin orta noktası altındaki ilave düşey gerilmenin derinlikle değişimi

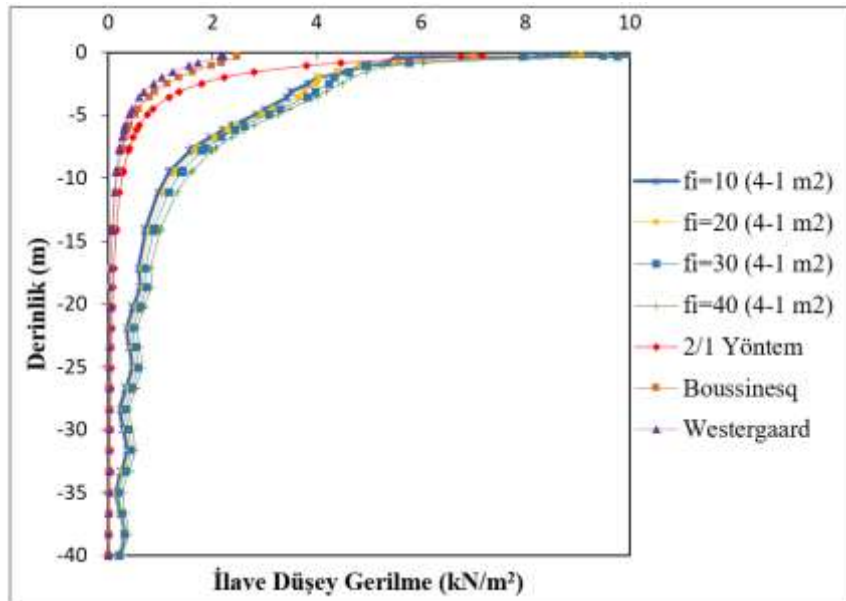
Sonlu elemanlar yönteminden elde edilen ve Şekil (5) ve Şekil (6)'da verilen sonuçlar incelendiğinde temel boyutunun artması ile ilave düşey gerilmelerin arttığı görülmektedir. Ayrıca temel boyutu büyüdükçe zeminin içsel sürtünme açısının değişiminin ilave düşey gerilme üzerindeki etkisi daha belirgin olmaya başlamaktadır. Analizlerde temelde konveks biçimli şekil değiştirme davranışı meydana geldiği için, zeminin içsel sürtünme açısındaki azalma sonucu temelin orta noktası altındaki deformasyonlar artmakta ve bunun sonucunda temelin konveksliği artmaktadır. Bu davranışın bir sonucu olarak temelin köşe noktası altında herhangi bir derinlikteki zemin elemanında meydana gelen ilave düşey gerilmeler, içsel sürtünme açısındaki azalma sonucu azalmaktadır. Öte yandan temelin orta noktası için Şekil (6) incelendiğinde, belirli bir derinliğe kadar içsel sürtünme açısında meydana gelen artışın ilave düşey gerilme üzerinde azaltıcı etkiye sahip olduğu, bu derinlikten sonra ise tam tersi durumun olduğu görülmektedir. Bu davranışın dönüm noktasının 10-1 m<sup>2</sup> temel için temel uzunluğunun (L) 1 katına, 4-1 m<sup>2</sup> temel için temel uzunluğunun 1,25 katına ve 1-1 m<sup>2</sup> temel için temel uzunluğunun 2,5 katına eşit olduğu derinlik içerisinde meydana geldiği gözlemlenmiştir. Temel

uzunluğunun 1~2.5 katına eşit olan ve deformasyonların daha yüksek olduğu bu derinlik boyunca, temelin orta noktası ve köşe noktası altında ilave gerilme dağılımı üzerine içsel sürtünme açısının farklı etki yapmasına temelin elastik davranışının neden olduğu düşünülmektedir. Genel olarak zeminin içsel sürtünme açısının artması ile temel altındaki zeminin dayanımı artmakta ve bunun bir sonucu olarak zemin, aynı yükleme altında daha düşük içsel sürtünme açılarında göre daha az deformasyona maruz kalmaktadır. Bu sebeple temelin orta noktası altında deformasyonların yoğunlaştığı ve nispeten daha büyük değerlere sahip olduğu derinlik içerisinde ( $L \sim 2.5L$ ) içsel sürtünme açısının artması ile gerilmeler azalmaktadır.

Temelin köşe ve orta noktası altında meydana gelen ilave düşey gerilme artışlarının teorik ve nümerik sonuçlarının karşılaştırmasını veren grafikler aşağıda sunulmuştur (Şekil (7), Şekil (8), Şekil (9), Şekil (10), Şekil (11), Şekil (12)).

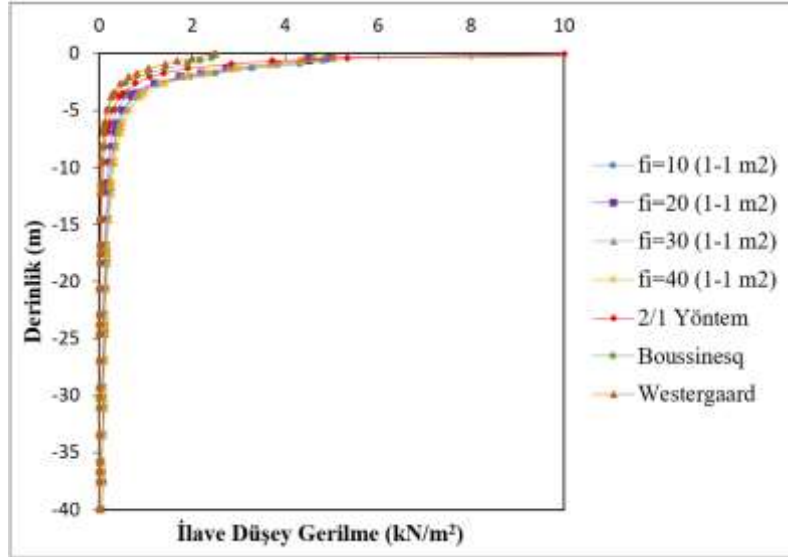


Şekil 7. İlave düşey gerilmenin 10-1 m<sup>2</sup> alana sahip temelin köşe noktası altındaki dağılımının teorik ve nümerik analizlerden elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması

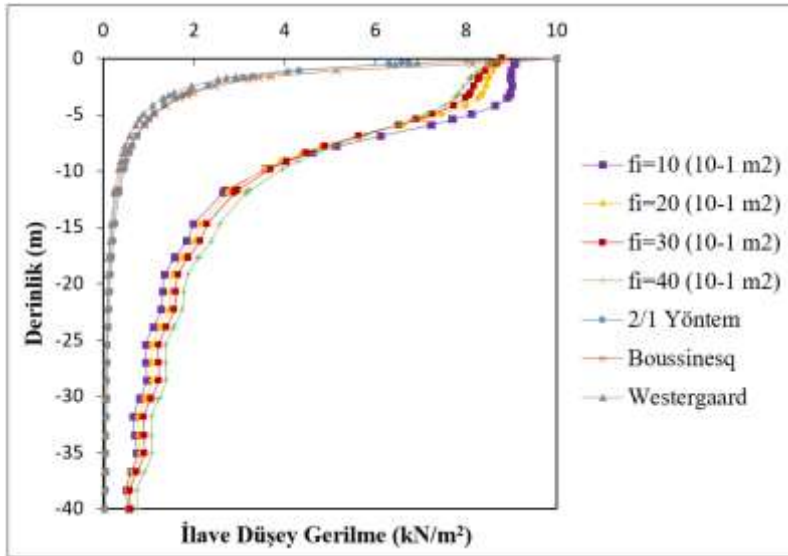


Şekil 8. İlave düşey gerilmenin 4-1 m<sup>2</sup> alana sahip temelin köşe noktası altındaki dağılımının teorik ve nümerik analizlerden elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması

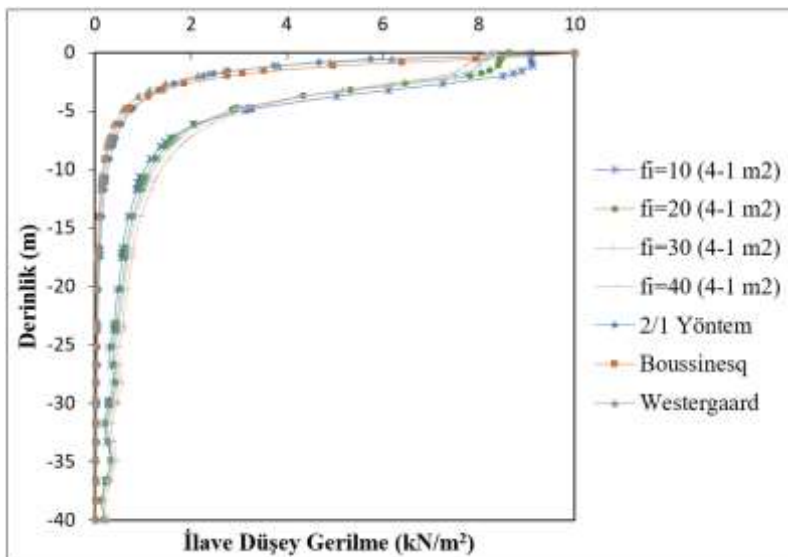




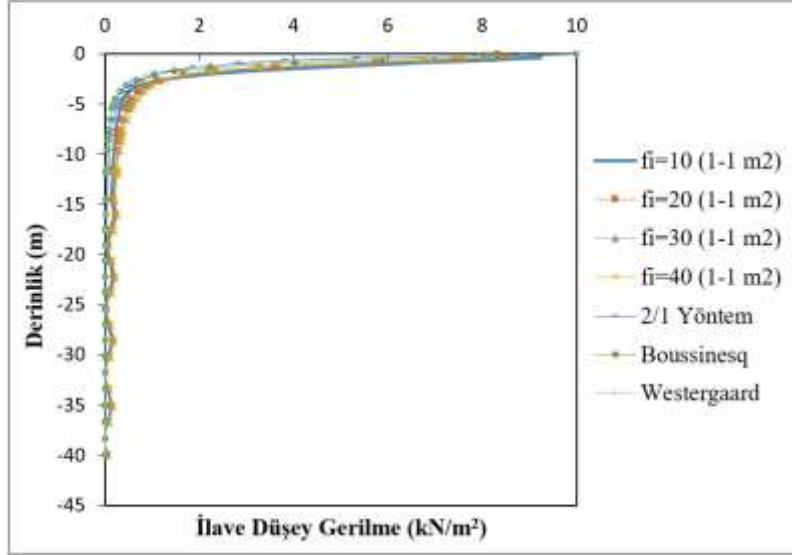
Şekil 9. İlave düşey gerilmenin 1-1 m<sup>2</sup> alana sahip temelin köşe noktası altındaki dağılımının teorik ve nümerik analizlerden elde edilen sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 10. İlave düşey gerilmenin 10-1 m<sup>2</sup> alana sahip temelin orta noktası altındaki dağılımı



Şekil 11. İlave düşey gerilmenin 4-1 m<sup>2</sup> alana sahip temelin orta noktası altındaki dağılımı



Şekil 12. İlave düşey gerilmenin 1-1 m<sup>2</sup> alana sahip temelin orta noktası altındaki dağılımı

Aynı derinlikteki zemin enkesitinde, genel olarak sonlu elemanlar analizleri diğer yöntemlere kıyasla daha büyük ilave düşey gerilmeler vermektedir. Temel boyutları küçüldükçe sonlu elemanlar yönteminden elde edilen sonuçlar, Westergaard [3], Boussinesq [2] ve yaklaşık yöntemden elde edilen sonuçlara yaklaşmaktadır. Yine temel boyutunun küçülmesi sonucu sonlu elemanlar yöntemine ait ilave gerilme dağılımı davranışı ile klasik teorilerden elde edilen gerilme dağılımı davranışları arasındaki uyum artmaktadır.

Temelin köşe noktası altında sonlu elemanlar analizi ile belirlenen ilave düşey gerilmelere en yakın sonuçları yaklaşık yöntem vermiştir. Bu yöntemin içsel sürtünme açısı düşük olan zeminler için daha gerçekçi sonuç verdiği söylenebilir.

Temelin orta noktası altında sonlu elemanlar analizi ile belirlenen ilave düşey gerilmelere en yakın sonuçları;

- i. Deformasyonların büyük ve yoğun olduğu derinlik içerisinde ( $L \sim 2.5L$ ) Boussinesq [2] yönteminin verdiği ve bu yöntemin zeminin içsel sürtünme açısı büyüdükçe daha gerçekçi sonuçlar verdiği,
- ii. Bu derinliğin altında ise yaklaşık yöntemin verdiği ve bu yöntemin zeminin içsel sürtünme açısı küçüldükçe daha gerçekçi sonuçlar verdiği söylenebilir.

#### 4. Sonuçlar

Temel boyutlarında meydana gelen değişimin ilave düşey gerilme üzerindeki etkisine göre içsel sürtünme açısındaki değişimin ilave düşey gerilme üzerindeki etkisi nispeten daha küçüktür.

Temelin orta noktası altında deformasyonların yoğunlaştığı ve nispeten daha büyük değerlere sahip olduğu derinlik içerisinde ( $L \sim 2.5L$ ) içsel sürtünme açısının artması ile gerilmeler azalmaktadır.

Temelin köşe noktası altında herhangi bir derinlikteki zemin elemanında meydana gelen ilave düşey gerilmeler, içsel sürtünme açısındaki azalma sonucu azalmaktadır.

Temelin orta noktası altında deformasyonların etkisinin çok az olduğu derinliklerde ( $>L \sim 2.5L$ ), içsel sürtünme açısının artması ile ilave gerilmeler küçük artışlar göstermektedir.

İlave düşey gerilme hesaplarında yaklaşık yöntem, Boussinesq [2] ve Westergaard'a [3] göre sonlu elemanlar çözümüne daha yakın sonuçlar vermektedir.

Boussinesq [2] yönteminin, temelin orta noktası altında deformasyonların yoğun olduğu derinlik içerisinde ( $L \sim 2.5L$ ), içsel sürtünme açısı büyüdükçe sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlara daha yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Deformasyonların etkisinin çok az olduğu derinliklerde ( $>L \sim 2.5L$ ) yaklaşık yöntemden elde edilen sonuçlar içsel sürtünme açısı küçüldükçe sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlara daha yakın sonuçlar vermiştir.

Temel boyutlarının büyümesi sonucu Westergaard [3], Boussinesq [2] ve yaklaşık yöntemden elde edilen gerilme artışları, PLAXIS 2D’de yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre davranış ve büyüklük olarak farklılaşmaktadır. Buna istinaden zemin mekaniğinde yaygın bir şekilde kullanılan bu teorilerin temel boyutları küçüldükçe daha gerçekçi sonuçlar verdiği söylenebilir.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar bu makalenin yazılmasında eşit katkı sağlamışlardır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

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

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- [1] Çiçek E., Güler E., Yetimoğlu T. 2016. Comparison of Measured and Theoretical Pressure Distribution below Strip Footings on Sand Soil. *International Journal of Geomechanics*, 14 (5): 1-8.
- [2] Boussinesq J. 1885. *Application des Potentiels a L’etude de L’equilbre et du Movement des Solids Elastiques*. Gauthier-Villars, Paris.
- [3] Westergaard H.M. 1938. A Problem of Elasticity Suggested by a Problem in Soil Mechanics: Soft Material Reinforced by Numerous Strong Horizontal Sheets, *Contributions to the Mechanics of Solids*. Dedicated S. Timoshenko 60th Anniversary Volume: 268-277.
- [4] Laman M., Keskin M.S. 2004. Kumlu Zeminlere Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431: 53-57.
- [5] Keskin M.S., Laman M., Baran T. 2008. Kuma Oturan Kare Temeller Altında Oluşan Düşey Gerilmelerin Deneysel Tespiti ve Sayısal Analizi. *İMO Teknik Dergi*, 299: 4521-4538.
- [6] Algin H.M. 2000. Stress from Linearly Distributed Pressures over Rectangular Areas. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 24: 681-692.
- [7] Gray H. 1943. Stress and Displacement from Loads over Rectangular Areas. *Civil Engineering, ASCE*, 13 (5): 227-229.
- [8] Vitone D.M.A., Valsangkar A.J. 1986. Stress from Loads Over Rectangular Areas. *Journal of Geotechnical Engineering*, 112 (10): 961-964.
- [9] DAS B.M., Sobhan K. 2018. *Principle of Geotechnical Engineering Ninth Edition*. Global Engineering, Cengage Learning, United States of America, 1-819.
- [10] DAS B.M. 2011. *Principle of Foundation Engineering 7th Edition*. Global Engineering, Cengage Learning, United States of America, 1-794.
- [11] *Plaxis 2D Material Models Manual* 2019.
- [12] Brinkgreve R. 2005. *Computational Geotechnics for Experienced Users (Plaxis)*.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Bazı Tarihi Yerleşimlere Ait Çevresel Faktörlerin CBS Destekli Analizi; Kilikya Bölgesi Örneği**

İlker KAYA<sup>1</sup>, Ayşegül DEMİR YETİŞ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Arkeometri, Bitlis

<sup>2</sup>Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitlis  
(ORCID: 0000-0001-5383-5245) (ORCID: 0000-0003-4745-2445)

---

### **Öz**

Alanya ile İskenderun Körfezi arasında kalan bölge eski çağlardaki ismiyle Kilikya Bölgesi olarak bilinmektedir. Kilikya Bölgesi coğrafi ve jeolojik yapılarından dolayı Limonlu Çayı sınır kabul edilerek Dağlık Kilikya ve Ovalık Kilikya olarak ikiye ayrılmaktadır. Eski çağlarda Kilikya Bölgesi'nde çok sayıda şehir oluşturulduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, bu yerleşimlerden bazı örnekler incelenip Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yardımıyla bölgeye ait yükselti, bakı, eğim, sıcaklık, yağış, toprak türleri, kayaç yapısı, su kaynakları, karayolları gibi çevresel faktörler kullanılarak haritalar elde edilmiştir. Ayrıca Kilikya Bölgesi için dikkate alınan bu çevresel faktörlerin tarihi yerleşimler kurulurken yer seçimine etkisi incelenerek analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlere göre, çoğunlukla güney ve güneydoğu yönleri bakı yönü olarak seçilmiştir. Yükseklik bakımından yerleşim yeri olarak daha çok düz alanlar tercih edilmişken, eğimin %10'dan fazla olduğu kesimler ise yerleşim yeri olarak tercih edilmemiştir. Tüm yerleşimler verimli topraklar üzerine kurulmuştur. Su kaynakları açısından daha çok, büyük akarsulara yakın yerler ve deniz seviyesine yakın sahillere yerleşim yeri seçiminde tercih sebebi olmuştur. Çalışma, taşınmaz kültür varlıklarımızın en önemli figürlerinden olan bu tarihi yerleşimlerin sonraki nesillere korunarak aktarılabilmesi ve henüz keşfedilmemiş yerleşimlerin tespiti aşamasında özellikle CBS'nden faydalanılması adına büyük önem arz etmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Kilikya, tarihi yerleşimler, çevresel faktörler, CBS.

---

## **Analysis Using GIS of Environmental Factors of Some Historical Settlements; Cilicia Region**

### **Abstract**

The area between Alanya and İskenderun Bay is known as Cilicia region in ancient times. Due to its geographical and geological structures, the Cilicia region is divided into two as Mountainous Cilicia and Ovalic Cilicia considered as a border with Limonlu stream. It is known that many cities were created in Cilicia region in ancient times. In this study; some examples of these settlements were examined and maps of environmental factors such as elevation, look, slope, temperature, precipitation, soil types, rock structure, water resources, roads were produced by using Geographical Information System (GIS). In addition, the impact of these environmental factors on the choice of location during the establishment of historical settlements was examined for Cilicia. In addition, the impact of these environmental factors on the choice of location during the establishment of historical settlements was examined for Cilicia. According to the analysis, mostly south and southeast directions were chosen as the aspect. In terms of height, more flat areas were preferred, while slopes of more than 10% were not preferred as settlements. All settlements are built on fertile soil. In terms of water resources, mostly the places close to the big rivers and the coasts near the sea level have been preferred for settlement selection. The study is important in terms of preserving and transferring these historical settlements which are one of the most important figures of our immovable cultural assets to the next generations. It is also of great importance especially using of GIS for the identification of settlements that have not yet been discovered.

**Keywords:** Cilicia, environmental factors, historical settlements, GIS.

---

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

Geliş Tarihi: 04.11.2019, Kabul Tarihi: 08.04.2020

## 1. Giriş

Kültür tarihimiz açısından arkeolojik vafsa sahip yerleşim yerleri ait oldukları dönemin toplumlarının sosyal ve kültürel yapıları ve yaşam biçimleri hakkında önemli bilgiler vermektedir. İnsanların toplu halde yaşamaya başlamasında etkili olan sebeplerin başında daha güvenli yaşama isteği gelmektedir. Üretim ilişkilerinin şekillendirdiği toplumlar güvenlik içinde olmak için değişik stratejiler kullanmışlardır. Birey olarak insan, doğmadan önce güvenli bir ortamda gelişimini tamamlar ve dünyaya geldikten sonra da güvende olma isteğini sürdürür. Maslow'un "Gereksinimler Kuramı"na göre güvende olma ihtiyacı temel ihtiyaçlardan sonra ikinci sırada yer almaktadır. Bundan dolayı, yerleşik hayata geçildikten sonra güvenli şehirler oluşmaya başlamıştır [1].

İlk çağlardan beri birçok medeniyete sahne olmuş Kilikya, arkeolojik açıdan oldukça zengindir. Bölge, neredeyse her kısmında karşımıza çıkan ve Roma Dönemi izlerini taşıyan yerleşim yerleriyle dev bir açık hava müzesini andırmaktadır [2]. Arkeologlar ve Sanat Tarihçilerinin karşılaştıkları en önemli problemlerden biri, nereye bakacakları ve kazıya nereden başlayacaklarıdır. Yüzeysel araştırmaları ve kazılar hem zaman açısından hem de ekonomik açıdan külfet oluşturmaktadır. Birçok alanda olduğu gibi arkeolojik çalışmalarda da Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanımı ve arkeolojik verilere ait analizlerin önemi giderek artmaktadır. Bununla birlikte, CBS kullanımı bir bölgede arkeolojik araştırmalar için, yüzeysel araştırmaları ve sahadan toplanan alansal verilerin analizini planlamada zaman ve harcama açısından tasarruf sağlamaktadır [3]. CBS yöntemleri ile arkeolojik çalışmalarda, çalışma alanlarına ait veriler arttıkça yapılabilecek uygulamalar da çeşitlenmektedir. Arkeolojik kazılarla elde edilen verilerin haritalarla birleştirilmesi, yeni haritaların oluşturulması ve kıyaslanması söz konusu olduğunda CBS kullanımı gerekmektedir. Bu bilgisayar destekli sistem; değişik verilerin, haritalar üzerinde alanlara, çizgilere ve noktalara bağlanmasını sağlar. CBS'nin gelişmesi ve daha çok kullanılmaya başlanması yeni çalışmaların ve araştırmaların önünü açmaktadır [4, 5]. CBS yazılımları desteğiyle yapılan analizler sonucunda bölgedeki eski yerleşimler için yer seçimlerinde etkili olan çevresel faktörler anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu kapsamda Kardeş (2010) ve Pişkin (2011) tarafından yapılan çalışmalarda CBS'nin kullanıldığı ve yükseklik, eğim, bakı gibi çevresel faktörlerle ilgili analizlerin yapıldığı görülmektedir [6, 7].

Bu çalışmada; Kilikya Bölgesi'nde bulunan tarihi yerleşim yerleri baz alınarak yükselti, bakı, eğim, sıcaklık, yağış, toprak türleri, kayaç yapısı, su kaynakları ve karayolları gibi çevresel faktörlere ait bilgiler CBS'ne aktarılmış ve oluşturulan haritaların analizleri yapılarak bu parametrelerden hangilerinin o dönemin toplumsal yapısı, yaşayış şekilleri ve yaşam alanlarının seçimi üzerinde etkili olduğu tartışılmıştır. Bölgeye ait yapılmış çok sayıda arkeolojik çalışma mevcut olmasına rağmen CBS kullanılarak Roma Dönemi'ne ait yerleşimlerin yer seçimi ile ilgili tahminine yönelik yapılmış çalışma olmaması bu çalışmayı özgün kılan en büyük özelliktir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kilikya Bölgesi

Kilikya olarak adlandırılan bölge, Akdeniz Bölgesi üzerinde yer almaktadır ve bölgenin kuzey sınırlarını Toros Dağları'nın çizmiş olduğu doğal hat belirlemektedir. Herodotos, Ptolemaios ve Strabon gibi coğrafyacılar Kilikya Bölgesi'ni; Dağlık Kilikya ve Ovalık Kilikya olarak ikiye ayırmışlardır [8]. Strabon Dağlık Kilikya'yı tanımlarken "kıyıları dar ve düzlükler çok az sayıdadır" demiştir [9]. Dağlık Kilikya'da bulunan yerleşimlerin daha küçük ölçekli olmasının nedeni dağlık alanların çok olmasıdır. Ovalık Kilikya'da ise dağların ovadan uzak olması nedeniyle daha büyük şehirler kurulmuştur [8]. Alanya'dan Limonlu Çayı'na kadar uzanan Dağlık Kilikya jeolojik olarak daha değişik görünüştedir. Kuzeyde Toroslar, güneyde Akdeniz ve doğuda Amanos Dağları Kilikya Bölgesi'ni diğer bölgelerden ayırıp, doğal korunaklı bir yer haline getirir. Bu nedenle Kilikya'da yüzlerce yerleşim yeri kurulmuş ve en ücra yerlerinde bile yerleşimlerin olduğu düşünülmektedir [10].

Günümüzde Kilikya Bölgesi olarak bilinen ve çalışma alanı olarak seçilen bölgeye ait lokasyon sınırı Şekil 1'de görülmektedir. Bu alanın seçilmesindeki en önemli neden bölgenin Roma Dönemi için adeta bir açık hava müzesi görünümünde olmasıdır. Çalışma alanı sınırı içerisindeki Olba/Uzuncaburç, Koriykos, Elaiussa Sebaste, Soli Pompeipolis, Tarsos, Anavarza, Kastabala, Anemirium, Nagidos ve Kelenderis isimli 10 adet tarihi yerleşim yerine ait detaylı koordinat bilgisi ve genel bilgiler Tablo 1'de

sunulmuştur. Ayrıca bölgede yapılan arazi çalışmaları sırasında alınan görüntüler Şekil 2’de yer almaktadır.



Şekil 1. Kilikya bölgesi lokasyon haritası [11]

Tablo 1. Yerleşim yerlerine ait koordinat bilgisi ve genel bilgiler

Tarihi Yerleşim	Bölge	İl	İlçe	Alan (ha)	Koordinatlar	
					X (Enlem)	Y (Boylam)
Uzuncaburç/Olba	Dağlık Kilikya	Mersin	Silifke	17.50	586314	4049226
Korykos	Dağlık Kilikya	Mersin	Edremit	62	602487	4035335
Elaiussa Sebaste	Dağlık Kilikya	Mersin	Edremit	40	605198	4037997
Soli Pompeipolis	Ovalık Kilikya	Mersin	Merkez	17	637413	4067479
Tarsos	Ovalık Kilikya	Mersin	Tarsus	3	668545	4086860
Anavarza	Ovalık Kilikya	Adana	Kozan	13	756941	4126666
Kastabala	Ovalık Kilikya	Osmaniye	Merkez	9.5	250301	4118175
Anemirium	Dağlık Kilikya	Mersin	Anamur	63	482235	3986460
Nagidos	Dağlık Kilikya	Mersin	Bozyazı	14	498097	3994881
Kelenderis	Dağlık Kilikya	Mersin	Aydıncık	12	529030	3999980



Şekil 2. Kilikya Bölgesi'ndeki yerleşimlere ait arazi gözlemleri sırasında alınan görüntüler  
(Fotoğraf: İlker KAYA, 16.08.2017)

## 2.2. Metodoloji

Bu çalışmada, öncelikli olarak eski yerleşimlerle ilgili çevresel faktörlere ait veriler gözden geçirilerek, CBS'nin arkeolojik çalışmalarda daha önceki kullanımları incelenmiş ve çalışma kapsamında kullanılabilir yöntemler belirlenmiştir. Çalışma alanı ve alandaki tarihi eserlerin kuruldukları yerlerin seçilme nedenlerinin çevresel faktörler özelinde daha iyi anlaşılabilmesi için bir ön arazi çalışması gerçekleştirilmiş ve alanının tamamı görsel olarak analiz edilerek, yerleşim yerlerinin koordinat bilgisi alınmıştır. Çalışma sahasındaki yerleşim yerlerine ait alınan koordinatların coğrafik doğrulaması, lokasyon, yükselti, bakı, eğim, sıcaklık, yağış, toprak türleri, kayaç yapısı, su kaynakları ve karayolları gibi çevresel faktörlerin haritaları için CBS ArcGIS ArcMap 10.5 programından faydalanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Servisi (USGS)'nden bölgenin sayısal yükseklik modelleri için altlık

DEM 30 m aralıklı (Digital Elevation Model) verisi temin edilmiş [12] ve bu modellerden eğim ve bakı haritaları oluşturulmuştur. MTA Jeoloji Portalı'ndan jeoloji haritaları üretilmiştir [13]. Günümüzdeki karayolları ve Roma Dönemi karayollarına ait karayolu haritaları elde edilmiş ve bu sayede karayolu ağları birbirleriyle karşılaştırılmıştır [14].

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışma alanı olarak belirlenen Kilikya Bölgesi'ndeki bazı eski yerleşim yerlerinin seçiminde önemli olan yükselti, bakı, eğim, sıcaklık, yağış, toprak türleri, kayaç yapısı, su kaynakları ve karayolları gibi çevresel faktörlere ait CBS destekli yapılan analizler değerlendirilerek sunulmuştur.

#### 3.1. Yükselti

Çevresel faktörlerden ilki yükselti parametresidir. Kilikya Bölgesi'nde çalışma alanı olarak belirlenen tarihi yerleşimlerin 1 m-1150 m arasında bir yükseltiye sahip olduğu görülmektedir. Bölgedeki yerleşim yerlerine ait hazırlanan yükselti haritası (USGS-30 m aralıklı DEM) Şekil 3'de görülmektedir [12]. Çalışma alanındaki her bir yerleşim yerinin sınırı içerisinde en az yükselti değeri ile en fazla yükselti değeri baz alınarak oluşturulan ortalama değerler Tablo 2'de verilmiştir. Bölgenin tamamı dikkate alındığı zaman; Dağlık Kilikya için tercih edilen yerleşimlerin büyük çoğunluğu özellikle sahil kesimleri ve rakımı düşük yerler iken, Ovalık Kilikya için kıyıya yakın ve korunaklı olabilecek yerler tercih edilmiştir.



Şekil 3. Kilikya Bölgesi'ne ait yükselti haritası [12]

Tablo 2. Çalışma alanının ortalama yükselti değerleri

Tarihi Yerleşim Yeri	Ortalama Yükselti Değerleri (m)
Anemurium	39
Olba/Uzuncaburç	1150
Nagidos	19
Kelenderis	11.5
Korycus	5.5
Elaiussa Sebaste	19
Soli Pompeipolis	9.5
Tarsos	23
Anavarza	63
Kastabala	118.5

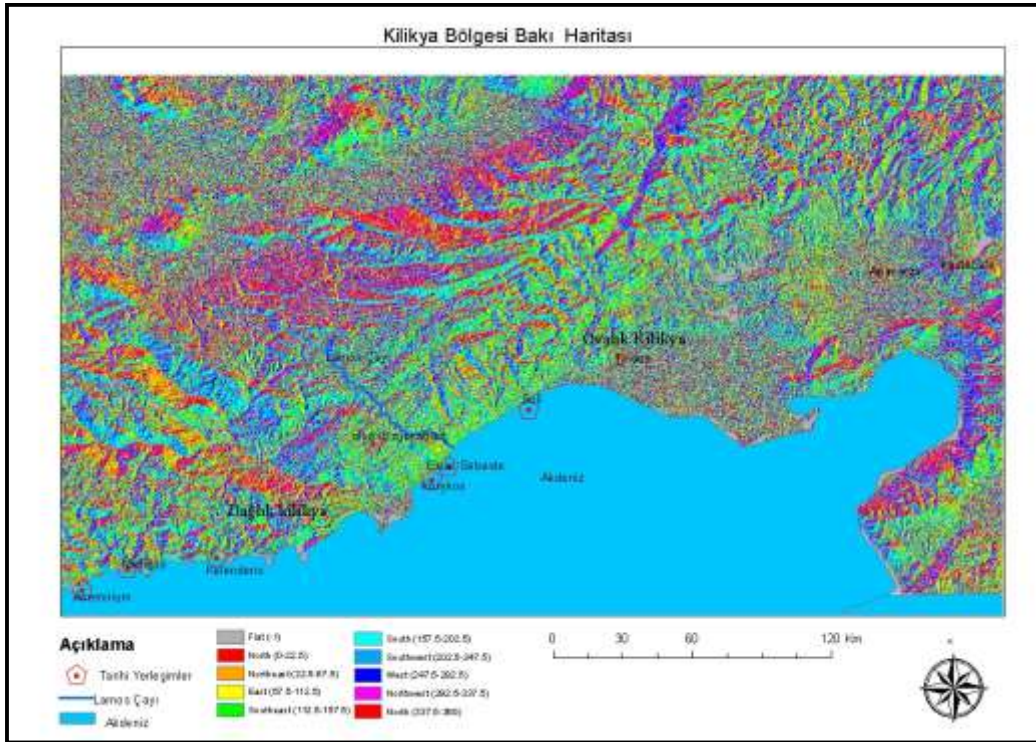


### 3.2. Bakı

Çevresel faktörlerden ikincisi bakı parametresidir. Kilikya Bölgesi'nde çalışma alanı olarak belirlenen tarihi yerleşim yerlerine ait bakı haritası USGS-30 m aralıklı DEM kullanılarak hazırlanmıştır [12]. Bakı yönleri haritası analiz edildiğinde yerleşimlerin yönleri farklılıklar göstermekle birlikte en çok tercih edilen kuzeybatı ve güneydoğu yönleri olmuştur. Bununla birlikte, bakı açısından kuzey yönü hiç tercih edilmemiştir. Çalışma alanındaki her bir yerleşim yerine ait oluşturulan bakı yönleri Tablo 3'de yer almaktadır. Kilikya Bölgesi'ndeki yerleşim yerlerine ait hazırlanan bakı haritası Şekil 4'de görülmektedir.

**Tablo 3.** Çalışma alanının bakı yönleri

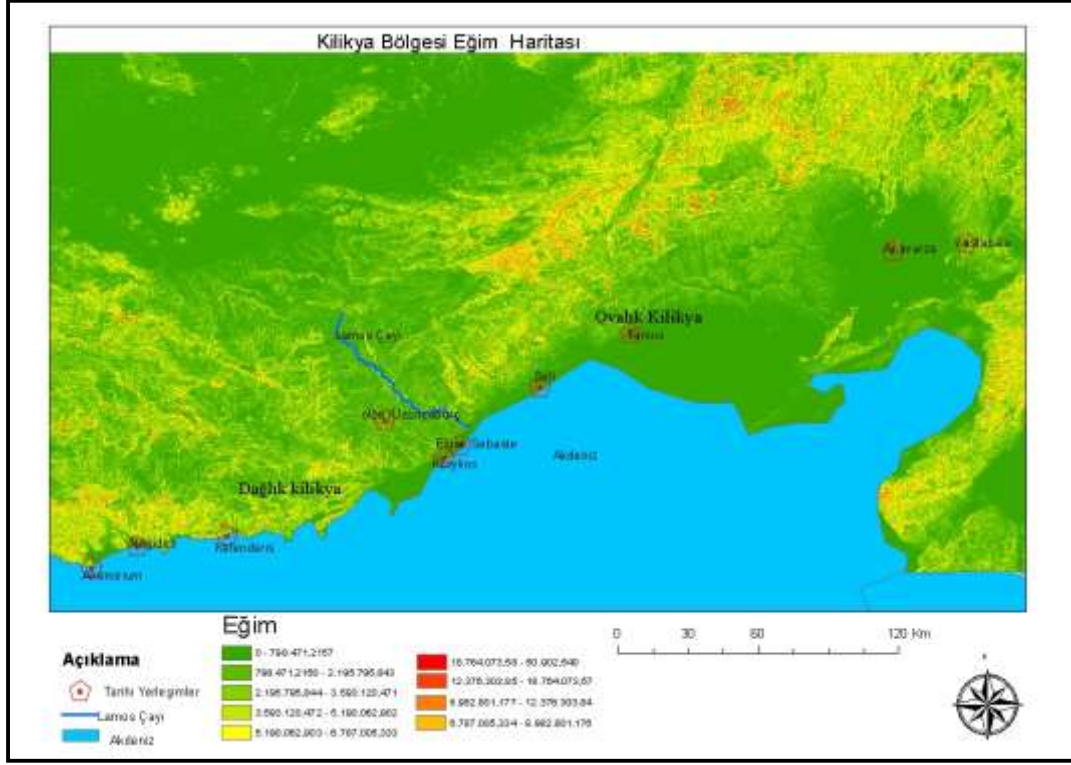
Tarihi yerleşim yeri	Bakı yönleri
Anemurium	Kuzey doğu
Olba/Uzuncaburç	Güneydoğu
Nagidos	Güney
Celenderis	Güneydoğu
Korycus	Güney
Elaiussa Sebaste	Kuzey batı
Soli Pompeipolis	Kuzeybatı
Tarsos	Kuzeybatı
Anavarza	Güneydoğu
Kastabala	Güney batı



**Şekil 4.** Kilikya Bölgesi'ne ait bakı yönleri haritası

### 3.3. Eğim

Çevresel faktörlerden üçüncüsü eğim parametresidir. Çalışma alanındaki yerleşimler için eğim değerleri dikkate alınarak yapılan analizde Kilikya Bölgesi'ndeki bazı tarihi yerleşimlerin tamamı %10 eğimin altındaki bölgelerde bulunmaktadır. Bununla birlikte, genellikle düz alanlar yerleşim yeri olarak seçilmiştir. Kilikya Bölgesi'ndeki yerleşim yerlerine ait hazırlanan eğim haritası Şekil 5'de yer almaktadır.



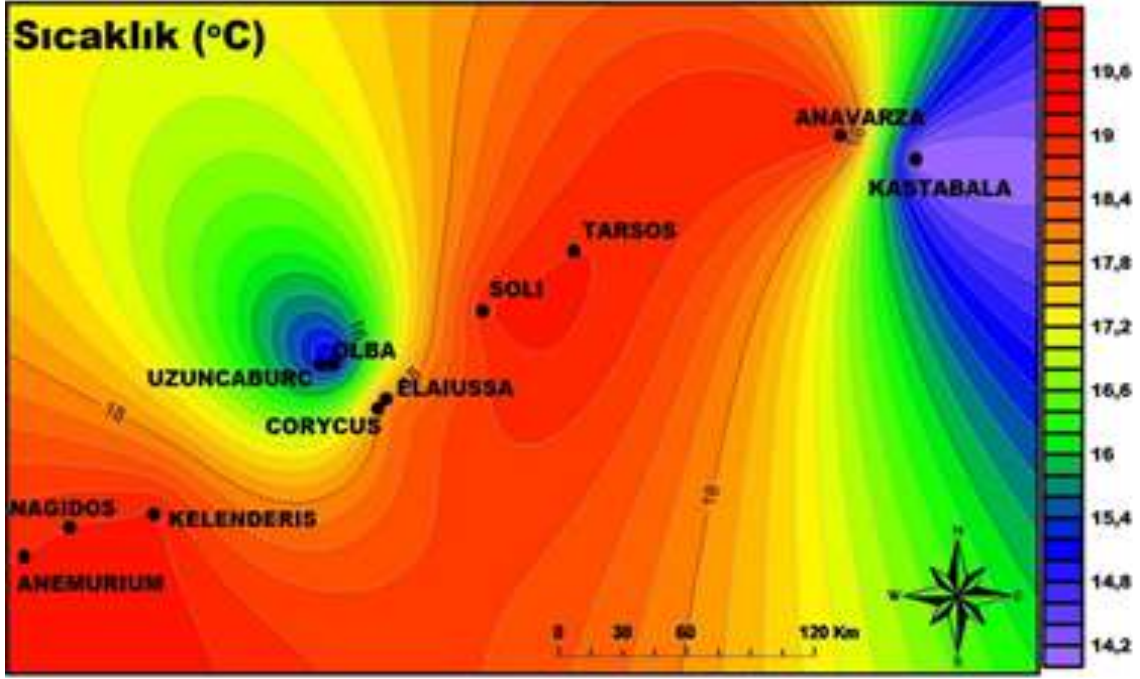
Şekil 5. Kilikya Bölgesi'ne ait eğim haritası

### 3.4. Sıcaklık

Çevresel faktörlerden dördüncüsü sıcaklık parametresidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün ulaşılabilen 1927-2017 yılları arasındaki sıcaklık değerlerine [15] bakıldığı zaman çalışma alanına ait en düşük ortalama sıcaklık değeri 14 °C ile Kastabala'da ve en yüksek ortalama sıcaklık değeri ise 19.5 °C ile Nagidos yerleşimindedir. Tablo 4'de ve Şekil 6'da yer alan ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığı zaman genelde birbirine çok yakın değerlerde olmakla birlikte 18.5 °C üzerinde olduğu sıcaklıktaki yerlerin, yerleşim yeri olarak tercih edildiği görülmektedir.

**Tablo 4.** 1927-2017 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değerleri [15]

Tarihi Yerleşim Yeri	Ortalama Sıcaklık Değerleri (°C)
Anemurium	19.3
Olba/Uzuncaburç	15.2
Nagidos	19.5
Celenderis	19.1
Corycus	18.5
Elarussa Sebaste	18.5
Soli Pompeipolis	19.0
Tarsos	19.1
Anavarza	19.2
Kastabala	14.0



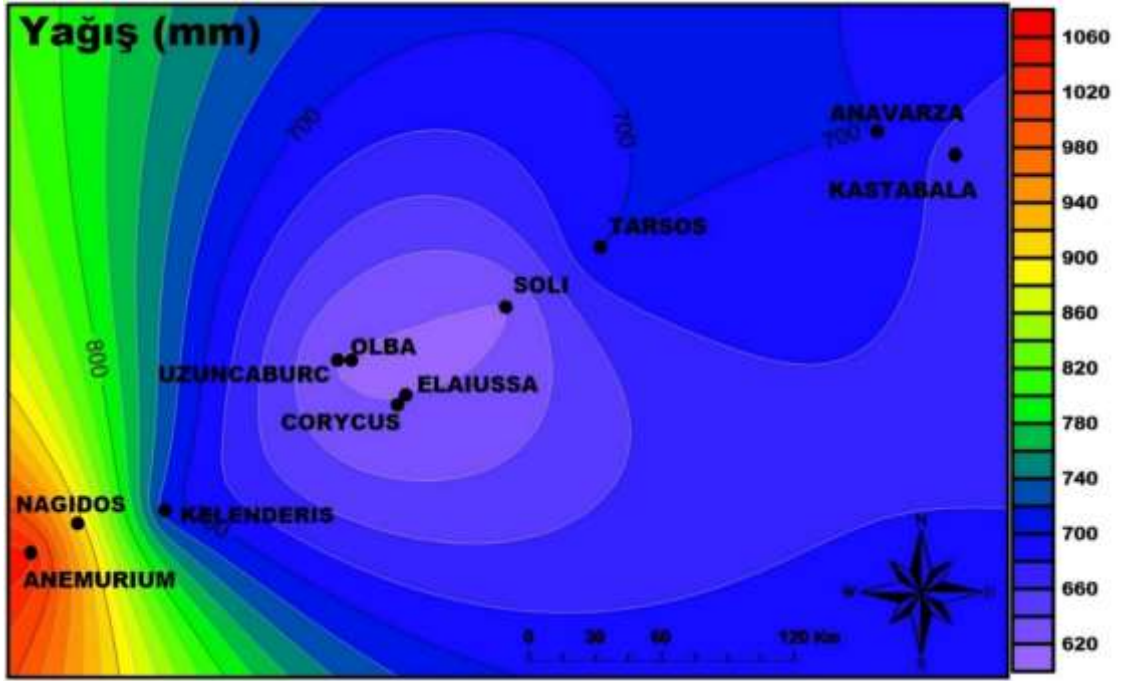
Şekil 6. Çalışma alanının 1927-2017 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değerlerinin alansal dağılımı [15]

### 3.5. Yağış

Çevresel faktörlerden beşincisi yağış parametresidir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün ulaşılabilen 1927-2017 yılları arasındaki çalışma alanına ait en yüksek ortalama yağış değeri [15] 1049 mm değeri ile Anemurium tarihi yerleşiminde, en düşük yağış değeri ise 617 mm ile Soli Pompeipolis'da olduğu Tablo 5'de görülmektedir. Şekil 7'de 1927-2017 yılları arasındaki yağış değerlerinin dağılımları verilmiştir. Buna göre Kilikya Bölgesi'nde ortalama yağışı en fazla alan tarihi yerleşim yerlerinin bulunduğu kısım Dağlık Kilikya Bölgesi'dir. Rakımın yüksek olması yağışı etkileyen parametrelerden biri olsa da [16] rakımı düşük olan Nagidos ve Anemurium yerleşimlerinin etrafında yoğunlaşan ormanlık bölge, buradaki yağışın yoğun olmasında etkili olmuştur.

**Tablo 5.** 1927-2017 yılları arasındaki ortalama yağış değerleri [15]

Tarihi Yerleşim Yeri	Ortalama Yağış Değerleri (mm)
Anemurium	1049
Olba/Uzuncaburc	618
Nagidos	913
Celenderis	709
Corycus	621
Elaiussa Sebaste	621
Soli Pompeipolis	617
Tarsos	700
Anavarza	700
Kastabala	673



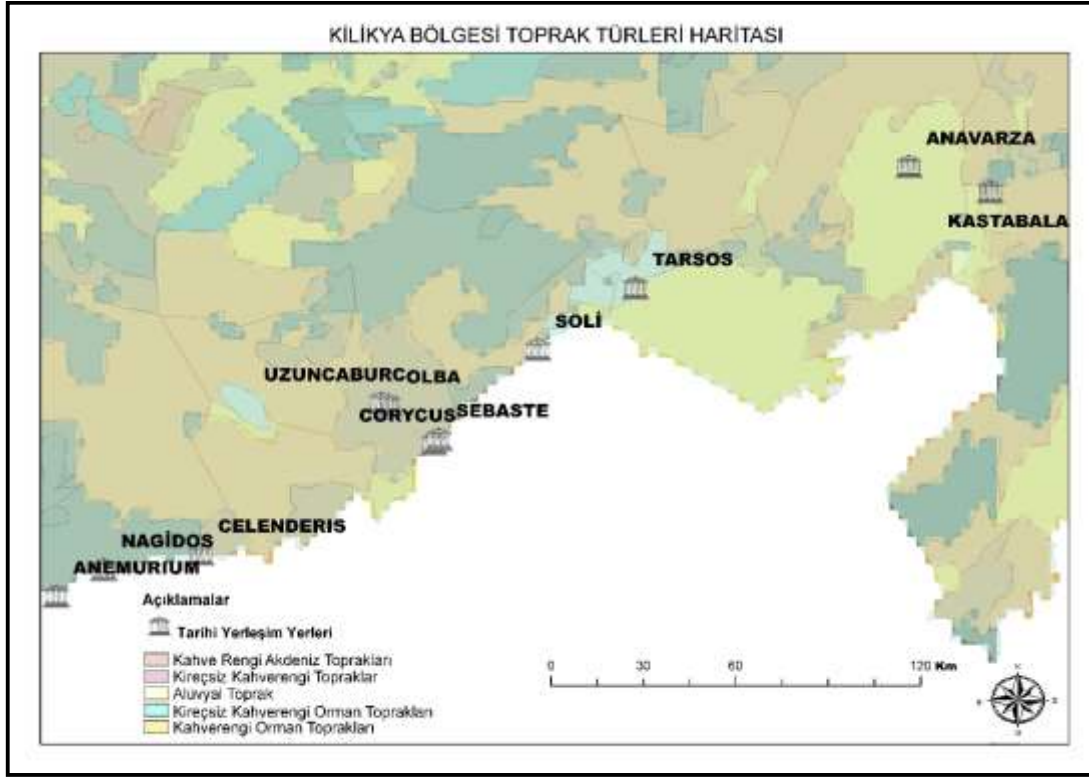
Şekil 7. Çalışma alanının 1927-2017 yılları arasındaki ortalama yağış değerlerinin alansal dağılımı [15]

### 3.6. Toprak Türleri

Çevresel faktörlerden altıncısı toprak türleri parametresidir. Kilikya Bölgesi'nde “Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları”, “Kırmızı Akdeniz Toprakları” ve “Alüvyal Topraklar” olmak üzere üç farklı toprak türü bulunmaktadır [17]. Tablo 6’da Kilikya Bölgesi yerleşim yerlerine ait toprak türleri ve Şekil 8’de toprak türlerinin dağılımları görülmekle birlikte alana ait kayaç yapısı bir sonraki başlıkta ayrıca değerlendirilmiştir. Buna göre tarihi yerleşim yeri seçiminde en çok tercih edilen toprak türü “Kırmızı Akdeniz Toprakları” olmuştur. Sonrasında ise sırasıyla “Alüvyal Topraklar” ve “Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları” tercih edilen diğer toprak türleri arasındadır.

**Tablo 6.** Kilikya Bölgesi yerleşim yerlerine ait toprak türleri [17]

Tarihi Yerleşim Yeri	Toprak Türleri
Anemurium	Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları
Olba/Uzuncaburc	Kırmızı Akdeniz Toprakları
Nagidos	Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları
Celenderis	Kırmızı Akdeniz Toprakları
Korycus	Kırmızı Akdeniz Toprakları
Elaiussa Sebaste	Kırmızı Akdeniz Toprakları
Soli Pompeipolis	Kırmızı Akdeniz Toprakları
Tarsos	Alüvyal Topraklar
Anavarza	Alüvyal Topraklar
Kastabala	Alüvyal Topraklar



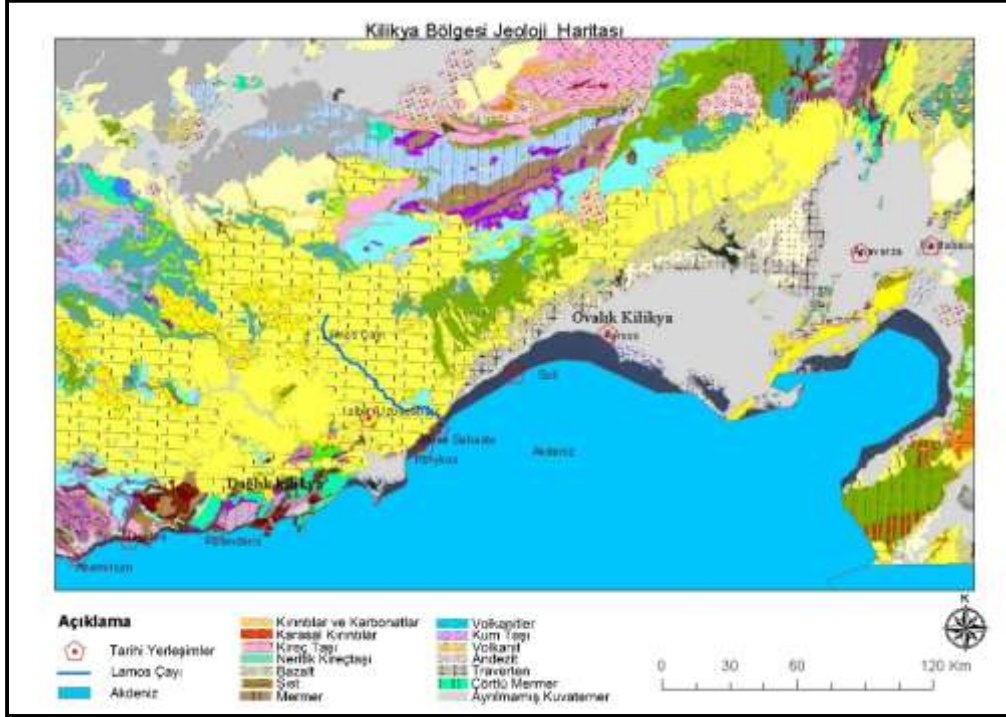
Şekil 8. Kilikya Bölgesi'ne ait toprak türleri haritası [17]

### 3.7. Kayaç Yapısı

Çevresel faktörlerden yedincisi kayaç yapısı (jeolojik formasyon) parametresidir. Kilikya Bölgesi'nde MTA (Maden Tetkik Arama) Genel Müdürlüğü'nden alınan önemli yerleşimlerin kurulduğu kayaç yapısı Tablo 7'de yer almakta olup, yedi farklı kayaç yapısının bulunduğu [13] ve kireç taşı - karbonat içerikli kayaç türlerinin ağırlıkta olduğu görülmektedir. Şekil 9'a bakıldığında Dağlık Kilikya'nın çoğunlukla kireçtaşı kayaç yapısından oluştuğu, Ovalık Kilikya'da ise "kırıntılılar ve karbonatlar" içerikli kayaç yapısının hâkim olduğu söylenebilir.

Tablo 7. Kilikya Bölgesi yerleşim yerlerine ait kayaç yapısı [13]

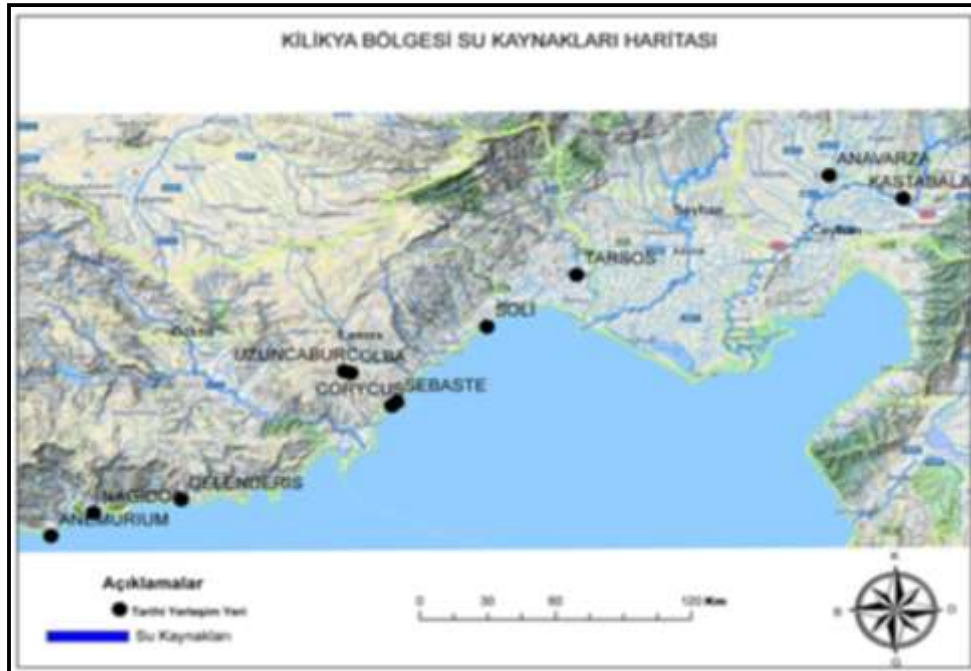
Tarihi Yerleşim Yeri	Kayaç Yapıları
	Mermer
Anemurium	Sist Kumul
Olba/Uzuncaburc	Kireç taşı
	Mermer
Nagidos	Sist Kumul
Kelenderis	Kırıntılar ve karbonatlar
Korycus	Kireç taşı
Elaiussa Sebaste	Kireç taşı
Soli Pompeipolis	Ayrılmamış Kuvaterner
Tarsos	Ayrılmamış Kuvaterner Traverten
Anavarza	Kırıntılılar ve karbonatlar
Kastabala	Kırıntılılar ve karbonatlar



Şekil 9. Kilikya Bölgesi'ne ait kayaç yapısı haritası [13]

### 3.8. Su Kaynakları

Çevresel faktörlerden sekizincisi su kaynakları parametresidir. Çalışma alanının su kaynakları bilgisine Orman ve Su İşleri Bakanlığı'nın Geodata uygulaması üzerinden ulaşılmış olup su kaynakları haritası Şekil 10'da verilmiştir [18]. Su kaynakları haritasına bakıldığında Kilikya Bölgesi küçük akarsu (dere ve çay – sürekli ve geçici akan) bakımından zengin su kaynağına sahip olmasının yanında bölgede; Göksu, Limonlu, Tarsus, Seyhan ve Ceyhan akarsuları gibi büyük su kaynakları da bulunmaktadır. Ayrıca yerleşimlerin tamamının yakınlarında içme suyu ihtiyacını karşılayacak küçük yeraltı suyu kaynaklarının da olduğu görülmektedir. Bu da göstermektedir ki yerleşimlerin birçoğu genellikle su kaynaklarına yakın olan yerlerde kurulmuştur.



Şekil 10. Kilikya Bölgesi'ne ait su kaynakları haritası [18]

### 3.9. Karayolları

Çevresel faktörlerden sonuncusu karayolları parametresidir. Kilikya Bölgesi karayolları haritası Şekil 11’de verilmiştir [14]. Buna göre Kilikya Bölgesi; Roma Dönemi ve günümüzde kullanılan yollar karşılaştırıldığında özellikle sahil şeridindeki yollarda büyük benzerliklerle aradan binlerle ifade edilen yıllar geçmesine rağmen güzergâh olarak örtüşmektedir. Özellikle dağlık bölgelerde günümüzde gelişen teknoloji ile tünel ve viyadükler Kilikya Bölgesi karayolu güzergâhlarında farklılıklara neden olmuştur. Ayrıca hem Roma Dönemi’nde hem de günümüzde tüm tarihi yerleşimlere karayoluyla ulaşılabilir. Bu da göstermektedir ki günümüzde olduğu gibi ulaşım kolaylığı yerleşim yerlerinin seçiminde etkili olan parametrelerdendir.



Şekil 11. Kilikya bölgesi Roma Dönemi ve günümüz karayolları haritası [14]

### 4. Sonuç ve Öneriler

Alanya ile İskenderun Körfezi arasında Roma Döneminde Kilikya Bölgesi’nde bulunan Roma Dönemi’ne ait yerleşim yerleri baz alınarak yükselti, bakı, eğim, sıcaklık, yağış, toprak türleri, kayaç yapısı, su kaynakları ve karayolları gibi çevresel faktörlere ait bilgiler CBS’ne aktarılmış ve oluşturulan haritaların analizleri yapılarak bu parametrelerden hangilerinin yaşam alanı seçimi üzerinde etkili olduğu incelenmiştir. Yapılan analizler neticesinde yükselti bakımından 5.5 m–1150 m arasında değerler değişmekte olup en yüksek kesimde kurulan yerleşim Olba / Uzuncaburç ve en düşük kesimde kurulan yerleşim ise Korycus’tur. Bölgenin tamamı dikkate alındığı zaman Dağlık Kilikya’daki yerleşimlerin büyük çoğunluğunun özellikle sahilde ve düşük rakımlı yerlerde yani daha çok düz alanlarda (%10 eğimin altında) olduğu tespit edilmiştir. Bakı yönleri bakımından yerleşimlerin yönleri farklılıklar göstermekle birlikte en çok tercih edilen kuzeybatı ve güneydoğu yönleri olmuştur. Kuzey yönü ise hiç tercih edilmemiştir. 1927-2017 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değerlerinin 18.5 üzerinde olmakla birlikte ve tüm yerleşimlere ait sıcaklıkların genellikle birbirine çok yakın değerlerde olduğu ifade edilebilir. 1927-2017 yılları arasındaki ortalama yağış değerleri 617 mm (Soli Pompeipolis) - 1049 mm (Anemurium) arasında olup, ortalama yağışı en fazla alan tarihi yerleşim yerlerinin bulunduğu kısım Dağlık Kilikya Bölgesi’dir. Rakımın yüksek olması yağışı etkileyen parametrelerden biri olmasına rağmen rakımı düşük olan Nagidos ve Anemurium yerleşimlerinin etrafında yoğunlaşan ormanlık bölge, buralarda da yağışın fazla görülmesini etkilemiştir. Buna göre tarihi yerleşim yeri seçiminde toprak türü olarak “Kırmızı Akdeniz Toprakları”, “Alüvyal Topraklar” ve “Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları”

arasında en çok tercih edilen “Kırmızı Akdeniz Toprakları” olmuştur. Kayaç yapısına bakıldığı zaman yedi farklı kayaç yapısından kireç taşı-karbonat içerikli kayaç türlerinin ağırlıkta olduğu; Dağlık Kilikya’nın çoğunlukla “kireçtaşı” kayaç yapısından oluştuğu ve Ovalık Kilikya’da ise “kırıntılılar-karbonatlar” içerikli kayaç yapısının hâkim olduğu söylenebilir. Su kaynakları bakımından Göksu, Limonlu, Seyhan ve Ceyhan akarsuları gibi büyük su kaynakları çalışma sınırında bulunmakla birlikte yerleşimlerin tamamının genellikle büyük ve küçük su kaynaklarının yakınlarında kurulduğu görülmektedir. Eski dönem ve günümüzde kullanılan karayolları karşılaştırıldığında özellikle sahil şeridindeki yollarda büyük benzerliklerle güzergâhlar örtüşmektedir. Dağlık bölgelerde günümüzde gelişen teknoloji ile tünel ve viyadükler karayolu güzergâhlarında farklılıklar meydana getirmiştir. Dikkate alınan çevresel faktörler ışığında henüz ortaya çıkmamış eserlerin yerlerinin tespiti aşamasında bu çalışmanın sonraki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

### **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] Yılmaz A., Yaman H. 2012. Toplum Güvenliğinde Bir Örgütlenme Modeli: Dünya Sağlık Örgütü Güvenli Topluluklar Ağı. Polis Mesleki Fikir, Hizmetçi Haberleşme ve Kültür Dergisi, 70: 93-103.
- [2] Durugönül S. 2007. Dağlık Kilikia'da bir antik kent kazısının sonuçları Nagidos. Suna-İnan Kıraç Akdeniz Medeniyetleri Araştırma Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Bank E. 1990. Coğrafi Veri Tabanı Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] Demir Yetiş A. 2009. Akyatan Lagünü’nde tuzluluk ve bazı kirlilik düzeylerinin saptanarak Coğrafi Bilgi Sistemi destekli dağılımlarının belirlenmesi. ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20 (1): 187-199.
- [5] Çakır M.E., Demir Yetiş A., Yeşilnacar M.İ., Ulukavak M. 2019. Katı Atıklar için Optimum Güzergâh Tespiti ve Alansal Dağılım Haritalarının CBS Ortamında Oluşturulması: Sırt (Şanlıurfa) Örneği. BEU Fen Bilimleri Dergisi, 8 (2): 595-603.
- [6] Kardeş H. 2010. Kahta bölgesinin arkeolojik öneme sahip alan ve eserlerinin CBS yardımıyla veri tabanının oluşturulması ve mevcut kullanımının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [7] Pişkin G. 2011. Aliğa ve çevresindeki Arkeolojik Yerleşimlerin CBS ile Mekansal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- [8] Durugönül S. 2002. Development of Ancient Settlements in Cilicia. Adalya, 5 (2001-2002): 107-119.
- [9] Strabon. 2000. Geography, Bohn’s Classical Library, London 1854 (Eserin Anadolu ile ilgili kısmının çevirisi: Antik Anadolu Coğrafyası (Geographika: XII-XIII-XIV), Çev. Adnan Pekman, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- [10] Tahberer B. 2005. Antik Kilikya Sikkelerinde Asklepios Kültü. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- [11] Kaya İ. 2019. Kilikya Roma Dönemi Kentleri ve Nekropollerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Destekli Mekânsal ve Sosyal Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bitlis.



- [12] USGS (U.S. Geological Survey). 2018. <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Erişim Tarihi: 15.01.2018).
- [13] MTA (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü). 2018. <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.asp> (Erişim Tarihi: 25.02.2018).
- [14] Anonim. 2018. <http://www.pelagios.org/maps/greco-roman> (Erişim Tarihi: 28.02.2018).
- [15] MGM (Meteoroloji Genel Müdürlüğü). 2018. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme> (Erişim Tarihi: 17.12.2018).
- [16] Sarı S. 2016. Anamur (Mersin) İlçesinde sıcaklık ve yağış dağılımını etkileyen faktörler. Marmara Coğrafya Dergisi, 34:178-194.
- [17] Anonim. 2018. <https://www.ahmetkrn.com/>, CBS ve Haritacılık, (Erişim Tarihi: 26.02.2018).
- [18] TOBGEODATA (Tarım ve Orman Bakanlığı, Geodata). 2018. <http://geodata.ormansu.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 24.02.2018).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Lebit Enerji Güneş Santralinin Pvsyst Programı ile Analizi

Hamit Kürşat DEMİRYÜREK<sup>1</sup>, Uğur ARİFOĞLU<sup>1</sup>, Mehmet BOLAT<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Sakarya Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Sakarya

<sup>2</sup>Siirt Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Siirt

(ORCID: 0000-0002-0152-8793) (ORCID: 0000-0001-8082-5448) (ORCID: 0000-0003-0988-0262)

---

### Öz

Bu çalışmada, 200kWp kurulu güce sahip, Lebit Enerji güneş santraline ait bilgiler, Pvsyst V6.67-TRIAL programına aktarılmış, simüle edilmiş ve gerçek üretim verileri ile simülasyon verileri karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen rapor ile sisteme ait kayıplar (termal kaybı, kablolama kaybı, gölgeleme kaybı, uyumsuzluk kaybı, tozlanma ve karlanma kaybı, panel kaybı, inverter kaybı vb.) analiz edilmiştir. Yapılan analizde, simülasyon sonuçları ile gerçek üretim değerleri arasında yaklaşık %0.56'lık bir fark olduğu görülmüştür. Bu sonuç, tasarım aşamasında olan PV sistemleri için, yapılan fizibilite çalışmalarına büyük katkı sağlayabileceği gibi, hali hazırda kurulu olan PV sistemlerin daha verimli hale getirilebilmesi için, yapılacak olan revizyon çalışmalarına ışık tutabilir.

**Anahtar kelimeler:** Şebekeye bağlı PV sistem, Pvsyst, solar radyasyon, simülasyon, kayıplar.

---

## Analysis of Lebit Energy Solar Power Plants with Pvsyst Program

---

### Abstract

For the purposes, actual production values and simulation values were compared with using the datas of 200kWp Lebit Enerji solar power plant, which was transferred and simulated to Pvsyst V6.67-TRIAL program. Systematic losses (temperature and wind loss, cable loss, shading loss, loss of incompatibility, loss of dust and snow, loss of panel, loss of inverter, etc.) were analyzed by the report obtained as a result of the simulation. In the analysis shows that, there is a difference about % 0.56 between the simulation results and the actual production values. This will provide big convenience for feasibility studies of PV systems that are in the design step, on the other hand it can be guide to make revision more effective PV systems.

**Keywords:** Grid connected PV system, Pvsyst, solar radiation, simulation, losses.

---

### 1. Giriş

Nüfusun artışı ve teknolojinin hızla gelişmesiyle birlikte, enerji ihtiyacı, gün geçtikçe daha da artmaktadır. Dünyada kullanılmakta olan enerjinin büyük bir çoğunluğu, fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Dünyada enerji ihtiyacı yılda ortalama %4-5 oranında artarken fosil yakıt rezervi daha yüksek oranda azalmaktadır [1]. Ayrıca, fosil yakıtla enerji elde edilirken, çevreye her geçen gün daha fazla zarar verilmektedir. Hem fosil yakıt rezervlerinin gün geçtikçe azalması hem de fosil yakıtların çevreye vermiş olduğu zararlar, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmeyi zorunlu kılmıştır [2].

Yenilenebilir enerji kaynağı, enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda veya kaynağın tükenme hızından daha çabuk bir şekilde kendini yenileyebilmesi olarak tanımlanır. Yenilenebilir enerji kaynakları, hidroelektrik, jeotermal, rüzgâr, biokütle ve güneş olarak sıralanabilir [3]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi, kolay ve hızlı kurulumu ile büyük ve küçük ölçekli olabilmesi, son yıllarda dikkatleri üzerinde toplamaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda, dünyada bilinen bütün enerji kaynaklarından, elde edilebilecek enerji, güneşin sadece üç günde yaymış olduğu enerjiye eşittir. Ayrıca, güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla, çevreye daha az zarar vermesi,

---

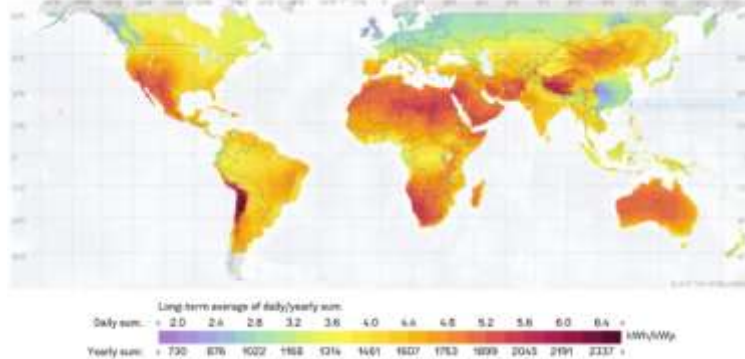
\*Sorumlu yazar: [mehmetbolat@siirt.edu.tr](mailto:mehmetbolat@siirt.edu.tr)

Geliş Tarihi: 25.11.2019, Kabul Tarihi: 09.04.2020

güneş enerjisi kullanımı sırasında, karbondioksit ve diğer sera gazlarından hiçbirini üretmemesi de önemli bir etkidir [1, 2].

### 1.1. Dünya’da Güneş Enerjisi Durumu

Dünyada, güneş enerjisi üretiminde Almanya, Çin ve Japonya başta gelen ülkelerdir. Güneş enerjisini kullanan bu ülkelere baktığımızda, bazıları güneş ışınları potansiyeli bakımından öne çıkarken, bazıları ise sahip oldukları teknoloji birikiminden dolayı öne çıkmaktadır. Şekil 1.1’de verilen dünya güneş enerjisi potansiyeli haritasında, koyu kırmızı renkli bölgelerde güneş enerjisi potansiyeli yüksekken, mavi renkli bölgelere doğru gidildikçe güneş enerji potansiyeli azalmaktadır.



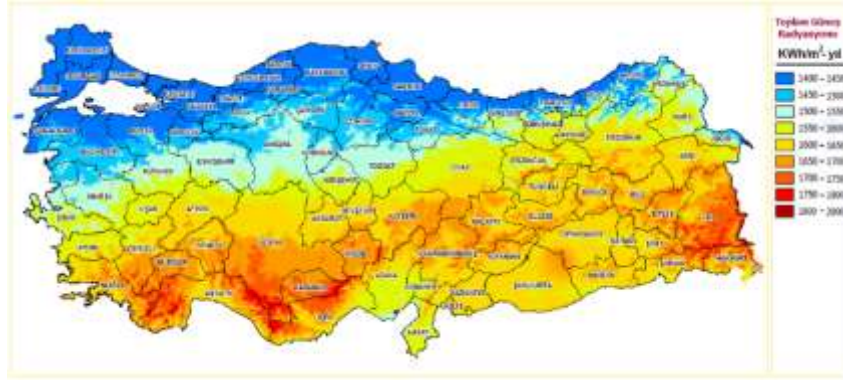
Şekil 1.1. Dünya güneş enerjisi potansiyeli haritası [4]

Dünyada güneşten elde edilen enerji miktarına bakıldığında, 2016 yılında üretilen enerji 2015 yılına kıyasla %50 arttığı görülmektedir. Brüksel’de düzenlenen enerji zirvesinde, dünyada enerji kapasitesinin 2016 yılında 305GW değerlerine kadar ulaştığı ifade edilmiştir. Raporlar ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde, Almanya toplamda 70GW güneş enerjisi üretimi kapasitesi ile zirvede bulunmaktadır [5].

### 1.2. Türkiye’de Güneş Enerjisi Durumu

Coğrafi konumu itibarıyla kuzey yarım kürede yer alan Türkiye, sahip olduğu güneş enerji potansiyeli açısından, diğer ülkelere göre oldukça yüksek potansiyele sahiptir. Her ne kadar bu enerji potansiyelini günümüze kadar, yeterli kullanılsa da çıkartılan yönetmelikler ve teşvikler sayesinde ilgi gün geçtikçe artmaktadır [5, 6].

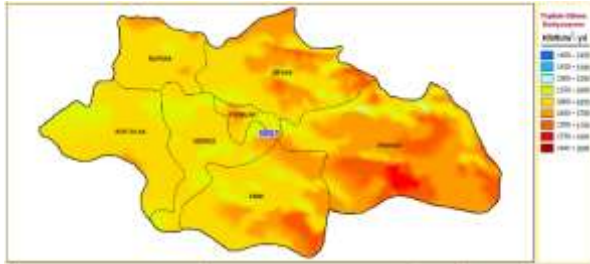
Türkiye’de, 2014 yılında 40 MW olan kurulu güç kapasitesi, 2015 yılında 249 MW’a ve 2016’da ise 830 MW seviyesine ulaşmıştır [7]. Türkiye’deki toplam kurulu güç kapasitesinin ancak yaklaşık %1’i güneş enerjisinden elde edilebilmektedir. Türkiye’de 2010 yılı öncesinde, güneş sistemleri, genellikle termal amaçlı kullanılırken, 2010 yılından itibaren, güneş enerjisinden elektrik üretimindeki çalışmalar artmaya başlamıştır. Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı kapsamında 2023 yılı için ısıtma ve soğutma amaçlı enerji ihtiyacının en az yüzde 15’inin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması amacı doğrultusunda, güneş enerjisinin daha etkin, verimli, teknolojik ve yenilikçi bir biçimde kullanılması planlanmaktadır. 2023 yılı brüt elektrik talebinin 500 bin MW olacağı öngörüsü altında, Türkiye tüm güneş potansiyelini kullanmak koşuluyla, 2023 yılına gelindiğinde, elektrik talebinin tamamını sadece güneş enerjisinden karşılayabilecektir. Ancak, mevcut imkân ve maliyetlerin bu öngörünün gerçekleşmesine olanak sağlayamayacağı açıktır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) tarafından yapılan tahminler 2019 yılı için güneş enerjisinde 3 bin MW’lık elektrik üretimi gerçekleştirilmesi ve bu rakamın 2023 yılında 5 bin MW’a ulaştırılması yönündedir [7]. Şekil 1.2.’de verilen Türkiye’nin güneş enerji potansiyeli haritasına bakıldığında, güneş enerjisi potansiyeli bakımından Güneydoğu Anadolu ve Akdeniz bölgeleri ilk sıralarda yer alırken, Marmara ve Doğu Karadeniz bölgeleri ise ülkenin en az güneş alan bölgeleri arasında bulunmaktadır.



Şekil 1.2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [8]

### 1.3. Siirt İli Güneş Enerjisi Durumu

Güneydoğu Anadolu bölgesinde bulunan Siirt ili, coğrafi konumu açısından, ülkemizdeki diğer illere göre oldukça yüksek güneş enerjisi potansiyele sahiptir. Şekil 1.3.'te verilen Siirt ili güneş enerji potansiyeli haritası, Şekil 1.4.'de ise Siirt ili global radyasyon değerleri ve güneşleme süreleri grafiği verilmiştir.



Şekil 1.3. Siirt ili güneş enerjisi potansiyeli haritası [8]



Şekil 1.4. Siirt ili global radyasyon değerleri ve güneşleme süreleri grafiği [8]

## 2. Materyal ve Metot

PV sistemlerin analizi için, PVSyst, Homer, RETScreen, PVGIS, PVSOL Expert gibi birçok simülasyon programı mevcuttur. Ancak yapılan literatür taraması ve araştırmalar sonucunda, geniş seçim yelpazesine sahip, PV sistem elemanlarını altyapısında barındırarak hızlı ulaşım imkanı sağlaması, PV sistemlerde bulunan kayıpların ayrıntılı olarak sisteme aktarılabilmesi, varsayılan seçim şartlarının literatüre uygun olması, 3 boyutlu çizim özelliği ile gölgeleme kayıplarının tespit edilebilmesi, ekonomik analiz yapılabilmesi ve gerçek sonuçlar ile simülasyon sonuçları arasında çok az bir fark olması bu çalışmada PVSyst programının kullanımına karar verilmiştir [9-28].

PVSyst programı Cenevre Üniversitesi tarafından geliştirilmiş olup, program ile şebekeye bağlı, şebekeden bağımsız, pompa ve DC üretim sistemlerinin ayrı ayrı tasarımı yapılabilmektedir.



Şekil 2.1. PVSyst programı ana ekran görüntüsü

Lebit Enerji güneş santrali şebeke bağlı bir güneş santralidir. Lebit Enerji güneş santralinin PVsyst programı ile simülasyonu 8 ana adımda yapılmıştır. Bu adımlar aşağıda belirtilmiştir [29].

## 2.1. Proje Bölümü

Santralin kurulacağı yerin PVsyst programına tanıtılıp, meteorolojik bilgiler aktarılmaktadır.

### 2.1.1. Konum

Lebit Enerji güneş santrali Siirt ili Merkez İlçesine bağlı Bağtepe mevkiinde, (N 37.945; E 41.973) koordinatlarında kuruldu. Lebit Enerji güneş santraline ait Şekil 2.2.'de uydu görüntüsü ve Şekil 2.3'te yakından görünümü verilmiştir.



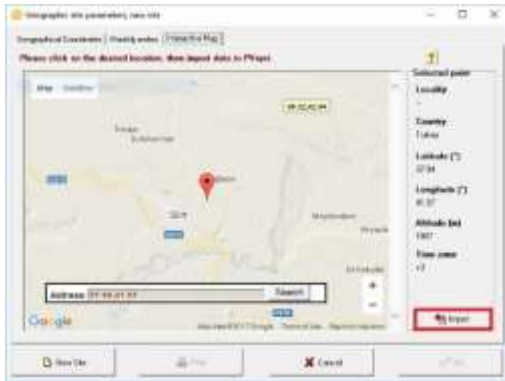
Şekil 2.2. Lebit Enerji güneş santrali uydu görüntüsü



Şekil 2.3. Lebit Enerji güneş santrali görünümü

### 2.1.2. Meteorolojik Verilerin Aktarılması

Lebit Enerji güneş santralinin bulunduğu konuma ait meteorolojik veriler PVsyst programının veri tabanında bulunmamaktadır. Bu sebeple ilk adım olarak Lebit Enerji güneş santralinin bulunduğu konuma ait meteorolojik bilgilerin sisteme aktarılması gerekir. Bu işlem, Databases bölümünden Geographical Sites sekmesi altında Şekil 2.4 ve Şekil 2.5' de verilen adımlar yerine getirilerek yapılır.



Şekil 2.4. Meteorolojik verilerin aktarılması-1



Şekil 2.5. Meteorolojik verilerin aktarılması-2

## 2.2. Sistem Bölümü

Güneş paneli, inverter ve seri-paralel dizilere ait bilgilerinin programa nasıl tanıtıldığı açıklanmaktadır. Sisteme bölümüne ait ekran görüntüsü Şekil 2.6.'da verildi.

Grid system definition, Variant "New simulation variant"

**Global System configuration**

1 Number of kinds of sub-arrays

**Global system summary**

Nb. of modules	800	Nominal PV Power	200 kWp
Module area	1333 m <sup>2</sup>	Maximum PV Power	194 kWdc
Nb. of inverters	10	Nominal AC Power	200 kWac

---

PV Array

**Sub-array name and Orientation**

Name: PV Array

Orient: Fixed Tilted Plane

Tilt: 26°

Azimuth: 0°

**Resizing Help**

No sizing

Enter planned power: 200.0 kWp

or available area(modules): 1333 m<sup>2</sup>

---

**Select the PV module**

Available Now

Approx. needed modules: 800

Solarturk Energy | 250 Wp 25V | Si-poly | Poly 250 w 60 Cells | Since 2008 | Manufacturer 2015

Sizing voltages: V<sub>mpp</sub> (60°C) 25.7 V

V<sub>oc</sub> (-10°C) 41.9 V

Use Optimizer

---

**Select the inverter**

Available Now

REFU Elektronik Gmbh | 20 kW | 250 - 850 V | TL | 50/60Hz | RefuSol 20K (867P) | Since 2016

Nb. of inverters: 10

Operating Voltage: 250-850 V

Global Inverter's power: 200 kWac

Input maximum voltage: 1000 V

50 Hz

60 Hz

---

**Design the array**

**Number of modules and strings**

Mod. in series: 20  between 10 and 23

Nbre strings: 40  only possibility 40

Overload loss: 0.0 %

P<sub>nom</sub> ratio: 1.00

Nb. modules: 800 Area: 1333 m<sup>2</sup>

**Operating conditions**

V<sub>mpp</sub> (60°C) 513 V

V<sub>mpp</sub> (20°C) 620 V

V<sub>oc</sub> (-10°C) 838 V

Plane irradiance: 1000 W/m<sup>2</sup>

I<sub>mpp</sub> (STC) 331 A

I<sub>sc</sub> (STC) 352 A

I<sub>sc</sub> (at STC) 352 A

Max. in data

STC

Max. operating power at 1000 W/m<sup>2</sup> and 50°C: 179 kW

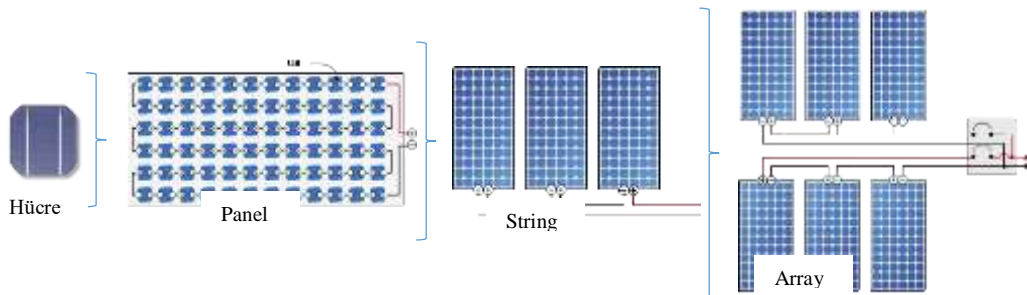
Array nom. Power (STC): 200 kWp

Şekil 2.6. Lebit Enerji güneş sanralı sistem bilgileri

## 2.2.1. Güneş Paneli

Fotovoltaik hücreler (Photovoltaic, PV) ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken malzemelerden meydana gelmektedir. Fotovoltaik hücrelerinin şekilleri, kare, dikdörtgen veya daire biçiminde, alanları 100 cm<sup>2</sup> civarında, kalınlıkları ise 0,2–0,4 mm arasındadır.

Şekil 2.7.'de, fotovoltaik hücreler seri ve paralel bağlanarak güneş panellerini (modül) meydana getirir. Güneş panelleri seri bağlanarak dizileri (string), stringler ise paralel bağlanarak dizeleri (array) meydana getirir.



Şekil 2.7. Fotovoltaik hücreler

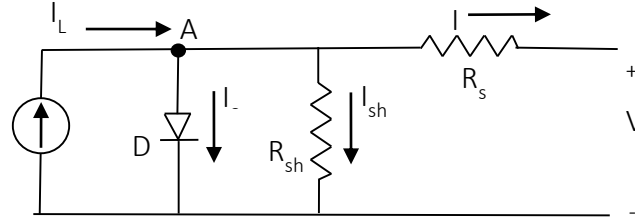
### 2.2.1.1. Fotovoltaik Hücrelerinin Çalışma İlkesi

Fotovoltaik hücrelerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik (Photovoltaic) olayına dayanır. Fotovoltaik olayı ilk kez 1839 yılında Becquerel tarafından bulunmuştur. Fotovoltaik olayda fotonlar elektronlara çarpar ve

serbest yük çiftleri oluşturur, bu sayede geride pozitif yüklü bir alan kalır. Bir taraf negatif yük diğer taraf ise pozitif yük ile yüklendiğinden, hücre arasında gerilim farkı meydana gelir.

### 2.2.1.2. Fotovoltaik Hücre Eşdeğer Modeli

Fotovoltaik hücrelerinin eşdeğer devre modeli, ilk olarak Lorenzo tarafından 1994 yılında tanımlanmıştır. Şekil 2.8.'de verilen bu eşdeğer devre modeli, bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bir diyot, diyota paralel bir topraklama direnci ve tüm bunlara seri bağlı bir iç dirençten oluşur [30].



Şekil 2.8. Güneş pili eşdeğer devresi

Şekil 2.8.'de verilen devrede, A noktasına Kirchoff Akım Yasasını uygulanırsa;

$$I_L = I_0 + I_{sh} + I \quad (1)$$

denklemleri elde edilir. Diyot gerilimi ve diyot akımı;

$$V_d = V + R_s \cdot I \quad (2)$$

$$I_d = I_0 \left( e^{\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) = I_0 \left( e^{\frac{q \cdot (V + R_s \cdot I)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (3)$$

olarak ifade edilir. Şekil 2.8.'de verilen devrede, diyota paralel olan  $R_{sh}$  direncinin üzerinden geçen akım ise;

$$I_{sh} = \frac{V_d}{R_{sh}} = \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (4)$$

olarak elde edilir. (Denklem 3) ve (Denklem 4), (Denklem 1)'de yerine konulursa; (Denklem 3.5)'te verildiği gibi elde edilir.

$$I = I_L - I_0 \left( e^{\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (5)$$

(Denklem 5)'te paralel direnç  $R_{sh}$  çok küçük olduğu için, ihmal edilebilir. (Denklem 5)'ten  $V$  değeri çekilirse;

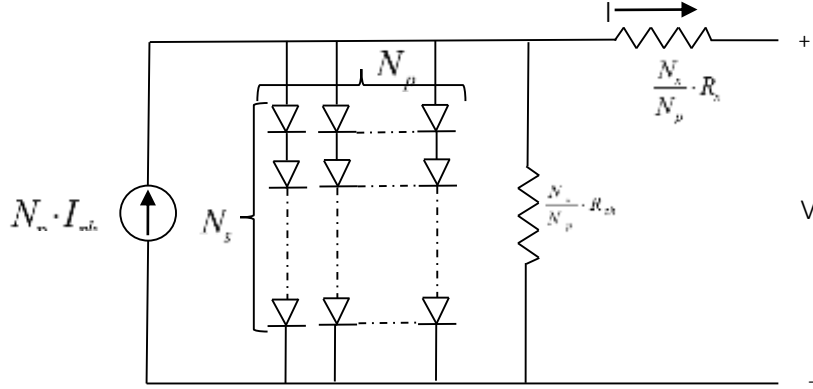
$$V = \frac{n \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[ \frac{I_L + I_0 - I}{I_0} \right] - R_s \cdot I \quad (6)$$

(Denklem 6)'te verilen fotovoltaik hücrenin uçlarındaki gerilim değeri elde edilir.

### 2.2.1.3. Güneş Paneli Eşdeğer Modeli

Fotovoltaik hücreler güneş sistemlerinin en küçük birimi olup tek başına çok küçük değerlerde (0.5V) gerilim üretirler. Haliyle, bu küçük değerdeki gerilim tek başına kullanılamaz. Kullanılabilir bir değerde güç elde edebilmek için fotovoltaik hücrelerinin seri ve paralel bağlanması gerekmektedir. Bu şekilde elde edilen yapıya güneş paneli (modül) denir. Şekil 2.9.'de verilen güneş paneli eşdeğer devresinde  $N_s$

seri bağlı hücre sayısını,  $N_p$  ise paralel bağlı hücre sayısını ifade eder. Seri hücre sayısı ( $N_s$ ) panel gerilimi artırırken, paralel hücre sayısı ( $N_p$ ) panel akımını artırır [30].



Şekil 2.9. Güneş paneli eşdeğer modeli

Şekil 2.9.'de verilen devrede, panel akım denklemi;

$$I = N_p \cdot I_L - N_p \cdot I_L \left[ e^{\frac{V + I \cdot R_s}{N_s \cdot n \cdot k \cdot T}} - 1 \right] - \frac{N_p \cdot V + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (7)$$

olarak elde edilir. (Denklem 7)'de paralel direnç  $R_{sh}$  çok küçük olduğu için ihmal edilebilir. (Denklem 3.7)'de  $V$  değeri çekilirse, (Denklem 8)'te verilen güneş panelinden elde edilecek gerilim değeri elde edilir.

$$V = \frac{N_s \cdot n \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[ \frac{I_L + I_0 - I + N_p}{N_p \cdot I_0} \right] - \frac{N_s}{N_p} \cdot R_s \cdot I \quad (8)$$

Lebit Enerji güneş santralinde, Tablo 2.1.'de katalog bilgileri verilen SolarTürk marka güneş panellerinden toplam 800 adet kullanılmıştır. 20'şer adet güneş paneli seri bağlanarak 40 adet string oluşturulmuş, 4'er adet string paralel bağlanarak 10 adet array meydana getirilmiştir [1].

Tablo 2.1. SolarTürk Güneş Paneli Katalog Bilgileri

Elektriksel Özellikler	Teknik Bilgiler		
Nominal Güç (Wp)	250	Hücre Sayısı	60 (6x10)
Nominal Güç Toleransı (Wp)	-0/+5	Hücre Tipi	Polikristal
Nominal Güç Voltajı (V)	31.28	Hücre ölçüsü (mm)	156x156
Nominal Güç Akımı (A)	8.01	Panel Ölçüsü UxExY (mm)	1665x1001x42
Kısa Devre Akımı (A)	8.66	Ağırlık (kg)	19
Açık Devre Voltajı (V)	37.66	Bağlantı Tipi	Tyco
Maksimum Sistem Gerilimi (V)	1000	Diyot Akımı (A)	5

## 2.2.2. İnverter

Lebit Enerji güneş santralinde Tablo 2.2.'de katalog bilgileri verilen REFUsol 020K marka inverterden her array çıkışına bir adet konulmak üzere toplam 10 adet kullanılmıştır. Montajı, sevkiyatı ve bakımı açısından kolaylık sağladığı için dizi inverter tercih edilmiştir [1].

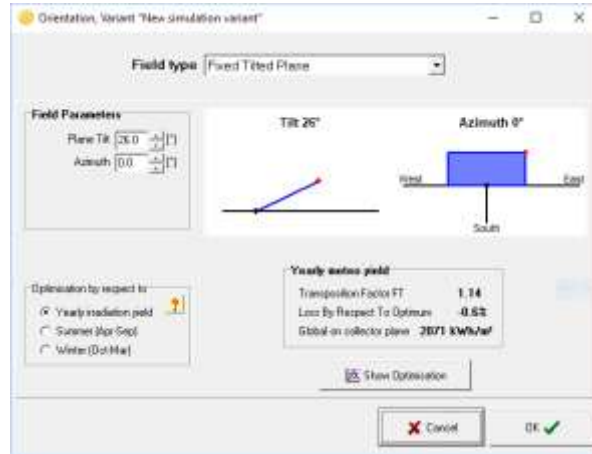


**Tablo 2.2.** REFUsol 020K İnverter katalog bilgileri

DC DATA		AC DATA	
Max. PV Power (kW)	21.2	Rated AC power (kW)	19.2
MPPT range (V)	480...850	Max. AC power (kW)	19.2
Max. DC voltage (V)	1000	AC grid connection (V)	400
Max. DC current (A)	41	Max. AC current (A)	29
MPP tracking	one fast	Cos $\phi$	0.9i..0.9c
Number of DC connect.	6	THD	%1.8
DC-disconnection switch	Evet	Max. efficiency	%98.2
İnternal overvoltage prt.	Tip 3	İnfeed strating at (W)	20

### 2.3. Yönlendirme Bölümü

Güneş paneli ve azimuth açısı bilgilerinin programa girişi tanıtılmaktadır. Lebit Enerji güneş santralinde; hareketli taşıyıcı panel destek yapılarının, kurulum maliyeti, bakımı ve doğal hava koşulları göz önünde bulundurulduğunda sabit panel taşıyıcı destek yapıları kullanımı tercih edildi. Yapılan ölçümler sonucunda, yıllık maksimum ışımanın elde edilmesi için, Şekil 2.10.'da verildiği gibi, panel açısı 26° ve azimuth açısı 0° olarak belirlenmiştir [3, 31].

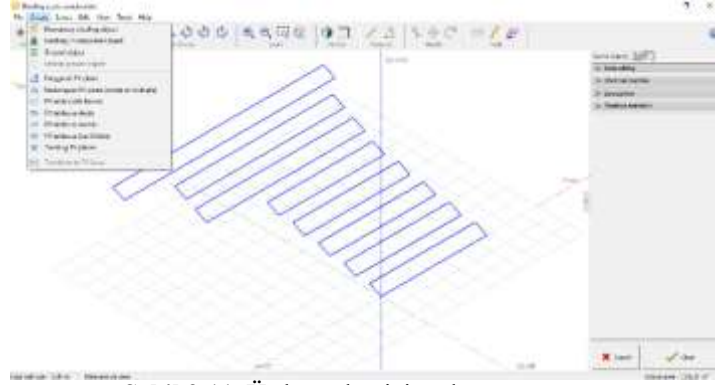


**Şekil 2.10.** Panel açısı ve Azimuth açısı ekran görüntüsü

PVsyst programında yönlendirme ve sistem bölümüne ait veriler sisteme tanıtıldıktan sonra diğer bölümlere ait verileri sisteme aktarmadan da sistemin varsayılan değeri alınarak sistemdeki verilere göre simülasyonun yapılmasına izin verir. Ancak, ayrıntılı bir analiz yapılmak istenirse gölgeleme, kayıplar ve horizon bilgileri girilir.

### 2.4. Gölgeleme Bölümü

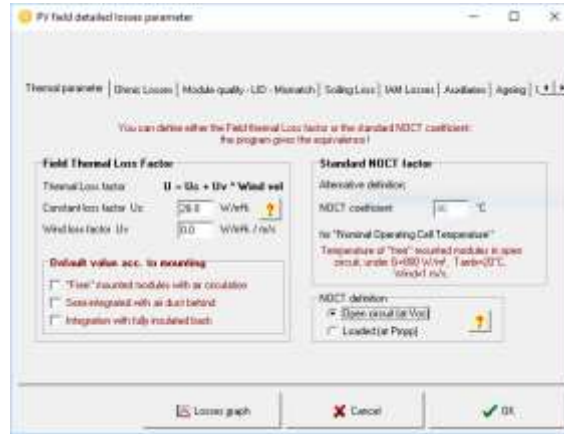
Bu bölümde PVsyst programı ile 3D boyutlu olarak santralin gölgeleme hesapları yapılmaktadır. Lebit Enerji güneş santralinin kurulu olduğu yerde herhangi bir gölgelemeye sebebiyet verecek nesne olmamasına rağmen, panellerin diziliminden kaynaklanan bir gölgeleme olabileceğini düşünerek, Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi üç boyutlu çizimi yapılarak sisteme aktarıldı.



Şekil 2.11. Üç boyutlu çizim ekran görüntüsü

## 2.5. Kayıplar Bölümü

Bu bölümde, Kablo kayıpları, panel kayıpları, tozlanma kayıpları gibi santral kayıplarının programa nasıl girildiği anlatılmaktadır. Şekil 2.12.'de termal (sıcaklık) kayıpları, omik kayıpları (DC kablolama, AC kablolama ve Trafo bağlantı kablolarında kaynaklanan), panel kayıpları, uyumsuzluk kayıpları, tozlanma/karlanma kayıpları, yansıma kayıpları, harici ekipman kayıpları (lambda, kamera, klima vb.), panel yaşlanma kayıpları ve arıza bakım kayıpları olarak sisteme aktarılır.



Şekil 2.12. Kayıplar bölümü ekran görüntüsü

## 2.6. Horizon (Ufuk Çizigisi) Bölümü

Bu bölümde, ufuk çizgisinin programa tanıtılması açıklanmaktadır. Lebit Enerji güneş santraline ait ufuk çizgisine ait bilgiler sisteme aktarıldığında Şekil 2.13.'deki ekran görüntüsü elde edilir.



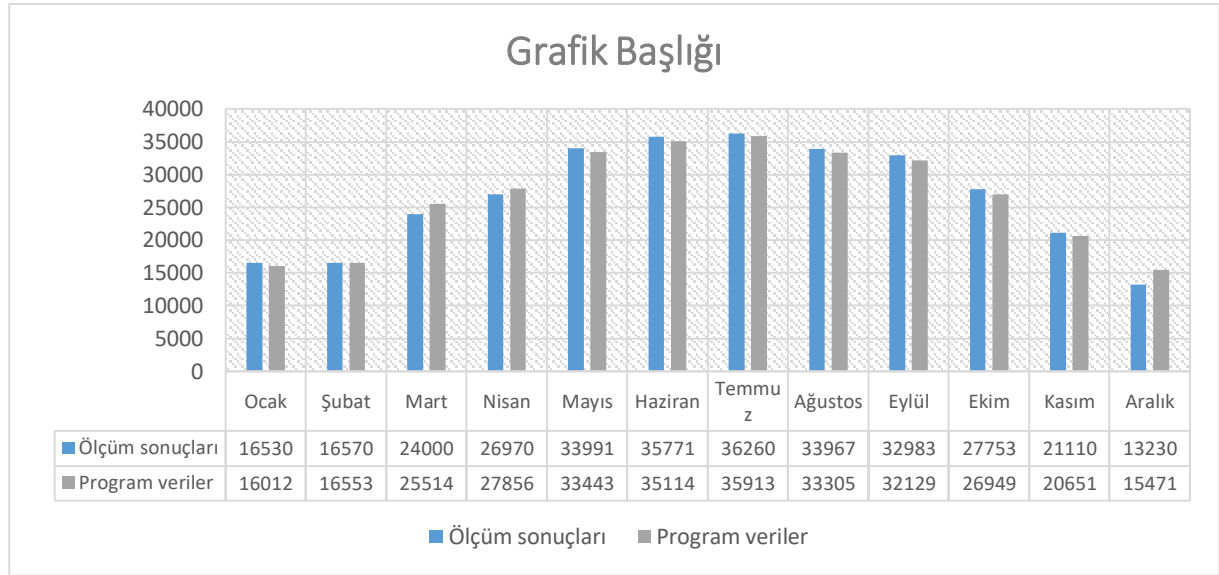
Şekil 2.13. Horizon bölümü ekran görüntüsü

## 2.7. Simülasyon Bölümü

Santrale ait bütün verilerin rapor ve tablolar halinde analiz anlatılmaktadır. Ana ekran üzerindeki report sekmesine tıklandığında, Lebit Enerji güneş santralının kurulum yeri bilgilerine, panel açısı bilgisine, panel ve inverter bilgilerine, seri ve paralel bağlı panel bilgisine, PV sistem kayıp bilgilerine (termal, tozlanma, yansıma, uyumsuzluk, vb.), horizon (ufuk çizgisi) veri ve grafiğine, 3 boyutlu çizime ve gölgeleme kaybı grafiği ile PV sisteminin, üretim verilerine ve performans bilgisine ve enerji akış diyagramına ulaşılır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

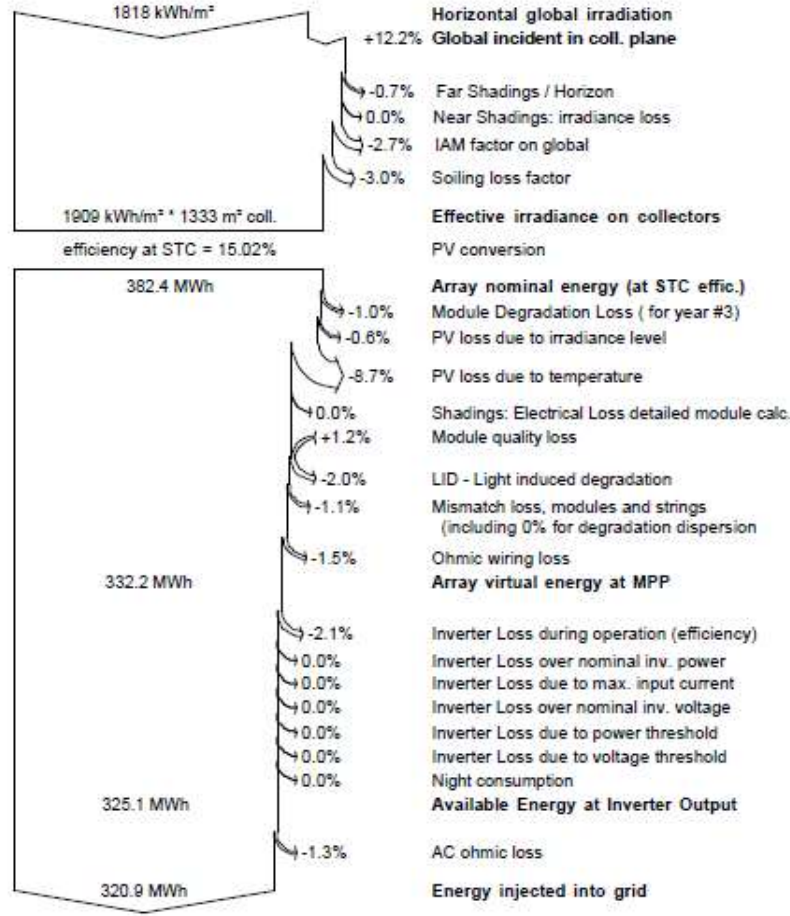
Lebit Enerji güneş santraline ait üretim değerleri ile PVsyst programı ile elde edilen simülasyon değerlerinin karşılaştırılması, Şekil 3.1.'de verilmiştir. Şekil 3.1.'de verilen tablo incelendiğinde; Lebit Enerji güneş santralinde, bir yıl boyunca toplamda 319,1 MW enerji üretilmesine karşılık, PVsyst programı 320,9 MW enerji üretilbileceğini öngörmüştür. Üretim değerleri ile simülasyon değerleri arasında sadece 1.8 MW yani %0.56'lık bir fark bulunmaktadır.



**Şekil 3.1.** Üretim değerleri ile simülasyon değerlerinin karşılaştırılması

Ocak, Mayıs, Haziran, Temmuz, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında üretim değerleri simülasyon değerlerinden yüksek iken, Şubat, Mart, Nisan, Ağustos ve Aralık aylarında simülasyon değerleri üretim değerlerinden yüksek çıkmıştır. Üretim değerleri ile simülasyon değerleri arasındaki fark, en az Şubat ayında iken, en fazla Aralık ayında oluşmuştur. Aralık ayında meydana gelen bu fark, yağın karın birikintisine sebep olması ve temizleme işleminin gecikmesinden kaynaklanmıştır. En fazla üretim 36,260 MW ile Temmuz ayında, en düşük üretim ise 13,230 MW ile Aralık ayında olmuştur. Bu durumun sebebi de en fazla ışımının Temmuz ayında, en az ışımının ise Aralık ayında elde edilmesidir.

Şekil 3.2.'de Lebit Enerji güneş santraline ait simülasyon sonucu elde edilen enerji akış diyagramı bulunmaktadır. Güneş panelleri 26°'lik bir açı ile yerleştirildiğinde panel yüzeyine gelen ışımın %12.2 oranında artmaktadır. Horizontan kaynaklanan kayıp %0.7, yansımadan kaynaklanan kayıp %2.7, tozlanma ve karlanmadan kaynaklanan kayıp %3 iken gölgelemeden kaynaklanan kayıp %0 olarak ölçülmüştür. Panel yaşlanma kaybı %1, panel zayıf ışık kaybı %0.6, panel sıcaklık kaybı %8.7, panel yansıma kaybı %2, panel uyumsuzluk kaybı %1.1 ve doğru akım kablolama kaybı %1.5 olmak üzere toplamda %13.7'lik dize kaybı, %2.1 inverter kaybı ve %1.3 değerinde alternatif akım kablolama kaybı bulunmaktadır.



Şekil 3.2. Enerji akış diyagramı

#### 4. Sonuç ve Öneriler

PVsyst programı, bir PV sistem kurulumunun tasarımı aşamasında, üreticiye, ilgilendiği coğrafi bölgeye yapılacak olan yatırımının ne kadar sürede geri alınabileceğini, diğer bir ifade ile kara geçiş noktasının tespit edileceği gibi, kurulmuş bir pv sisteminin, revize edilerek optimizasyon çalışmalarında ciddi bir araç olarak kullanılabilir.

Kurulması planlanan PV santrallerinin ayrıntılı olarak simülasyonu adımlar takip edilerek kolaylıkla yapılabilir. PVsyst programını kullanmak isteyenler için, bu çalışma bir kullanım kılavuzu örneği teşkil edebilir.

PVsyst programı kullanıcı dostu bir program olarak altyapısında şu an üretimde olan veya daha önceden üretilmiş olan ekipmanların katalog bilgilerini bulundurmasının yanında tasarım yapılacak ürünlerin de sisteme kaydedilip kullanılmasına izin vermesi programın daha işlevsel kılmaktadır.

PVsyst programı ile kurulacak olan PV sisteminde, maksimum güneş ışımalarının elde edilebilmesi için, güneş panelinin açısı tespit edilebilir. Güneş paneli açısının mevsimlik veya aylara göre ayrı ayrı da ifade edilebilmesi, PV sistemlerin yıl boyunca maksimum ışımaya elde etmesine olanak sağlar. Ayrıca, sabit veya hareketli sistemler kullanılarak güneş paneli açısının belirlenmesine de sağlanmaktadır.

PVsyst programı ile kurulacak olan PV sisteminde, farklı özellikte (polikristal, thin, vb.) güneş panelleri seçilerek, güneş panellerinin verimliliklerinin karşılaştırılması konulu çalışmalar yapılabilir.

PVsyst programı ile yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımının yaygınlaştırılmasının en büyük sebeplerinden biri olan karbondioksit salınımı miktarı da tespit edilebilir.

PVsyst programında, 3 boyutlu çizim özelliği ile gölgeleme kayıplarının hesaplanması sağlanabilmektedir. Yapılan çizimde, Lebit Enerji güneş santralinde gölgelemeden kaynaklanan bir kayıp olmadığı ispatlanmıştır.

Bu çalışmada, Siirt ilinde, 200kWp kurulu güce sahip olan Lebit Enerji güneş santraline ait bilgiler, PVSyst programı ile birebir olarak analiz edildi. Bir yıllık gerçek üretim değerleri ile PVSyst programı ile elde edilen simülasyon değerleri karşılaştırıldı ve % 0.56' lik çok küçük bir fark ile yakınsadığı gözlemlenmiştir.

Yapılan analiz ve incelemeler neticesinde, düzenli toz ve kar temizliği yapılırsa, daha fazla enerji üretimi sağlanabilir.

PVSyst programı, maliyet hesabını da yapabilen bir program olmasına rağmen, yapılan masraflara ait bilgilere ulaşamadığından, bu özelliği kullanılamamıştır. Ancak, yeni kurulacak olan bir PV sisteminin üreteceği enerji miktarı kadar, maliyet hesabının yapılması da önemli olduğu için, programın bu özelliği yeni kurulacak olan PV sistemleri için kullanılabilir.

### **Yazarların Katkısı**

Uğur ARİFOĞLU makalenin yürütülmesini organize etmede, ilerlemesini gözetmek ve sorumluluğunu üstlenmede, fikir olarak makalenin hipotezini veya fikrini oluşturmada, çalışmanın teslim edilmesinden önce, dil ve yazımsal düzeltmelerden bağımsız olarak bilimsel anlamda çalışmayı yeniden değerlendirmede; Hamit Kürşat DEMİRYÜREK sonuçlara ulaşılmasını sağlayacak metodu belirleme ve uygun olarak tasarlamada, çalışma için gerekli kaynak taramasında sorumluluk almada, çalışmanın tamamının ya da önemli bölümlerinin yazılmasında; Mehmet BOLAT simülasyonu gerçekleştirilen tesisin gerçel datalarının toplanmasında, verilerin düzenlenmesi ve raporlanmasında, simülasyonların yapılması için sorumluluk almada, elde edilen verilerin mantıklı bir şekilde değerlendirilip karşılaştırılarak sonuçlandırılmasında 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] Yılmaz Ş. 2015. Kahramanmaraş İl Merkezi Koşullarında Optimum Enerji Verimliliğine Sahip Fotovoltaik Temelli Bir Elektrik Jeneratörünün Modellenmesi ve Gerçekleştirilmesi. Doktora Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- [2] Küçüköze O.M. 2016. Erzincan İlinde Güneş Enerjili Elektrik Üretim Sisteminin Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Erzincan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzincan.
- [3] Ajder A. 2011. Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimum Eğim Açısının Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [4] <http://Globalsolaratlas.info/> (Erişim Tarihi: 17.12.2017).
- [5] <http://www.teknosayfa.com/gunes-enerjisi-kullanimi-2016-yilinda-rekor-seviyelere-ulasti-h391.html> (Erişim Tarihi: 17.12.2017).
- [6] Kılıç Ç.F. 2015. Güneş Enerjisi Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. Mühendis ve Makina, 56 (671): 28-40.
- [7] <https://www.setav.org/dunyada-ve-turkiyede-yenilenebilir-enerji/> (Erişim Tarihi: 17.12.2017).
- [8] <http://www.eie.gov.tr/mycalculator/default.aspx>. (Erişim Tarihi: 17.12.2017).
- [9] Haydaroglu, C., Gümüş, B., 2016. Dicle Üniversitesi Güneş Enerjisi Santralinin PVSyst İle Simülasyonu ve Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi. Dicle Üniversitesi Fakültesi Mühendislik Dergisi, 7 (3): 491-500.
- [10] Rüştü E. 2000. Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Performansın Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- [11] Nirwan D., Thakur T. 2017. Performance Evaluation of Grid Connected Solar PV Plant Using Pvsyst. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 4 (5): 3190-3194.

- [12] Yadav P., Kumar N., Chandel S.S. 2015. Simulation And Performance Analysis of A Lkwp Photovoltaic System Using Pvsyst. *Computation of Power, Information And Communication (ICCPEIC)*, 3 (5): 358-363.
- [13] Tallab R., Malek A. 2016. Predict System Efficiency of 1 MWc Photovoltaic Power Plant Interconnected to the Distribution Network Using PVSYST Software. *Conference: 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, At Marrakech–Ouarzazate, Morocco, 41-44.
- [14] Özerdem Ö.C., Tackie S., Biricik S. 2015. Performance Evaluation of Serhatköy (1.2 MW) PV Power Plant, *IEEE*, 3 (5): 398-402.
- [15] Kandasamy C.P., Prabu P., Niruba K. 2013. Solar Potential Assessment Using Pvsyst Software. *IEEE*, 5 (6): 667-672.
- [16] Soualmina A., Rachid C. 2016. Modeling And Simulation Of 15MW Grid-Connected Photovoltaic System Using Pvsyst Software. *IEEE*, 7 (6): 9-12.
- [17] Raj A., Gupta M., Panda S. 2016. Design Simulation And Performance Assessment of Yield And Loss Forecasting for 100 Kwp Grid Connected Solar PV System. *Next Generation Computing Technologies (NGCT)*, 3 (5): 528-533.
- [18] Morshed S., Chowdhury T.H., Rahman A. 2015. Designing of a 2kW Stand-alone PV System in Bangladesh Using PVsyst, Homer and SolarMAT. *IEEE*, 3 (7): 9-12.
- [19] Lalwani M., Kothari D.P., Singh M. 2010. Investigation of Solar Photovoltaic Simulation Softwares. *International Journal of Applied Engineering Research Dindigul*, 3 (1): 87-92.
- [20] Sekçuloğlu S.A. 2012. Fotovoltaik, Rüzgâr ve Hibrit Sistemlerin Tasarımı ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [21] Bayrak G. 2011. Balık Çiftlikleri İçin Tasarlanan, Şebekeden Bağımsız, 1.1 kW'lık Kurulu Güce Sahip PV Sistemin Performans Analizi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11).
- [22] Yılmaz U. 2008. Gökçeada'da Yenilenebilir Enerji Kaynaklarıyla Elektrik Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [23] McGowan J.G., Manwell J.F., Warner C.L. 1996. Hybrid Wind/PV/Diesel Hybrid Power Systems Modeling and South American Applications. *Renewable Energy*, 836-847.
- [24] Bali S. 2015. Güneş Enerjisi Sektöründe Kullanılan Bilgisayar Destekli Simülasyon Programları; PV\*SOL Expert Programı İncelemesi. VIII. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu Bildiriler Kitabı, İstanbul, 127-132.
- [25] Çiftçi F. 2016. Güneş Enerji Sistemlerinde Farklı Cins Panellerle Maliyet ve Güç Analizinin Yapılması. Yüksek Lisans Tezi, Bahçeşehir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Kıyanççek E. 2013. Fotovoltaik Sistemlerin Boyutlandırılması için Pvs2 Paket Programının Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [27] Lima J.B.A., Prado R.T.A., Taborianski V.M. 2006. Optimization of tank and flate-plate collector of solar water heating system for single-family households to assure economic efficiency through the TRNSYS program. *Renewable Energy*, 31: 1581-1595.
- [28] Gültuna K.M. 2015. Gürsu-Bursa Fotovoltaik Güç Santralının Simülasyonu Teknoekonomik ve Çevresel Optimizasyon. Yüksek Lisans Tezi, Başkent Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [29] Demiryürek H.K. 20178. 200kwp Kurulu Güçteki Lebit Enerji Güneş Santralının PVsyst ile Tasarımı ve Üretim Değerleri ile Simülasyon Değerlerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisan Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [30] Şahin M.E., Okumuş H.İ. 2013. Güneş Pili Modülünün Matlab/Simulink ile Modellenmesi ve Simülasyonu. *Elektrik Mühendisleri Odası Bilimsel Dergi*, 3 (5): 17-25.
- [31] Ekici B.B. 2015. Ankara'da teras çatılarda kurulacak fotovoltaik sistemler için optimum eğitim açısının belirlenmesi. 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, Ankara, 437-447.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Diferansiyel Evrim Algoritması Uç Öğrenme Makinesi (DGA-UÖM) Kullanarak Derin Özelliklere Dayalı EKG İşareti Sınıflandırma Tekniği**

Aykut DİKER<sup>1\*</sup>, Engin AVCI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bandırma Onyedi Eylül University, Department of Software Engineering, Bandırma, Balıkesir

<sup>2</sup>Fırat University, Faculty of Technology, Department of Software Engineering, Elazığ  
(ORCID: 0000-0002-1207-8548) (ORCID: 0000-0001-6278-3221)

---

### **Abstract**

The movements of electrocardiogram (ECG) signals are very important in the diagnosis of heart disorders. Machine learning methods are widely used to classify ECG signals. The aim of this work is to contribute to the classification of ECG signals using the Differential Evolution Algorithm Extreme Learning Machine (DGA-ELM). In this paper, a public heart records in Physionet was utilized to classify ECG signals. The pre-processing was applied to eliminate the ECG signals from noise. Then, the ECG signals were converted to spectrograms for the feature extraction stage. A method was used originated on Convolutional Neural Network (CNN) to obtain the attributes of ECG signals. The DGA-ELM algorithm was used to select the best activation function. In this context, the best cost value 79.37% with a sigmoid activation function and 750 iteration in the classification made with DGA-ELM was achieved.

**Anahtar kelimeler:** Electrocardiogram, Differential Evolution Algorithm, Classification, Spectrogram.

---

## **ECG Signal Classification Technique Based on Deep Features Using Differential Evolution Algorithm Extreme Learning Machine (DEA-ELM)**

---

### **Öz**

Elektrokardiyogram (EKG) işaretlerinin hareketleri kalp hastalıklarının teşhisinde çok önemlidir. Makine öğrenme yöntemleri, EKG işaretlerini sınıflandırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Diferansiyel Evrim Algoritması Uç Öğrenme Makinesinin (DGA-UÖM) kullanarak EKG işaretlerinin sınıflandırılmasına katkıda bulunmaktır. Bu çalışmada, EKG işaretlerini sınıflandırmak için Physionet'teki açık erişimli kalp kayıtları kullanılmıştır. EKG işaretlerini gürültüden arındırmak için ön işlem süreci uygulanmıştır. Daha sonra, özellik çıkarımı aşaması için EKG işaretleri spektrogramlara dönüştürülmüştür. EKG işaretlerinin özelliklerini elde etmek için Konvolüsyonel Sinir Ağına (KSA) dayanan bir yöntem kullanılmıştır. DGA-UÖM algoritması en iyi aktivasyon fonksiyonun seçmek için kullanılmıştır. Bu bağlamda, DGA-UÖM ile yapılan sınıflandırmada sigmoid aktivasyon fonksiyonu ve 750 iterasyon ile % 79.37 en iyi maliyet değerine ulaşılmıştır.

**Keywords:** Elektrokardiyogram, Diferansiyel Gelişim Algoritması, Sınıflandırma, Spektrogram.

---

### **1. Introduction**

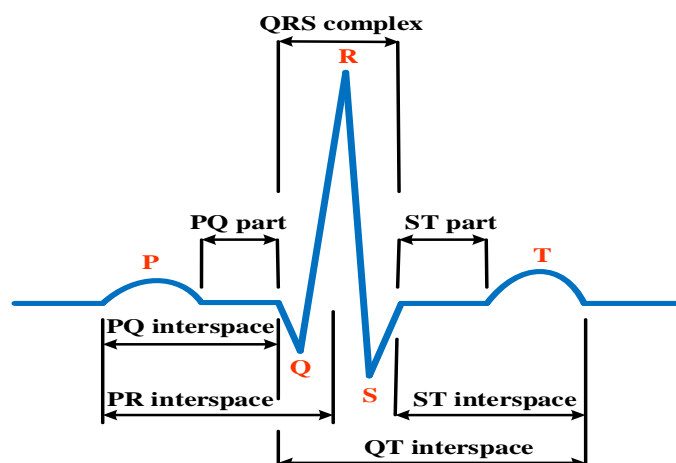
The Electrocardiogram (ECG) is an alteration of the human heart. ECG's have comprised of different critical areas. These sections are P, QRS complex and T, which is seen as in Figure 1 [1-4]. Throughout atrial depolarization, the P wave comprises. QRS wave that can be separated partitions happens [1, 2]. Detection and classification of the ECG has become one of the most notable powerful and unique instruments in the ECG applications [5, 6]. Furthermore, the timely diagnosis of heart disease is a very important for humans suffers from heart trouble. Analysis of ECG is of a very critical factor in the determination of heart diseases [7]. Particularly, ECG classification has been made effective algorithms by using computer-aid systems [8]. Researchers have developed many works for the identification and

---

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

Geliş Tarihi: 20.11.2019, Kabul Tarihi: 08.04.2020

separate as normal and abnormal of the heart record for many years. For examples of classification techniques are applied by Wavelet transform [9], Radial basis function technique [10], Support Vector Machine (SVM) [11], Extreme Learning Machine (ELM) [12], Deep learning method [13]. Deep learning is a new method that is have been done many studies in the literature. For example, Image classification [14], Biomedicine applications (etc. ECG signal classification) [15, 16] and Agriculture [17]. Deep learning structures are multiple levels and include many coefficients. Automatic encoders constrained Boltzman Machines and Convolutional Neural Networks (CNN's) are used structures which is common [18]. CNN's are one of the most studied structures and comprise of two-part these are feature extraction and classify [18, 19]. CNN, which is a specialized architecture of deep learning, is particularly successful in image processing [20-22].



**Figure 1.** A typical ECG signal and important sections

Though, it has some difficulties such as the availability of local minima's, indefinite learning percentage, the election of the numeral of hidden neurons and overfitting [23, 24]. In order to solve the disadvantage of ELM, there are various nature-inspired population-based techniques with global search abilities such as Differential Evolutionary (DE) [25, 26], Particle Swarm Optimization (PSO) [27], Genetic Algorithm (GA) [28], Ant Colony Optimization (ACO) [29], Artificial Bee Colony algorithm (ABC) [30]. The ECG diagnostic is employed generally features obtained from the P wave, QRS complex and T wave which are crucial sections of heart records. Meanwhile correct defining of the heart signals is a significant and critical process for the experts which is to make a correct detection decision. By using machine learning systems is detected of the heart signal has a major effect on the diagnostic of heart disease. In this study, the impact of the Differential Evolutionary Extreme Learning Machine based (DEA-ELM) technique is analyzed of heart records. The novelty of our technique is the usage of by the most appropriate values, which is an efficient optimization method DEA for ECG classification to overcome the disadvantage (e.g determine of the best transfer function and the number of hidden neurons) of ELM. Besides, since accurate feature extraction is required for accurate ECG classification, the procedure that employs of deep features by using CNN which is based on deep learning techniques of ECG signals for feature extraction was utilized in this work. The main aim of this contribution is to determine the best activation function which is the above mentioned disadvantage of ELM to classify ECG signals by DEA.

The paper is organized as: the ECG records and method which is used in ECG separated as normal and abnormal are explained in Part 2. Classification results with DEA-ELM classifiers are given in Part 3. The concluding are present in respectively Part 4.

## 2. Material and Method

The blocks schema of the employed technique for ECG signal classification is remarked in Figure 2. This method can be divided into four sections as in Figure 2. Firstly, ECG signals are presented from the PTBDB database for the preprocessing. The preprocessing process is completed in two sections, as



baseline-wandering and eliminating 60 Hz noise. After the preprocessing steps, ECG signals which are acquired from Physionet were converted to image using spectrogram. The next step of the block diagram is feature extraction that deep features are obtained from CNN. The next step of the proposed model is optimization and classification, in which the activation function of ELM are optimized. The last stage of the procedure is to classify the ECG signals.

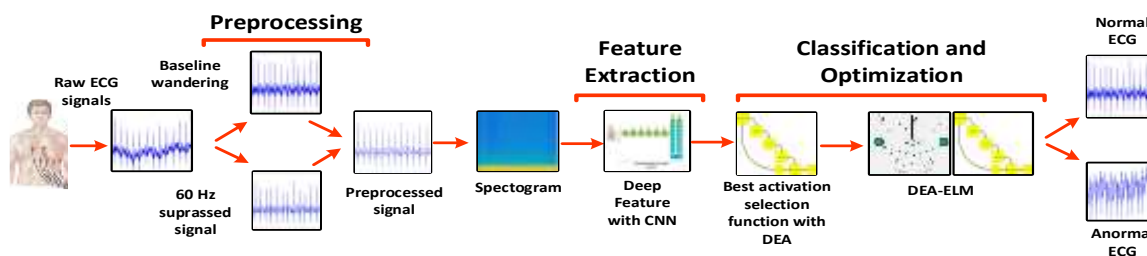


Figure 2. The scheme of the recommended structure of ECG signal classification

### 2.1. Dataset description

In this paper, so as to evaluate the adequacy of ELM classifiers, PTBDB which is publicly on the Physionet were utilized [31]. PTB ECG diagnostic dataset has totally 549 records. The samples were gathered from 294 patients. Each of the samples contains 15 synchronously registered signals. Heart signals in the dataset are contained normal and different disorder classes as shown in Figure 3 [32, 33].

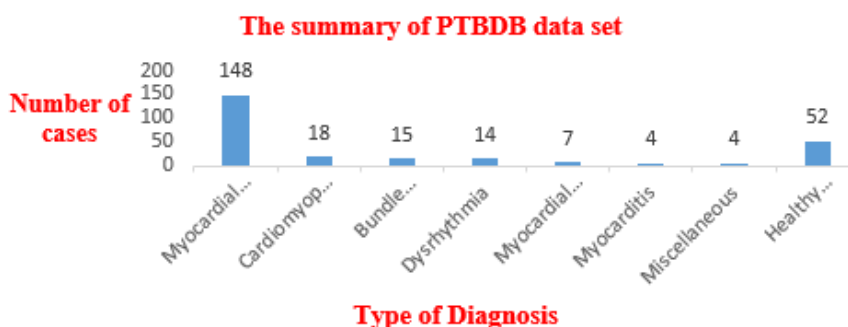


Figure 3. Distribution of diagnoses of PTB dataset

We achieved experimental study just on healthy and abnormal record. Therefore, 80 of abnormal and 80 healthy records were obtained from the PTB ECG database, separately. Besides, in this study, all measurements were obtained from lead II on the PTB database as seen in Figure 4.

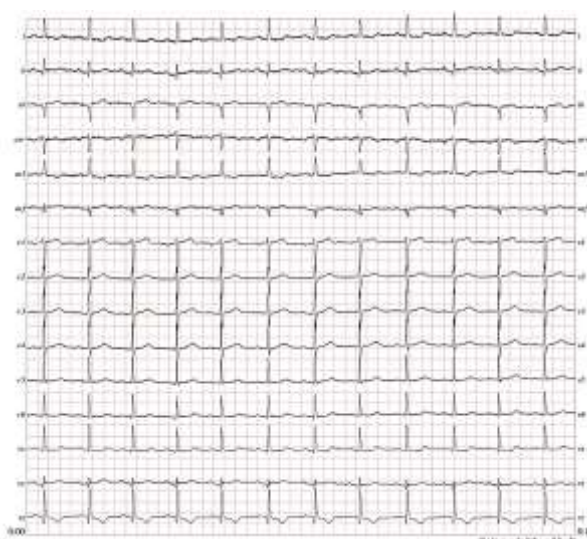
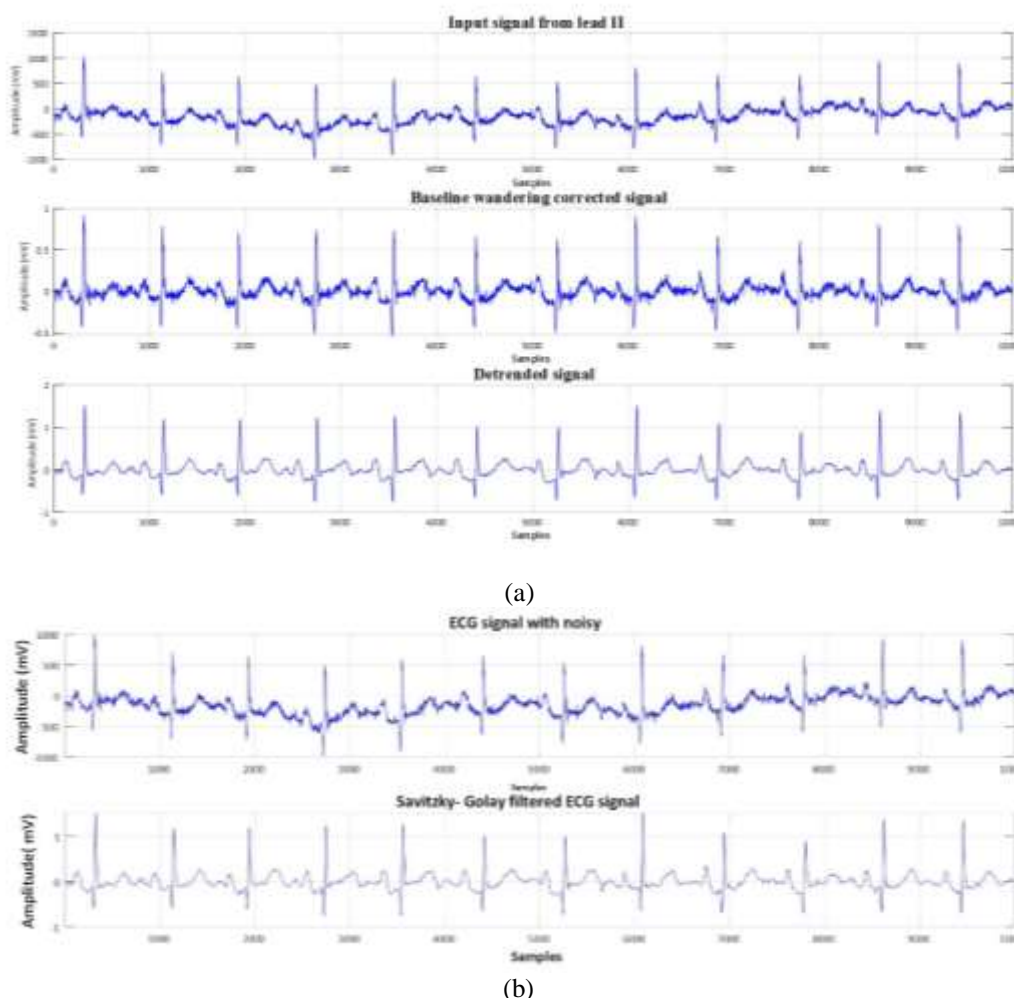


Figure 4. ECG recording in the PTB dataset [34]

## 2.2. Preprocessing

Noise and interference can be undesirable which is it causes oscillations in signal processing applications. ECG involves an excessive number of unrestful noises, so this step has an important task for ECG classification application [35],[36]. Furthermore, it is applied as a usual analysis stage in most biomedical practice to obtain stable and clear signals. ECG signals include various types of disturbance, like baseline wandering and structure interactions. The symlet filter and the denoising operate were employed to correct the baseline wandering In addition, line interactions and system interactions were decreased at this step. Then, these disturbances on heart recordings were eliminated using the Savitzky-Golay filter given in Figure 5.



**Figure 5.** (a) Preprocessed ECG signal (b) Savitzky-Golay applied ECG signal

## 2.3. Feature Extraction

The extraction of specific properties from biomedical signals (ECG, EEG, etc.) is an important step for the classification process. Following the preprocessing step, it is required to achieve the characteristic properties for utilization in the last phase. In this study, were obtained deep feature by using CNN. Therefore, AlexNet structure has used which is obtained from Convolutional Neural Network architectures.

### 2.3.1. Convolutional Neural Network Structure

CNN's are a derivative of multiple structures generated which is based on biology [18]. CNN has become a popular method on account of processing capabilities in various applications [37, 38]. CNN's

are consist of a lot of stages as shown in Figure 6. In each stage has three stages which are including the attribute pooling stage, the filter bank stage, and the non-linear stage. There are many kernels in the filter bank stage for diverse attribute subtraction.

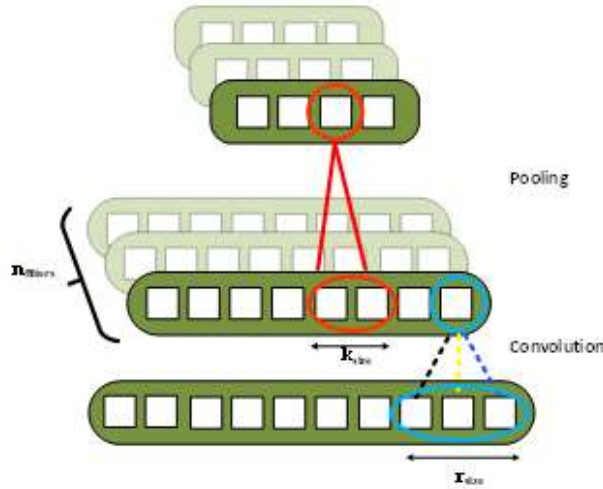


Figure 6. Convolutional network structure

In the pooling stage, every attribute project is processed apart from. Every project ensures the mean or maximal rate of the adjacent rate [18].

### 2.3.2. Layers used in CNN structure

In this study, AlexNet is used which is a CNN architecture to take out attributes. Convolution stages have implicated Input-Convolution-ReLu-Pooling-Fully connected stages. Rectified linear unit (ReLU) used in AlexNet architecture is the activation function which is a very fast learning speed. ReLU has a higher performance than sigmoid and tanh which are other activation functions. The ReLU activation function fulfills a threshold process to each input element where values less than zero are set to zero thus the ReLU is dedicated by Equations 1,

$$f(x) = \max(0, x) = \begin{cases} x_i, & \text{if } x_i \geq 0 \\ 0, & \text{if } x_i < 0 \end{cases} \quad (1)$$

ReLU verifies the values of inputs less than zero and thus forces them to zero and eliminates the vanishing gradient problem observed in previous activation function types [39]. The CNN structure used to the extraction of attributes of the heart records attained from the spectrograms is seen in Figure 7.

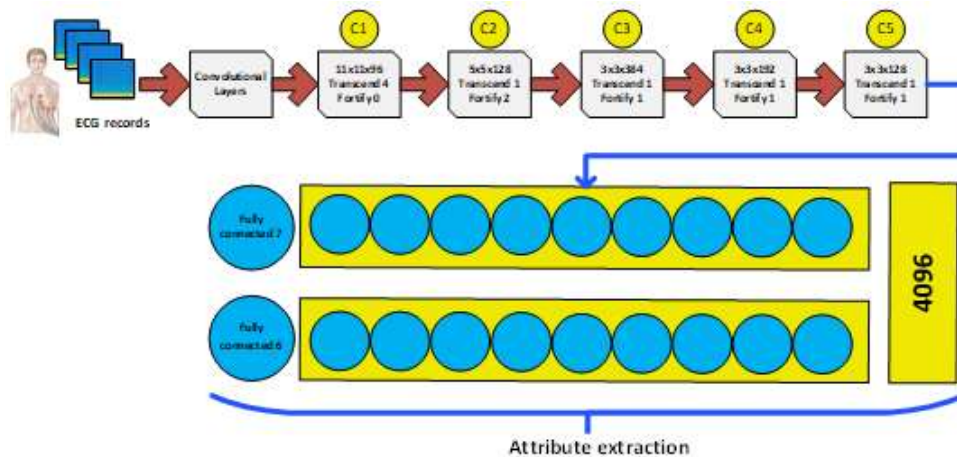


Figure 7. CNN architecture used in this study.

### 2.4. Extreme Learning Machine

A machine learning technique called ELM was put forward by ref [23] which is the last step weights may only set throughout training. Furthermore, these weights casually are assigned with other weights and thresholds [23],[24],[40]. The ELM scheme is as seen in Figure 8. ELM is a comprehensive type of SLFN and the hidden layer is not essential to set. SLFN structure is indicated in Figure 8.

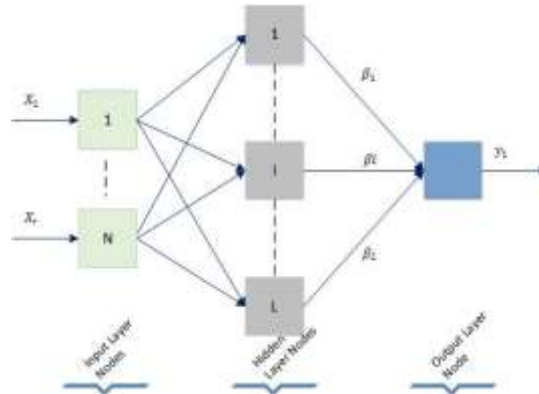


Figure 8. SLFN structure

For N arbitrarily diverse instance  $(x_i, t_i)$ , the ordinary with H covert nodes and the transfer function  $h(x)$  is explicated by  $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}]^T \in R^D$  and  $t_i = [t_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iK}]^T \in R^K$ . SLFNs are comprised as is given in Equation 2:

$$\sum_{i=1}^L \beta_i h_i(x_j) = \sum_{i=1}^L \beta_i h_i(w_i \cdot x_j + b_i) = o_j, \quad j \in 1, N \tag{2}$$

On the contrary, the norms in the machine learning structures indicate that all covert nodes that need to be set in the structure are covert nodes/ structures which are composed of coincidentally in the ELM learning procedure. Hidden node indexes are the basis for objective functions or training datasets. The hidden node indexes in ELM are not only separate for themselves but also separate, with standard SLFN with hidden nodes that have a detailed technique and partitioning capability [23,24,40]. ELM architecture is as in Figure 9.

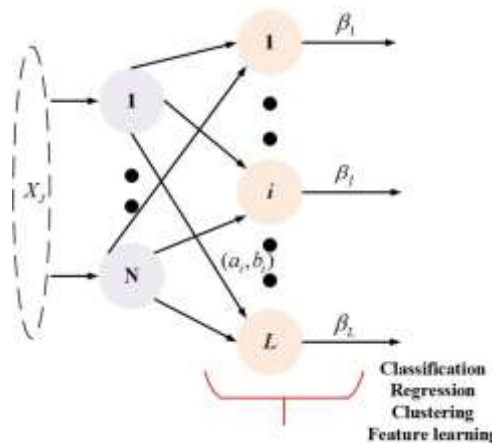


Figure 9. ELM structure

Unlike traditional learning methods, the ELM method can incidentally generate hidden node coefficients. In Equation 1,  $w_i = [w_{i1}, w_{i2}, \dots, w_{iD}]^T$ , is the weight vector connected to the hidden node and the input nodes,  $\beta_i = [\beta_{i1}, \beta_{i2}, \dots, \beta_{iK}]^K$  is the weight vector and  $b_i$  is the  $i$ th node.  $h(x)$  transfer object and hidden nodes L are given in Equations 3, 4, 5.

$$H\beta = T \tag{3}$$

$$H = \begin{bmatrix} h_1(w_1x_1 + b_1) & \cdots & h_L(Lx_1 + b_L) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_1(w_1x_N + b_1) & \cdots & h_L(w_Lx_N + b_L) \end{bmatrix}_{NxM} \tag{4}$$

$$\beta = \begin{bmatrix} \beta_1^T \\ \vdots \\ \beta_L^T \end{bmatrix}_{M \times 1} \quad \text{and} \quad T = \begin{bmatrix} t_1^T \\ \vdots \\ t_L^T \end{bmatrix}_{N \times 1} \tag{5}$$

H is called the hidden part output sample, the ith column of H is the ith hidden neurons output vector. Additionally, ELM is formulated as in Equation 6.

$$\beta = H^\dagger T \tag{6}$$

$H^\dagger$ , characterize Moore-Penrose, the universalize inverse of H matrix to earn a least-square solve [23, 40-43].

### 2.5. Differential Evolution Algorithm

Many problems encountered in science, in social sciences, and in application fields of theirs can be modeled as linear or nonlinear optimization problems. Most of the problems in the application have a non-linear structure. There are many techniques, which is have been developed to solve non-linear problems. The difficulty ratings of the troubles can be also increase based on the number of variables and data types. The solution of such troubles by deterministic techniques has problems both in modeling and in the solving process based on the problem architecture. Heuristic techniques have been improved to accomplish the above problems. Particularly, heuristics the population-based can produce results quickly thanks to multi-point search procedures. One of the improved algorithms for solving the problems of continuous parameters is the Differential Evolutionary Algorithm (DEA) which is developed by Price and Storm in 1995 [44]. DEA is a population-based heuristic optimization method which is based on Genetic Algorithms (GA) in terms of operations and operators, and it is can provide effective results which especially in cases continuous data is the problems [44–46]. Meanwhile, DEA is performed research at many points. During the iterations, better results for the solution of the problem with the help of the operators are searched. Besides, aim of DEA is to improve the solution performance of the problems in which coding with real values is used, with some changes in genetic operators. Crossing, mutation, and selection operators in GA are also used in the DEA. Unlike GA, each operator is not applied to the whole population respectively. Chromosomes are processed one by one and it is obtained a new individual using a random selection of three other chromosomes. Throughout this operations, mutation and crossover processors are used. The suitability of the young chromosome obtained and with the existing chromosome are comparing, and it is transmitted to the following population as a young individual with better fitness. Thus, the selection operator is also used. The quality of the solutions produced is measured by the value they produce for the objective function (fitness value) [44]. The main advantages and important parameters of the DEA algorithm as can be inferred in Table 2;

**Table 2.** Advantages and important parameters of DEA algorithms.

<b>Advantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simple Structure</li> <li>• Ease of use</li> <li>• Speed and robustness [47, 48].</li> </ul>
<b>Parameters</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NP (Number of Population-size)</li> <li>• CR (Crossover Rate)</li> <li>• F (Scaling Factor) [49].</li> </ul>

An optimization involving the D parameter can be symbolized by a D vector. A population of NP population vectors is produced initially randomized in DEA. This population is accomplished

developed by performing mutation, crossover and selection processors [49]. The major stages of the DEA can be given as seen in Figure 10. The number of variables of the problem determines the number of genes for each chromosome. The population size (number of chromosomes) in DEA should always be greater than 3, because three chromosomes are required except for the existing chromosome for the production of new chromosomes.

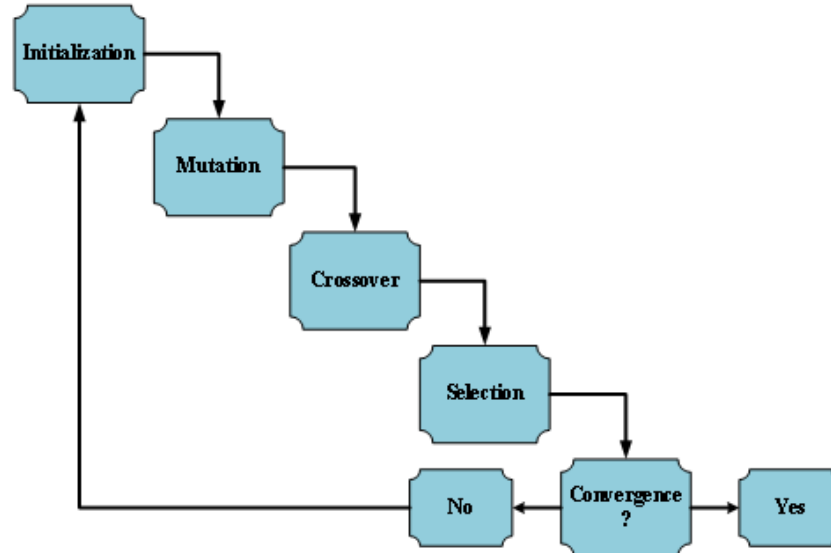


Figure 10. Differential algorithm steps

The mutation is to make changes in randomly determined amounts on some part genes of the present chromosome. Thanks to these various, the solution spot showed by its chromosome moves in the solution domain. In order for the mutation to reach its goal, the changes must be determined in the right direction and the right quantity of movement should be determined. In the DEA, three chromosomes are selected apart from the chromosomes to be exposed to mutation. The first two of chromosomes which is of selected are taken the difference. Then, this difference chromosome is multiplied by the scaling factor parameter. This parameter usually takes values between 0-2. With obtained weighted difference chromosome is collected with the selected third chromosome. Thus, the result of the mutation chromosome will be used in the crossover [44]. Figure 11 shows that DEA pseudo code used in this study.

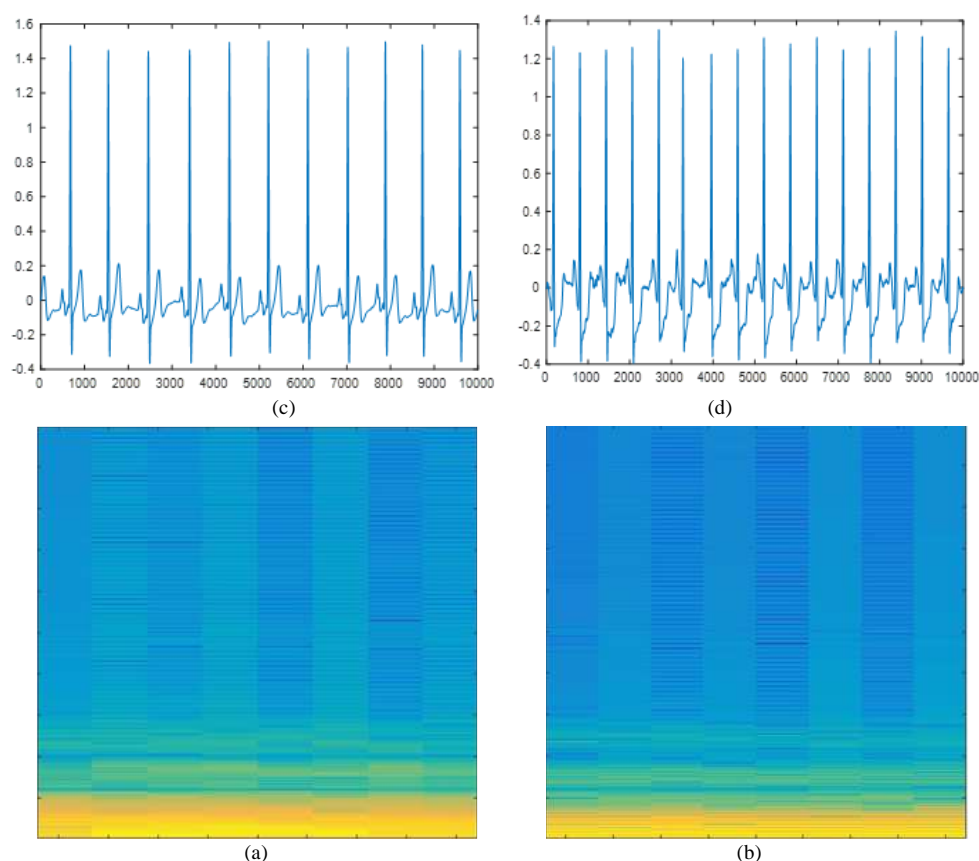
```

Require: TF= {sig, sin, tribas, radbas, hardlim};
NHN: Number of Hidden neurons,
pCR: Crossover Probability,
nPop: Number of population,
nVar: Number of mutation,
VarMin_1, VarMax_1, VarMin_2, VarMax_2: Parameter bounds,
TF: Transfer function, MaxIt: The maximum number of learning iterations, Initialization
for i=1:nPop
    pop(i).NHN=unidrnd(VarMax_1);pop(i).TF=unidrnd(VarMax_2);
    pop(i).Cost=DEA-ELM (dataset, Elm_Type, pop(i).NHN, TF{pop(i).TF},5)end ...Mutation
    beta=unifrnd (beta_min,beta_max,VarSize);
    y1=pop(a).NHN+beta.*(pop(b).NHN-pop(c).NHN)...
Crossover
    z1=zeros(size(x1));j0=randi([1 numel(x1)]);
    for j=1: numel(x1); if j==j0 || rand<=pCR
        z1(j)=y1(j);else z1(j)=x1(j);end;
    end...Update Best CoSt
BestCost(it)=BestSol.Cost;
  
```

Figure 11. Pseudo code of DEA-ELM used in this study

### 3. Results

This chapter indicates the DEA-ELM classifier operation for classifying the heart records. Thus, the ECG signals which are comprised of 80 unhealthy and 80 normal records from publicly in Physionet were selected. Overall of the ECG records were showed with properties as described in Table 1. The system is performed on Intel Xeon 3.30GHz CPU and 8GB RAM hardware in the computer using MATLAB® 2018a. Firstly, the preprocessing step was performed to remove the 60 Hz interference and the baseline wander of the ECG signals obtained from the PTB dataset. Afterward, the spectrograms were obtained to represent in the frequency domain the ECG signals to carry them to the stage of extraction with CNN is seen as Figure 12.



**Figure 12.** (a) Spectrogram of normal ECG record with number s0292lre (b) Spectrogram of abnormal ECG record with numbers0021brem (c) Normal ECG record with number s0292lre (d) Anormal ECG record with numbers0021brem

The entire data was split into two sequences as training and test in 10-fold cross-validation procedure. In this scope, 90% of data was used for training while the rest of data was used for testing in each round, as mentioned before. After the attribute extraction stage, the spectrogram images of the ECG signal were given to the DEA-ELM classifier. The best cost values obtained with DEA-ELM are given for various iterations as seen in Figure 13.

Performance values for 5 different activation functions (sigmoid, sinus, triangularbasis, radialbasis, hardlimit) were obtained with the DEA-ELM classifier as can be seen in Table 3. Moreover, the parameters used in the DEA algorithm are given in Table 3.

In the point out in Section 2.3, there are features extracted using CNN from ECG signals. DEA was employed which is a robust meta-heuristic optimization algorithm for ECG classification. This process was carried out as shown in Figure 13. Best costs as performance results were obtained by 100, 150, 200, 250, 500, 750 and 1000 with the number of iterations DEA-ELM as shown in Figure 13. The major objective of this article is to classify the ECG signals by using DEA-ELM based on deep features with best activation function. We checked also whether the best cost value changed with more iterations.

Consequently, the best cost value achieved was remained stable at 1000 iteration numbers as mentioned in Figure 13.

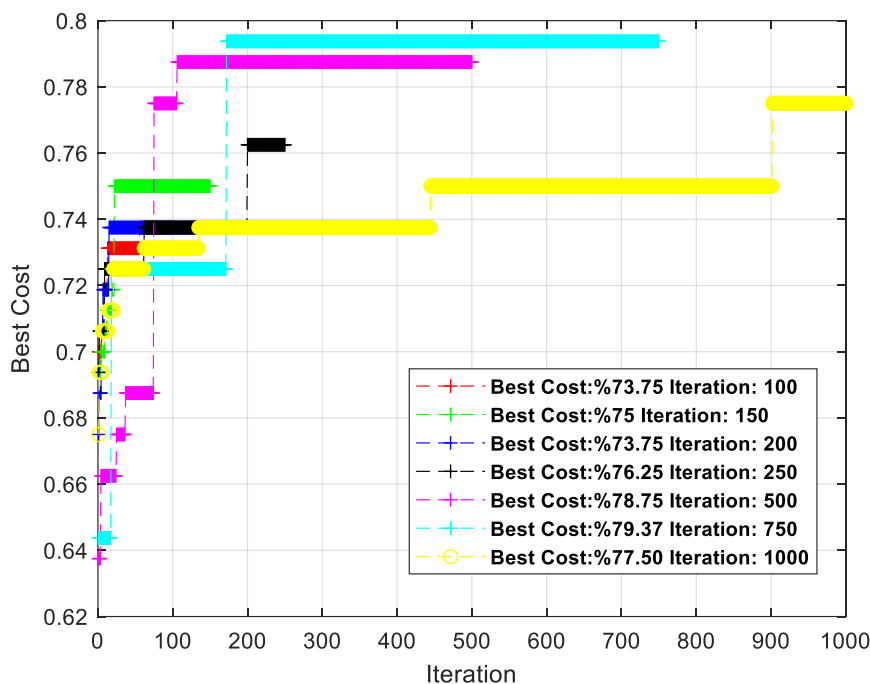


Figure 13. DEA-ELM classifier performance

Table 3. DGA parameters used in the study

Parameter	Value
Population	160
Mutation	0.1
Crossover	0.8
Parameter bounds	Min=1, Mak=5
Number of iteration	100,150,200,250, 500,750,1000
Stopping criteria	Until it reaches the best cost value.

#### 4. Conclusion

The aim of this paper was to classify records from database in order to clarify the diagnosis of heart disorders. For realizing this purpose, the best activation function of the extreme learning machine was selected using the differential evolution algorithm method. In this study, the performance results of the DEA-ELM method based on deep features for the classification of ECG signals were examined. The model was tested employing the open access PTB Diagnostic ECG database. In addition, the features of the ECG signal by using CNN were extracted. Consequently, the best classification results values using DEA-ELM the best cost value %79.37 with sigmoid activation function and 750 iteration were achieved.

#### Authors' Contributions

All the authors actively participated in the literature analysis, the interpretation of results and the preparation of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

#### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

#### Statement of Research and Publication Ethics

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



## References

- [1] Teodoro F.G.S., Peres S.M., Lima C.A. 2017. Feature selection for biometric recognition based on electrocardiogram signals. In 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), IEEE, 2911-2920.
- [2] Diker A., Avcı E., Gedikpinar M. 2017. Determination of R-peaks in ECG signal using Hilbert Transform and Pan-Tompkins Algorithms. In 2017 25th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), IEEE, 1-4.
- [3] Ojha D.K., Subashini M. 2014. Analysis of electrocardiograph (ecg) signal for the detection of abnormalities using matlab. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Medical, Health, Pharmaceutical and Biomedical Engineering, 8 (2): 114-117.
- [4] Sadhukhan D., Mitra M. 2012. Detection of ECG characteristic features using slope thresholding and relative magnitude comparison. In 2012 Third International Conference on Emerging Applications of Information Technology, IEEE, 122-126.
- [5] Kulkarni S.P. 2015. DWT and ANN Based Heart Arrhythmia Disease Diagnosis from MIT-BIH ECG Signal Data. International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication, 3 (1): 276-279.
- [6] Escalona-Morán M.A., Soriano M.C., Fischer I., Mirasso C.R. 2014. Electrocardiogram classification using reservoir computing with logistic regression. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 19 (3): 892-898.
- [7] Mannurmath J.C., Raveendra M. 2014. MATLAB based ECG signal classification. International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), 3 (7): 1946-1950.
- [8] Pasolli E., Melgani F. 2015. Genetic algorithm-based method for mitigating label noise issue in ECG signal classification. Biomedical Signal Processing and Control, 19: 130-136.
- [9] Rai H.M., Trivedi A., Shukla S. 2013. ECG signal processing for abnormalities detection using multi-resolution wavelet transform and Artificial Neural Network classifier. Measurement, 46 (9): 3238-3246.
- [10] Korürek M., Doğan B. 2010. ECG beat classification using particle swarm optimization and radial basis function neural network. Expert systems with Applications, 37 (12): 7563-7569.
- [11] Khorrami H., Moavenian M. 2010. A comparative study of DWT, CWT and DCT transformations in ECG arrhythmias classification. Expert systems with Applications, 37 (8): 5751-5757.
- [12] Karpagachelvi S., Arthanari M., Sivakumar M. 2011. Classification of Electrocardiogram signals with extreme learning machine and relevance vector machine. International Journal of Computer Science Issues (IJCSI), 8 (1): 338.
- [13] Wu J.F., Bao Y.L., Chan S.C., Wu H.C., Zhang L., Wei X.G. 2016. Myocardial infarction detection and classification—A new multi-scale deep feature learning approach. In 2016 IEEE International Conference on Digital Signal Processing (DSP), IEEE, 309-313.
- [14] Liu D., Jiang Y., Pei M., Liu S. 2018. Emotional image color transfer via deep learning. Pattern Recognition Letters, 110: 16-22.
- [15] Cao C., Liu F., Tan H., Song D., Shu W., Li W., Xie Z. 2018. Deep learning and its applications in biomedicine. Genomics, proteomics & bioinformatics, 16 (1): 17-32.
- [16] Labati R.D., Muñoz E., Piuri V., Sassi R., Scotti F. 2019. Deep-ECG: Convolutional neural networks for ECG biometric recognition. Pattern Recognition Letters, 126: 78-85.
- [17] Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F.X. 2018. Deep learning in agriculture: A survey. Computers and electronics in agriculture, 147: 70-90.
- [18] Cengil E., Çınar A. 2016. A New Approach for Image Classification: Convolutional Neural Network. European Journal of Technique, 6 (2): 96-103.
- [19] Doğan R.Ö., Kayıkçıoğlu T. 2018. R-peaks detection with convolutional neural network in electrocardiogram signal. In 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), IEEE, 1-4.
- [20] Traore B.B., Kamsu-Foguem B., Tangara F. 2018. Deep convolution neural network for image recognition. Ecological informatics, 48: 257-268.
- [21] Harangi B. 2018. Skin lesion classification with ensembles of deep convolutional neural networks. Journal of biomedical informatics, 86: 25-32.

- [22] Dos Santos Ferreira M.V., de Carvalho Filho A.O., de Sousa A.D., Silva A.C., Gattass M. 2018. Convolutional neural network and texture descriptor-based automatic detection and diagnosis of glaucoma. *Expert Systems with Applications*, 110: 250-263.
- [23] Huang G.B., Zhu Q.Y., Siew C.K. 2006. Extreme learning machine: theory and applications. *Neurocomputing*, 70 (1-3): 489-501.
- [24] Huang G.B., Zhou H., Ding X., Zhang R. 2011. Extreme learning machine for regression and multiclass classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, 42 (2): 513-529.
- [25] Villarreal-Cervantes M.G., Rodríguez-Molina A., García-Mendoza C.V., Penaloza-Mejia O., Sepúlveda-Cervantes G. 2017. Multi-objective on-line optimization approach for the DC motor controller tuning using differential evolution. *IEEE Access*, 5: 20393-20407.
- [26] Hu J., Wang C., Liu C., Ye Z. 2017. Improved K-means algorithm based on hybrid fruit fly optimization and differential evolution. In *2017 12th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE)*, IEEE, 464-467.
- [27] Melgani F., Bazi Y. 2008. Classification of electrocardiogram signals with support vector machines and particle swarm optimization. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 12 (5): 667-677.
- [28] Avcı E. 2013. A new method for expert target recognition system: Genetic wavelet extreme learning machine (GAWELM). *Expert Systems with Applications*, 40 (10): 3984-3993.
- [29] Chen X., Zhang P., Du G., Li F. 2018. Ant colony optimization based memetic algorithm to solve bi-objective multiple traveling salesmen problem for multi-robot systems. *IEEE Access*, 6: 21745-21757.
- [30] Farahani H.F., Rashidi F. 2017. Optimal allocation of plug-in electric vehicle capacity to produce active, reactive and distorted powers using differential evolution based artificial bee colony algorithm. *IET Science, Measurement & Technology*, 11 (8): 1058-1070.
- [31] Goldberger A.L., Amaral L.A., Glass L., Hausdorff J.M., Ivanov P.C., Mark R.G., Stanley H.E. 2000. PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals. *Circulation*, 101 (23): e215-e220.
- [32] Berkaya S.K., Uysal A.K., Gunal E.S., Ergin S., Gunal S., Gulmezoglu M.B. 2018. A survey on ECG analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 43: 216-235.
- [33] Vozda M., Peterek T., Cerny M. 2014. Novel Method for Deriving Vectorcardiographic Leads Based on Artificial Neural Networks.
- [34] PhysioBank ATM. 2018. <https://physionet.org/cgi-bin/atm/ATM>. (Accessed: 10.07.2018).
- [35] Cömert Z., Kocamaz A.F. 2015. Determination of QT interval on synthetic electrocardiogram. In *2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, IEEE, 2569-2572.
- [36] Diker A., Cömert Z., Avcı E. 2017. A Diagnostic Model for Identification of Myocardial Infarction from Electrocardiography Signals. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 7 (2): 132-139.
- [37] Cömert Z., Kocamaz A.F. 2018. Fetal hypoxia detection based on deep convolutional neural network with transfer learning approach. In *Computer Science On-line Conference*, Springer, Cham., 239-248.
- [38] Note O. 2017. Deep Convolutional Neural Network for ECG-Based Human Identification, 7-10.
- [39] Nwankpa C., Ijomah W., Gachagan A., Marshall S. 2018. Activation functions: Comparison of trends in practice and research for deep learning. *arXiv preprint arXiv:1811.03378*.
- [40] Huang G.B., Zhu Q.Y., Siew C.K. 2004. Extreme learning machine: a new learning scheme of feedforward neural networks. *Neural networks*, 2: 985-990.
- [41] Huang G.B., Chen L., Siew C.K. 2006. Universal approximation using incremental constructive feedforward networks with random hidden nodes. *IEEE Trans. Neural Networks*, 17 (4): 879-892.
- [42] Huang G.B., Zhu Q.Y., Siew C.K. 2004. Extreme learning machine: a new learning scheme of feedforward neural networks. *Neural networks*, 2: 985-990.
- [43] Kim J., Shin H.S., Shin K., Lee M. 2009. Robust algorithm for arrhythmia classification in ECG using extreme learning machine. *Biomedical engineering online*, 8 (1): 31.

- [44] Keskindürk T. 2006. Differential evolution algorithm. Istanbul Commerce University Journal of Science, 9: 85-99.
- [45] Yang W.A., Zhou Q., Tsui K.L. 2016. Differential evolution-based feature selection and parameter optimisation for extreme learning machine in tool wear estimation. International Journal of Production Research, 54 (15): 4703-4721.
- [46] Engelbrecht A.P. 2007. Computational intelligence: an introduction. John Wiley & Sons.
- [47] Qin A.K., Huang V.L., Suganthan P.N. 2008. Differential evolution algorithm with strategy adaptation for global numerical optimization. IEEE transactions on Evolutionary Computation, 13 (2): 398-417.
- [48] Karcı A. 2017. Differential Evolution Algorithm and Its Variants. Anatolian Science-Bilgisayar Bilimleri Dergisi, 2 (1): 10-14.
- [49] Karaboğa N., Koyuncu C. 2005. A. Diferansiyel Gelişim Algoritması Kullanılarak Adaptif Lineer Toplayıcı Tasarımı.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Gauss Karma Modellerin Özellikleri ve Değişken Parçalanmalarına Dayalı Kümeleme**

Maruf GÖGEBAKAN\*

*Bandırma OnYedi Eylül Üniversitesi, Denizcilik Fakültesi, Denizcilik İşletmeleri ve Yönetimi Bölümü, Bandırma, Balıkesir*  
(ORCID: 0000-0003-0447-8311)

---

### **Öz**

Bu çalışmada çok değişkenli verideki homojenlik ve heterojenlik durumları incelenmiş ve heterojen değişkenler belirlenmiştir. Değişkenlerdeki parçalanmaların (heterojenlik) normal karma dağılımlardaki bileşenlere denk geldiği gösterilmiş ve alt grup sayıları belirlenmiştir. k-ortalamlar (k-means) algoritması ile değişkenlerdeki parçalanmalara atanan gözlemler belirlenmiş ve veri gruplandırma yapılmıştır. Değişkenlerdeki her bir parçalanmanın Gauss Karma Modeldeki (GMM) bir kümelenmeye karşılık geldiği varsayımı altında muhtemel küme sayıları ve küme sayıları için aralık elde edilmiş ve küme sayılarına bağlı olarak model sayıları belirlenmiştir. Parçalanma (bileşen) sayısına bağlı model sayıları Genetik Algoritmalarla (GA) belirlenmiş ve En Çok Olabilirlik Kestirimi (MLE) algoritması ile parametreler tahmin edilmiştir. Modele dayalı kümeleme yöntemi ile Gauss Karma Modeller arasında veri yapısına uyan en iyi modelin seçimi log-olabilirlik, AIC ve BIC gibi bilgi kriterleri ile belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Gauss karma model, değişken veri parçalama, genetik algoritmalar, modele dayalı kümeleme, bilgi kriteri.

---

## **Properties of Gaussian Mixture Models and Variable Segmentations Based Clustering**

### **Abstract**

In this study, homogeneity and heterogeneity in multivariate data were examined and heterogeneous variables were determined. Partitions in the variables (heterogeneity) were shown to coincide with the components of normal mixed distributions and the number of subgroups was determined. K-means algorithms were used to determine the observations of the partition of the variables and the data was grouped. Under the assumption that each partition in the variables corresponds to a cluster in the Gaussian Mixture Model (GMM), the range for the possible number of clusters and clusters was obtained and the model numbers were determined based on the clusters. The number of models based on the number of components (partition) was determined by Genetic Algorithms (GA) and the parameters were estimated with Maximum Likelihood Estimation (MLE) algorithm. With the model based clustering method, the selection of the best model matching the data structure from the Gaussian Mixture Models was determined by information criteria such as log-olabilirlik, AIC and BIC.

**Keywords:** Gaussian mixture model, variable data segmentation, genetics algorithm, model based clustering, information criteria.

---

### **1. Giriş**

Sonlu karma modeller verilerin kümelenmesinde en etkili yöntemler arasındadır [1]. Sonlu karma dağılımlar verileri modele dayalı kümelenmesinde kullanılır. Modele dayalı kümeleme  $p$  -boyutlu çok değişkenli heterojen veriyi anlamlı altgruplara bölmek için kullanılan yöntemlerden biridir. Çok

---

\*Sorumlu yazar: [mgogebakan@bandirma.edu.tr](mailto:mgogebakan@bandirma.edu.tr)

Geliş Tarihi: 29.11.2019, Kabul Tarihi: 20.03.2020

değişkenli karma modellerin kümelenmesinde modele dayalı kümelemenin yanında diskriminant analizi karma modellerin kümelenmesinde kullanılır [2]. Çok değişkenli normal dağılımların karmasının her bileşeni, sonlu karma dağılımlarda heterojen verideki bir kümeye denk gelir [3]. Çok değişkenli heterojen verideki kümelenmenin  $n$  tane  $p$  – boyutlu  $x_1, x_2, \dots, x_n$  gözleminde her biri bilinmeyen  $\pi_1, \dots, \pi_k$  olasılıkları ile sonlu sayıdaki  $k$  grup koşullu olasılık yoğunluklarının karmasından geldiği varsayılır [4].  $j = 1, 2, \dots, n$  için  $j$ . gözlem değeri ve  $x_j$  değişkeni için normal dağılımların karma modeli,

$$f(x_j; \theta) = \sum_{i=1}^k \pi_i f_i(x_j; \psi_i) \quad (1)$$

şeklinde yazılır. Burada  $i = 1, 2, \dots, k$  için  $\pi_i$ ,  $0 < \pi_i < 1$  ve  $\sum_{i=1}^k \pi_i = 1$  olacak biçimde  $i$ . kümenin karma olasılık oranını göstermektedir.  $j = 1, 2, \dots, n$  için grup koşullu yoğunluk  $f_i(x_j; \psi_i)$ , bilinmeyen parametreler vektörü  $\psi_i$ 'ye bağlıdır. Burada çok değişkenli normal karma dağılımların bilinmeyen parametrelerin  $\theta = (\pi_1, \dots, \pi_k, \psi_1, \dots, \psi_k)$  vektörü  $\Omega$  parametre uzayında tümünü temsil eden vektördür. Bu çalışmada  $f_i(x_j; \psi_i)$ 'nin  $\mu_i$  ortalamalı  $\Sigma_i$  varyans-kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılım olduğu varsayılır. Burada  $\psi_i = (\mu_i, \Sigma_i)$  olacak şekilde bileşenlerin parametrelerinin vektörüdür.  $f_i = (x_j; \mu_i, \Sigma_i)$  çok değişkenli olasılık yoğunluğu,

$$f_i = (x_j; \mu_i, \Sigma_i) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{p}{2}} |\Sigma_i|^{\frac{1}{2}}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x_j - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (x_j - \mu_i) \right\} \quad (2)$$

şeklinde gösterilir. Burada  $p$  veri setindeki değişken sayısıdır.

Verideki değişkenlerin bağımsız altkümelerinin çoklu kümelenme yapıları modele dayalı olarak normal karma modellerle belirlenir [5]. Veri setindeki çoklu kümelenme yapılarını tanımlamada değişkenlerin yapıları ve parçalanmaları kullanılır [6]. Normal dağılımların karma modelinde verideki alt grup yapılarını tanımlamak için kök seçim metodu kullanılır [7]. Modele dayalı kümelemede değişkenlere dayalı küme sayısının belirlenmesi ve bu küme sayılarının sınırının bulunması için normal karma modellerde farklı stratejiler elde edilmiştir [8]. Ancak bu stratejide kümelerin sayısının üst sınırının belirlenmesi için güçlü bir yöntem geliştirilememiştir. Verilerdeki heterojenliğe dayalı küme sayısının belirlenmesi için EM algoritmaları ile  $k$ -ortalamar algoritmaları kullanılarak tek değişkenli normal karma dağılımlar kullanılabilir [9]. Veri için en iyi kümelenme modeli Akaike Bilgi Kriteri (AIC) [10] ve Bayesçi Bilgi Kriteri (BIC) [11] gibi iyi bilinen bilgi kriterleri kullanılarak optimizasyon ile belirlenir. Normal karma dağılımlar çoklu doğrusal regresyonların hata terimlerinin belirlenmesi ve gruplanmasında kullanılır [12]. Değişkenlerdeki veri parçalanmaya dayalı normal karma model (GMM) veri madenciliğinde yeni bir kümeleme yaklaşımıdır [13]. Normal karma dağılımların kullanıldığı kümeleme yöntemlerinde verinin değişkenleri üzerinde heterojenlik testi uygulanarak değişken ayıklama veya boyut indirgeme yapıları [14]. Veri madenciliğinde normal karma dağılımların modele dayalı kümelenmesinde en iyi modelin seçilebilmesi için bilgi kriterleri yaygın olarak kullanılır [15].

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada geliştirilen veri madenciliği yönteminin çalışma prensibini göstermek amacıyla prototip çalışma yapılmıştır. İki değişkenli ve heterojen yapıya sahip sentetik veri seti üretilip, üzerinde geliştirilen metot uygulanarak yöntem gösterilmiştir.

Normal dağılımların karmasına dayalı kümeleme verinin yapısına uygun en iyi küme sayısı ve yapısını ortaya çıkarmaya yarayan etkili bir kümeleme yöntemlerinden birisidir [3]. Bu çalışmada verilerin modele dayalı olarak kümelenmesi için normal karma dağılımlar kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak değişkenlerdeki heterojen yapılar tek değişkenli normal karma dağılımlar yardımıyla EM algoritmaları kullanılarak belirlenmiştir. Değişkenlerdeki heterojenliğe göre boyut indirgeme yapılmış ve genetik algoritmalar yardımıyla karma normal modeller oluşturulmuştur. Karma modeller arasından veriye en uygun kümelenme yapısı ve yeri optimizasyon yaparak belirlenmiştir.

## 2.1. Karma Dağılım Testi ile Heterojen Değişkenlerin Seçimi ve Karma Modellerin Oluşturulması

Sonlu karma dağılımlarda verilerin homojen veya heterojen yapıda olması oluşabilecek küme sayısı ve yerini belirlemektedir. Verideki her bir değişkenin sahip olduğu parçalanma sayısı değişkenin küme oluşumundaki rolünü belirlemektedir. Çok değişkenli veride heterojen veya parçalanmaya (normal olmayan) sahip değişkenler belirlenip parçalanmanın olmadığı homojen (normal) değişkenler kümelenmeye etkisi olmadığından elenir. Normal yapıda olmayan karma değişkenlerin parçalanma sayıları verideki kümelenme merkez sayılarını verir.  $s = 1, \dots, p$  olmak üzere verideki her bir  $X_s$  değişkeninin heterojenliği incelendiğinde  $p$ -boyutlu veride  $X_s$  değişkeninin yapısına göre parçalanmalarının sayısı  $k_s \geq 1$  olur. Homojen yapıdaki normal dağılan değişkende  $k_s = 1$ , heterojen yapıdaki karma dağılıma sahip değişken için  $k_s > 1$  olur. Verideki her bir değişken için  $k_s$  değeri tek değişkenli normal karma dağılıma göre EM algoritmaları kullanılarak belirlenir. Tek değişkenli normal karma dağılım,

$$f(x; \theta) = \sum_{i=1}^k \pi_i f_i(x; \mu_i, \sigma_i) \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada  $f(x; \theta)$  normal karma dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonunu,  $k$  karma dağılımdaki bileşen sayısı ve  $\pi_i$  karma olasılık ağırlıklarını göstermektedir. EM algoritması iteratif bir algoritma olduğundan değişkenlerdeki parametreler tahmin edilir. EM algoritmasında  $z$  tamamlanmış verinin etiketleme vektörünü temsil edecek şekilde  $\{X_1, X_2, \dots, X_n, Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$  verideki en çok olabilirlik (likelihood) fonksiyonu,

$$L = f(x_1, x_2, \dots, x_n, z_1, z_2, \dots, z_n; \pi, \psi) = \prod_{j=1}^n \prod_{i=1}^k [\pi_i f_i(x_j; \psi_i)]^{z_{ij}} \quad (5)$$

denklemleriyle bulunur. Fonksiyonun logaritması alındığında,

$$\ln L(\pi, \psi; x_1, x_2, \dots, x_n, z_1, z_2, \dots, z_n) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k z_{ij} \ln[\pi_i f_i(x_j; \psi_i)] \quad (6)$$

Log-olabilirlik fonksiyonu elde edilir. EM algoritmasında iterasyon ile olabilirlik fonksiyonunu maksimum yapan etiketleme vektörü elde edilir. EM algoritmasının ilk adımı (E) beklenti ve ikinci (M) en büyük yapma adımdır.

E (Beklenti) Adımı: Algoritmada  $z_{ij}$  etiket değerlerini tahmin etmek için grup koşullu beklenen değer,

$$\hat{z}_{ij} = E(z_{ij} | x_j; \pi_i, \psi_i) = \frac{\pi_i f_i(x_j; \psi_i)}{\sum_{i=1}^k \pi_i f_i(x_j; \psi_i)} \quad (7)$$

eşitliği ile bulunur.

M (En büyük yapma) Adımı: Koşullu olasılıklar toplamı  $\sum_{i=1}^k \pi_i = 1$  olduğundan ve olabilirlik fonksiyonunun en büyük değerini elde etmek için parametreler,

$$\ln L(\pi, \psi; x_1, x_2, \dots, x_n, z_1, z_2, \dots, z_n) = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^k \hat{z}_{ij} \ln[\pi_i f_i(x_j; \psi_i)] \quad (8)$$

denklemleriyle elde edilir. EM algoritmasında parametrelerde değişim duruncaya kadar iterasyon devam eder ve hata minimum olduğunda etiket vektörü elde edilmiş olur.

Her bir heterojen değişkendeki parçalanmayı model tabanlı belirlemek amacıyla parametreleri tahmin edilen log-olabilirlik fonksiyonlarından AIC ve BIC değerleri hesaplanır. Log-olabilirlik fonksiyon değerinin maksimum, AIC ve BIC değerlerinin minimum olduğu modelde parçalanma sayısı optimum olarak bulunur.

Simülasyon ile üretilen normal dağılımlardan gelen sentetik veri seti iki değişkenli ( $p = 2$ ) ve her bir değişkende 300 gözlem bulunmaktadır. Veride  $X_1$  değişkeninde  $X_{11}, X_{12}$  ve  $X_2$  değişkeninde  $X_{21}, X_{22}$  alt grupları olacak şekilde üretilmiştir. İki değişkenli veri setinde üç küme oluşacak şekilde

ortalamaları  $\mu_{11} = 25$ ,  $\mu_{12} = 60$  ve  $\mu_{21} = 20$ ,  $\mu_{22} = 70$ , standart sapmaları sabit olmak üzere  $\sigma = 5$  parametre değerlerinden elde edilmiştir.

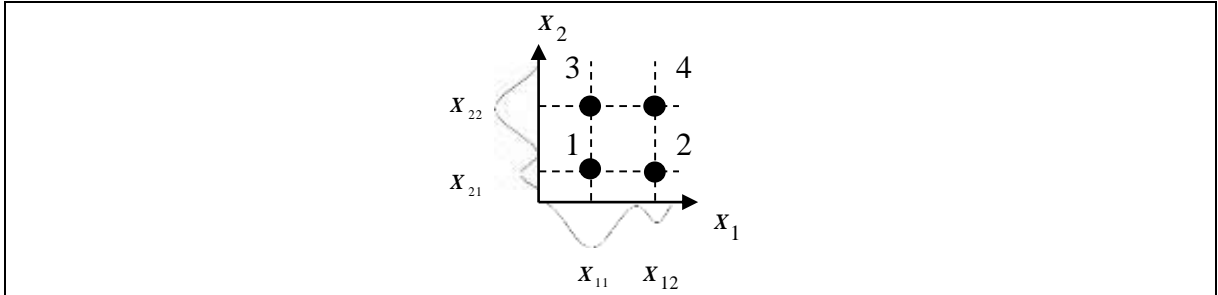
**Tablo 1.** Değişken veri parçalamaya dayalı karma dağılımdan elde edilen Log-olabilirlik, AIC ve BIC değerleri parçalanma sayısı

Değişken	Küme sayısı	Log-Likelihood	AIC	BIC	Parçalanma sayısı
$X_1$	k=1	-1327.4	2658.9	2666.3	2
	k=2	<b>-1318.0</b>	<b>2646.0</b>	<b>2664.5</b>	
	k=3	-1317.1	2650.2	2679.8	
$X_2$	k=1	-1365.8	2735.6	2743.0	2
	k=2	<b>-1297.1</b>	<b>2604.2</b>	<b>2622.8</b>	
	k=3	-1297.1	2610.2	2639.9	

k-ortalamalar algoritması gibi bir ayrıştırma algoritması kullanılarak gözlem değerleri heterojen verideki alt gruplara atanır.  $X_1$  ve  $X_2$  değişkenlerindeki parçalanmalar karma dağılımlar kullanılarak sırasıyla  $k_1 = 2$  ve  $k_2 = 2$  olarak elde edilir.  $X_1$  değişkeninde parçalanmalar  $X_{11}$  ve  $X_{12}$ ,  $X_2$  değişkeninde parçalanmalar ise  $X_{21}$  ve  $X_{22}$  olarak belirlenir. Değişkenlerdeki parçalanmalara bağlı olarak oluşabilecek en az küme sayısı  $C_{\min} = \max\{k_s\} = \max\{2, 2\} = 2$  ve en çok küme sayısı

$$C_{\max} = \prod_{s=1}^p k_s = \prod_{s=1}^2 k_s = k_1 k_2 = 2 \cdot 2 = 4 \text{ olarak elde edilir.}$$

Çok değişkenli verideki parçalanmalar ve bu parçalanmalara karşılık gelen küme merkezleri modellenmiş ve Şekil 1. de gösterilmiştir.



**Şekil 1.** Değişkenlerde meydana gelen parçalanmalar ve bunlara karşılık gelen küme merkezleri

Değişkenlerdeki parçalanma sayıları ve bu parçalanmalardan oluşan maksimum ve minimum küme sayılarına göre karma normal modeller elde edilir [14]. Değişkenlerdeki her bir parçalanmaya en az bir kümelenme merkezi karşılık gelir. Veride her bir değişkenin ikiye parçalanması durumunda kümelenme merkezleri için  $M_{Toplam}$  ile gösterilen normal dağılımların karma modelleriyle oluşturulabilecek toplam model sayısı,

$$M_{Toplam} = 2^{C_{Max}} - 1 \quad (9)$$

eşitliğinden elde edilir. Değişkenlerdeki parçalanma sayılarından elde edilen en az ve en çok küme sayılarına göre 1 küme merkezli, 2 küme merkezli, 3 küme merkezli ve 4 küme merkezli (full model) normal karma modellerin sayısı  $M_{Toplam} = 2^{C_{Max}} - 1 = 2^4 - 1 = 15$  olarak elde edilir. Böylece küme sayılarını veren bağıntı ile karma normal modellerin fonksiyonları arasında birebir ve örten bir ilişki meydana gelir.

Geçerli modellerin sayısının belirlenmesi karma normal modellerin zor problemlerindedir. Karma modellerin yapısındaki satır ve sütun yapısına bakılarak bire-bir ve örten bir fonksiyonda her satır ve sütunda en az bir kümenin bulunması gerekmektedir. Kombinatorik bir problem olan geçerli

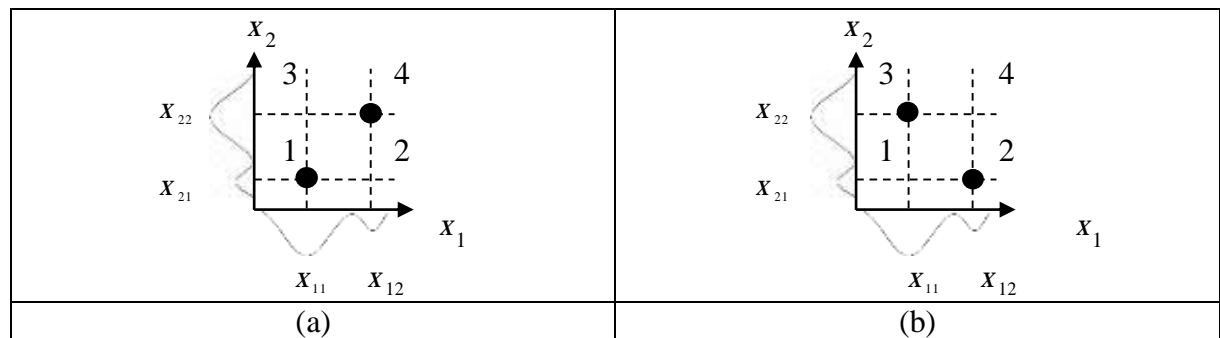
model sayısı için  $\binom{n}{r}$  ifadesi  $n$  elemanlı kümedeki  $r$  elemanlı kombinasyonları göstermektedir. Bir,

iki, üç ve dört kümelenme merkezli oluşturulabilecek normal dağılımların karma modellerinin sayısı sırasıyla  $\binom{4}{1} = 4$ ,  $\binom{4}{2} = 6$ ,  $\binom{4}{3} = 4$  ve  $\binom{4}{4} = 1$  olmak üzere toplam modellerin sayısı  $\binom{4}{1} + \binom{4}{2} + \binom{4}{3} + \binom{4}{4} = 4 + 6 + 4 + 1 = 15$  olarak hesaplamalı şekilde elde edilir. Karma modellerin küme merkezlerinin seçimine göre genetik kodları, küme sayısına göre karma model sayıları ve bu modeller arasından uygun karma modellerin sayıları Tablo 2’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.** Modellerin temsili gösterimleri, kümelenmelere göre model sayıları, modellerin uygun olup olmadıkları ve uygun model sayıları

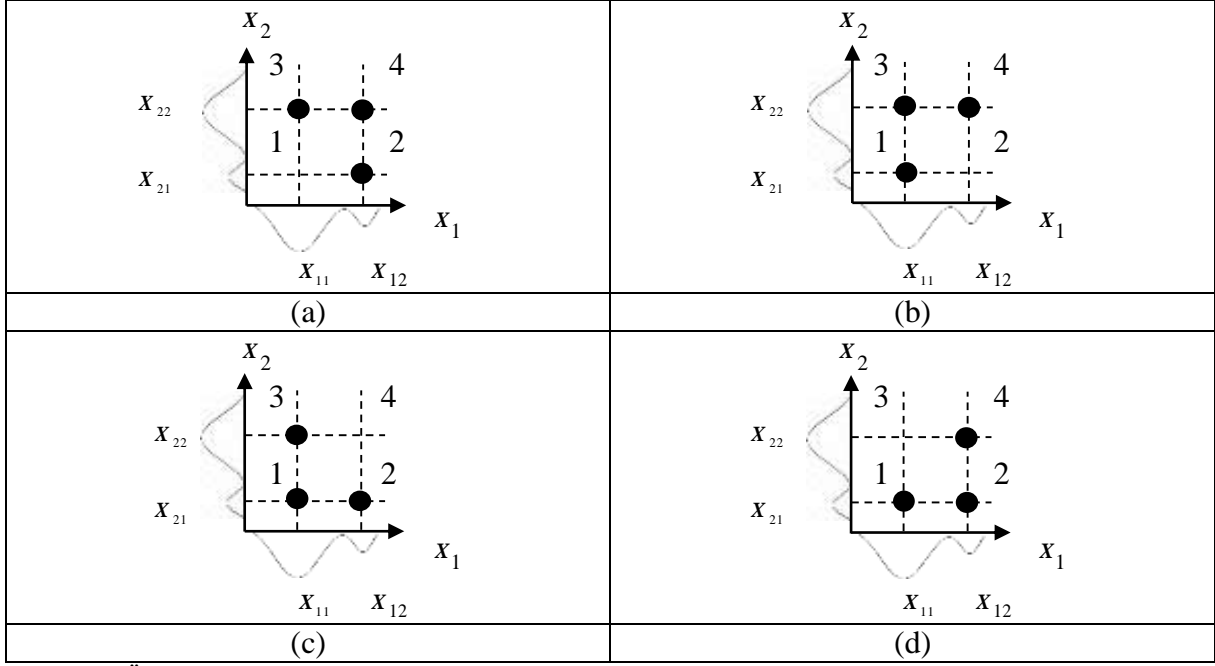
Küme Sayısı	Modellerin Genetik Kodları	Model Sayısı	Uygun Model	Uygun Model Sayısı
1 Merkezli Modeller	1 0 0 0	4	0	0
	0 1 0 0		0	
	0 0 1 0		0	
	0 0 0 1		0	
2 Merkezli Modeller	1 1 0 0	6	0	2
	1 0 1 0		0	
	1 0 0 1		1	
	0 1 1 0		1	
	0 1 0 1		0	
	0 0 1 1		0	
3 Merkezli Modeller	1 1 1 0	4	1	4
	1 1 0 1		1	
	1 0 1 1		1	
	0 1 1 1		1	
4 Merkezli Model	1 1 1 1	1	1	1
Toplam		15		7

İki değişkenli veride her bir değişkenin ikiye parçalanması durumunda veride normal dağılımların karma modelleriyle oluşturulabilecek ve  $M$  Muhtemel ile gösterilen muhtemel modeller Şekil 2 - Şekil 4’te gösterilmiştir.

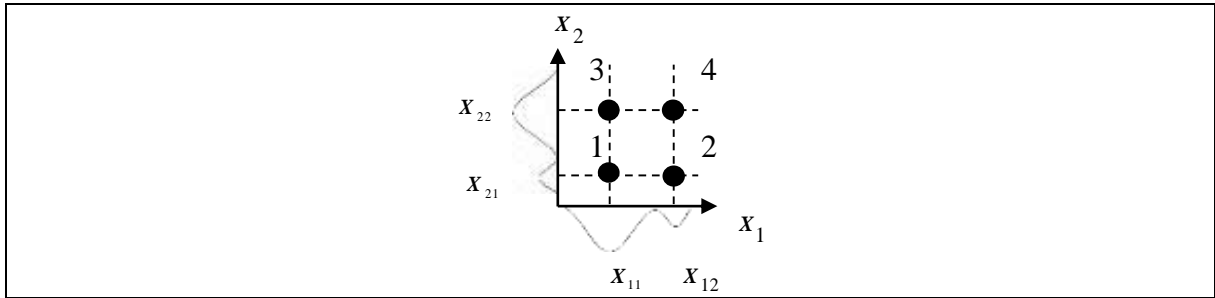


**Şekil 2.** İki kümelenme merkezli. Normal dağılımların karma modelleriyle oluşturulabilecek iki kümelenme merkezli iki muhtemel modelin kümelenme merkezleri





**Şekil 3.** Üç kümelenme merkezli. Normal dağılımların karma modelleriyle oluşturulabilecek üç kümelenme merkezli dört muhtemel modelin kümelenme merkezleri



**Şekil 4.** Dört kümelenme merkezli. Normal dağılımların karma modelleriyle oluşturulabilecek dört kümelenme merkezli bir muhtemel modelin kümelenme merkezleri

İki değişkenli heterojen veride her bir değişkenin ikiye parçalanması durumunda veri seti için normal dağılımların karma modelleriyle oluşturulabilecek 15 karma model arasından uygun aday model sayısı 7 dir.

## 2.2. Normal Karma Modellerin Yapısı ve Özellikleri

Çok değişkenli normal karma modellerde değişken parçalamaya dayalı elde edilen modelde küme merkezleri ve bu küme merkezlerine bağlı oluşabilecek normal karma modeller elde edilmiştir. Normal karma modeller değişkenlerdeki gözlemlerin atandığı küme merkezlerindeki verilerin ortalama vektörleri  $\mu_i$  ve varyans-kovaryans matrisleri  $\Sigma_i$  den elde edilen merkezi eğilim ölçülerine göre kümeleme yapmaktadır.

Şekil 1'deki bir numaralı kümelenme merkezi  $X_1$  değişkeninin  $X_{11}$  ve  $X_2$  değişkeninin  $X_{21}$  parçalarının oluşturduğu kümelenme merkezidir. Bu merkezin ortalama vektörü  $\mu_1$  ve varyans-

kovaryans matrisi  $\Sigma_1$  sırasıyla  $\mu_1 = \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \mu_{21} \end{bmatrix}$  ve  $\Sigma_1 = \begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \rho_1 \sigma_{11} \sigma_{21} \\ \rho_1 \sigma_{21} \sigma_{11} & \sigma_{21}^2 \end{bmatrix}$  şeklinde tanımlansın. Burada

$\rho_1 = \text{Corr}(X_{11}, X_{21})$  olmak üzere  $X_{11}$  ve  $X_{21}$  parçalanmaları arasındaki korelasyon katsayısını

göstermekte ve  $\rho_1 = \frac{\sigma_{1121}}{\sigma_{11}\sigma_{21}}$  olarak tanımlanmaktadır. Bir numaralı küme merkezi  $N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_1, \boldsymbol{\Sigma}_1)$  normal

dağılımına sahiptir. İki numaralı kümelenme merkezi  $x_1$  değişkeninin  $x_{12}$  ve  $x_2$  değişkeninin  $x_{21}$  parçalarının oluşturduğu kümelenme merkezdir. Bu merkezin ortalama vektörü  $\boldsymbol{\mu}_2$  ve varyans-kovaryans matrisi  $\boldsymbol{\Sigma}_2$  sırasıyla  $\boldsymbol{\mu}_2 = \begin{bmatrix} \mu_{12} \\ \mu_{21} \end{bmatrix}$  ve  $\boldsymbol{\Sigma}_2 = \begin{bmatrix} \sigma_{12}^2 & \rho_2\sigma_{12}\sigma_{21} \\ \rho_2\sigma_{21}\sigma_{12} & \sigma_{21}^2 \end{bmatrix}$  şeklinde tanımlansın.

Burada  $\rho_2 = \text{Corr}(x_{12}, x_{21})$  olmak üzere  $x_{12}$  ve  $x_{21}$  parçalanmaları arasındaki korelasyon katsayısını

göstermekte ve  $\rho_2 = \frac{\sigma_{1221}}{\sigma_{12}\sigma_{21}}$  olarak tanımlanmaktadır. İki numaralı küme merkezi  $N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_2, \boldsymbol{\Sigma}_2)$  normal

dağılımına sahiptir. Üç numaralı kümelenme merkezi  $x_1$  değişkeninin  $x_{11}$  ve  $x_2$  değişkeninin  $x_{22}$  parçalarının oluşturduğu kümelenme merkezdir. Bu merkezin ortalama vektörü  $\boldsymbol{\mu}_3$  ve varyans-

kovaryans matrisi  $\boldsymbol{\Sigma}_3$  sırasıyla  $\boldsymbol{\mu}_3 = \begin{bmatrix} \mu_{11} \\ \mu_{22} \end{bmatrix}$  ve  $\boldsymbol{\Sigma}_3 = \begin{bmatrix} \sigma_{11}^2 & \rho_3\sigma_{11}\sigma_{22} \\ \rho_3\sigma_{22}\sigma_{11} & \sigma_{22}^2 \end{bmatrix}$  şeklinde tanımlansın. Burada

$\rho_3 = \text{Corr}(x_{11}, x_{22})$  olmak üzere  $x_{11}$  ve  $x_{22}$  parçalanmaları arasındaki korelasyon katsayısını

göstermekte ve  $\rho_3 = \frac{\sigma_{1122}}{\sigma_{11}\sigma_{22}}$  olarak tanımlanmaktadır. Üç numaralı küme merkezi  $N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_3, \boldsymbol{\Sigma}_3)$  normal

dağılımına sahiptir. Dört numaralı kümelenme merkezi  $x_1$  değişkeninin  $x_{11}$  ve  $x_2$  değişkeninin  $x_{22}$  parçalarının oluşturduğu kümelenme merkezdir. Bu merkezin ortalama vektörü  $\boldsymbol{\mu}_4$  ve varyans-

kovaryans matrisi  $\boldsymbol{\Sigma}_4$  sırasıyla  $\boldsymbol{\mu}_4 = \begin{bmatrix} \mu_{12} \\ \mu_{22} \end{bmatrix}$  ve  $\boldsymbol{\Sigma}_4 = \begin{bmatrix} \sigma_{12}^2 & \rho_4\sigma_{12}\sigma_{22} \\ \rho_4\sigma_{22}\sigma_{12} & \sigma_{22}^2 \end{bmatrix}$  şeklinde tanımlansın.

Burada  $\rho_4 = \text{Corr}(x_{12}, x_{22})$  olmak üzere  $x_{12}$  ve  $x_{22}$  parçalanmaları arasındaki korelasyon katsayısını

göstermekte ve  $\rho_4 = \frac{\sigma_{1222}}{\sigma_{12}\sigma_{22}}$  olarak tanımlanmaktadır. Dört numaralı küme merkezi  $N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_4, \boldsymbol{\Sigma}_4)$

normal dağılımına sahiptir.

Çok değişkenli sonlu karma modellerde modele dayalı kümeleme yapabilmek için modellerin normal dağılımların karmalarından geldiği varsayılır ve bu modeller normal dağılımlara gere belirlenirler.

Tek bileşenli normal karma modeller :  $f(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}_1) = N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i)$   $i = 1, 2, 3, 4$  olmak üzere dört tanedir.

Bunların hiçbiri varsayımlara uymadığından tamamı uygun model değildir. İki kümelenme merkezli normal dağılımların karma modelleri:  $i = 1, \dots, 4$  için  $0 < \pi_i < 1$  ve  $\sum_{i=1}^k \pi_i = 1$  olmak üzere

$f(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}_2) = \pi_i N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i) + \pi_j N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_j, \boldsymbol{\Sigma}_j)$   $i, j = 1, 2, 3, 4$  olmak üzere altı tanedir. İki bileşenli karma modellerden varsayıma uyan uygun modeller  $f(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}) = \pi_1 N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_1, \boldsymbol{\Sigma}_1) + \pi_3 N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_3, \boldsymbol{\Sigma}_3)$  ve

$f(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}) = \pi_2 N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_2, \boldsymbol{\Sigma}_2) + \pi_4 N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_4, \boldsymbol{\Sigma}_4)$  dür. Üç bileşenli normal karma modeller:  $i = 1, \dots, 4$  için  $0 < \pi_i < 1$

ve  $\sum_{i=1}^k \pi_i = 1$  olmak üzere  $f(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}_3) = \pi_i N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i) + \pi_j N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_j, \boldsymbol{\Sigma}_j) + \pi_k N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k)$   $i, j, k = 1, 2, 3, 4$  olmak

üzere 4 adettir. Üç bileşenli normal karma modellerin tamamı varsayıma uyan modellerdir. Dört bileşenli normal karma model:  $i = 1, \dots, 4$  için  $0 < \pi_i < 1$  ve  $\sum_{i=1}^k \pi_i = 1$  olmak üzere

$f(\mathbf{x}; \boldsymbol{\theta}_4) = \pi_i N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_i, \boldsymbol{\Sigma}_i) + \pi_j N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_j, \boldsymbol{\Sigma}_j) + \pi_k N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_k, \boldsymbol{\Sigma}_k) + \pi_t N(\mathbf{x}; \boldsymbol{\mu}_t, \boldsymbol{\Sigma}_t)$   $i, j, k, t = 1, 2, 3, 4$  olmak üzere 1 adettir ve

bu model varsayımına uyan uygun modeldir. Dolayısıyla oluşturulabilecek toplam model sayısı 15 ve uygun model sayısı 7 dir.

Karma modellerdeki parametreler veri setindeki gözlem değerlerinin bulunduğu parçalanmalardan elde edilen gözlemlere dayalı olarak belirlenmektedir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çok değişkenli veride heterojenlik testi ile elde edilen değişkenlerin parçalanmalara ve bu parçalanmalara ait özellikler elde edilmiştir. Verideki parçalanmalara düşen gözlemler ve bu gözlemlerin ait olduğu kümeler ayrıştırma algoritmaları ile elde edilir. Elde edilen gözlem değerleri modelleri oluşturan normal dağılımların hesaplanması için kullanılır. Bu normal karma modeldeki parametreler verideki parçalanmaya düşen gözlemlerden elde edilir.

#### 3.1. k-ortalamar Algoritması ile Ayrıştırma ve Parametre Değerlerinin Elde Edilmesi

Çok değişkenli heterojen veri setindeki parçalanmalar ve bu parçalanmalara düşen gözlemler çeşitli kümeleme ve ayrıştırma algoritmaları ile belirlenebilir. Bunların en önemlilerinde birisi k-ortalamar algoritmasıdır. k-ortalamar algoritması Gauss karma modellerinden farklı olarak oluşan kümelere farklı sayıda gözlem atamaktadır. Bu çalışmada değişkenlerde oluşacak küme sayısında farklı sayıda gözlem bulunması her bir kümenin olasılık ağırlıklarını etkilediğinden k-ortalamar algoritması tercih edilmiştir. Heterojen  $X_1$  ve  $X_2$  değişkenlerindeki alt gruplar sırasıyla  $X_{11}, X_{12}$  ve  $X_{21}, X_{22}$  olarak belirlenmiştir. k-ortalamar algoritmasının çalışma prensibine göre daha önceden belirlenen parçalanma sayı kadar küme merkezi seçilir ve algoritma kullandığı uzaklık metriğine göre en uygun gözlemleri yakın bulunduğu kümeye atar ve iterasyon ile grup üyelikleri değişmeyinceye kadar devam eder. Seçilen giriş küme merkezi değeri ile gözlemler arasındaki uzaklık

$$\operatorname{argmin}_s \sum_{i=1}^k \sum_{j \in S_i} \|x_j - \mu_i\|^2 \quad (10)$$

denklemi ile elde edilir. Belirlenen kümeler arası uzaklığın maksimum (heterojenlik) aynı zamanda parçalanmalara atanan gözlemler arası uzaklığın minimum (homojenlik) olduğu kümeleme en iyi kümeleme olarak kabul edilir. Çok değişkenli veride değişkenlerin parçalanmalarına atanan gözlemlerin etiketleri ve sayıları Tablo 3’de verilmiştir.

**Tablo 3.** Çok değişkenli veri setindeki değişkenlerin parçalanmalarına düşen verilerin etiketleri ve parçalanmalara atanan gözlem sayıları

Değişkenler	$X_1$ değişkenindeki parçalanma ve atanan gözlem sayıları		$X_2$ değişkenindeki parçalanma ve atanan gözlem sayıları	
	$n_{11}$ ( $\hat{n}_{11}$ )	$n_{12}$ ( $\hat{n}_{12}$ )	$n_{21}$ ( $\hat{n}_{21}$ )	$n_{22}$ ( $\hat{n}_{22}$ )
Parçalanma ve Etiketleri	$n_{11}$ ( $\hat{n}_{11}$ )	$n_{12}$ ( $\hat{n}_{12}$ )	$n_{21}$ ( $\hat{n}_{21}$ )	$n_{22}$ ( $\hat{n}_{22}$ )
Gözlem sayıları	89	211	74	226
Toplam gözlem sayısı	300		300	

Çok değişkenli heterojen veri setindeki parçalanmalardan elde edilen küme merkezleri ve bu merkezlere atanan gözlemlerden elde edilen olasılık ağırlıkları, ortalama vektörleri ve varyans-kovaryans matrisleri popülasyondan hesaplanmıştır. Elde edilen parametre değerleri Tablo 4 – Tablo 6’da gösterilmiştir.

**Tablo 4.** Oluşturulan iki kümelenme merkezli karma modellerindeki karma oranları, ortalama vektörleri ve varyans-kovaryans matrislerinin parametre tahminleri

Modeller	$\hat{\pi}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\Sigma}$	$\hat{\rho}$
İki bileşenli birinci uygun model (Şekil 2(a))	$\pi_1 = 0,5416$	$\mu_1 = \begin{bmatrix} 28,2664 \\ 59,2654 \end{bmatrix}$	$\Sigma_1 = \begin{bmatrix} 109,277 & 23,113 \\ 23,113 & 67,624 \end{bmatrix}$	$\rho_1 = 0,269$
	$\pi_4 = 0,4583$	$\mu_4 = \begin{bmatrix} 62,2378 \\ 17,7130 \end{bmatrix}$	$\Sigma_4 = \begin{bmatrix} 134,152 & -13,605 \\ -13,605 & 146,631 \end{bmatrix}$	$\rho_4 = -0,097$
İki kümelenme merkezli ikinci uygun model (Şekil 2(b))	$\pi_2 = 0,5183$	$\mu_2 = \begin{bmatrix} 62,2378 \\ 59,2654 \end{bmatrix}$	$\Sigma_2 = \begin{bmatrix} 134,152 & 18,965 \\ 18,965 & 67,624 \end{bmatrix}$	$\rho_2 = 0,199$
	$\pi_3 = 0,4816$	$\mu_3 = \begin{bmatrix} 28,2664 \\ 17,7130 \end{bmatrix}$	$\Sigma_3 = \begin{bmatrix} 109,277 & 1,616 \\ 1,616 & 146,631 \end{bmatrix}$	$\rho_3 = 0,013$

**Tablo 5.** Oluşturulan üç kümelenme merkezli karma modellerindeki karma oranları, ortalama vektörleri ve varyans-kovaryans matrislerinin parametre tahminleri

Modeller	$\hat{\pi}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\Sigma}$	$\hat{\rho}$
Üç bileşenli üçüncü uygun model (Şekil 3(a))	$\pi_2 = 0,2748$	$\mu_2 = \begin{bmatrix} 23,5331 \\ 20,1245 \end{bmatrix}$	$\Sigma_2 = \begin{bmatrix} 92,963 & 18,051 \\ 18,051 & 136,873 \end{bmatrix}$	$\rho_2 = 0,160$
	$\pi_3 = 0,3037$	$\mu_3 = \begin{bmatrix} 67,3698 \\ 68,5173 \end{bmatrix}$	$\Sigma_3 = \begin{bmatrix} 108,335 & 15,393 \\ 15,393 & 80,099 \end{bmatrix}$	$\rho_3 = 0,0165$
	$\pi_4 = 0,4214$	$\mu_4 = \begin{bmatrix} 23,5331 \\ 68,5173 \end{bmatrix}$	$\Sigma_4 = \begin{bmatrix} 92,963 & 6,761 \\ 6,761 & 80,099 \end{bmatrix}$	$\rho_4 = 0,078$
Üç bileşenli dördüncü uygun model (Şekil 3(b))	$\pi_1 = 0,1781$	$\mu_1 = \begin{bmatrix} 67,3698 \\ 20,1245 \end{bmatrix}$	$\Sigma_1 = \begin{bmatrix} 108,335 & -2,386 \\ -2,386 & 136,873 \end{bmatrix}$	$\rho_1 = -0,20$
	$\pi_3 = 0,3442$	$\mu_3 = \begin{bmatrix} 67,3698 \\ 68,5173 \end{bmatrix}$	$\Sigma_3 = \begin{bmatrix} 108,335 & 15,393 \\ 15,393 & 80,099 \end{bmatrix}$	$\rho_3 = 0,0165$
	$\pi_4 = 0,4775$	$\mu_4 = \begin{bmatrix} 23,5331 \\ 68,5173 \end{bmatrix}$	$\Sigma_4 = \begin{bmatrix} 92,963 & 6,761 \\ 6,761 & 80,099 \end{bmatrix}$	$\rho_4 = 0,078$
Üç bileşenli beşinci uygun model (Şekil 3(c))	$\pi_1 = 0,2136$	$\mu_1 = \begin{bmatrix} 67,3698 \\ 20,1245 \end{bmatrix}$	$\Sigma_1 = \begin{bmatrix} 108,335 & -2,386 \\ -2,386 & 136,873 \end{bmatrix}$	$\rho_1 = -0,20$
	$\pi_2 = 0,3735$	$\mu_2 = \begin{bmatrix} 23,5331 \\ 20,1245 \end{bmatrix}$	$\Sigma_2 = \begin{bmatrix} 92,963 & 18,051 \\ 18,051 & 136,873 \end{bmatrix}$	$\rho_2 = 0,160$
	$\pi_3 = 0,4128$	$\mu_3 = \begin{bmatrix} 67,3698 \\ 68,5173 \end{bmatrix}$	$\Sigma_3 = \begin{bmatrix} 108,335 & 15,393 \\ 15,393 & 80,099 \end{bmatrix}$	$\rho_3 = 0,0165$
Üç bileşenli altıncı uygun model (Şekil 3(d))	$\pi_1 = 0,1841$	$\mu_1 = \begin{bmatrix} 67,3698 \\ 20,1245 \end{bmatrix}$	$\Sigma_1 = \begin{bmatrix} 108,335 & -2,386 \\ -2,386 & 136,873 \end{bmatrix}$	$\rho_1 = -0,20$
	$\pi_2 = 0,3220$	$\mu_2 = \begin{bmatrix} 23,5331 \\ 20,1245 \end{bmatrix}$	$\Sigma_2 = \begin{bmatrix} 92,963 & 18,051 \\ 18,051 & 136,873 \end{bmatrix}$	$\rho_2 = 0,160$
	$\pi_4 = 0,4937$	$\mu_4 = \begin{bmatrix} 23,5331 \\ 68,5173 \end{bmatrix}$	$\Sigma_4 = \begin{bmatrix} 92,963 & 6,761 \\ 6,761 & 80,099 \end{bmatrix}$	$\rho_4 = 0,078$

**Tablo 6.** Oluşturulan dört kümelenme merkezli karma modellerindeki karma oranları, ortalama vektörleri ve varyans-kovaryans matrislerinin parametre tahminleri

Model	$\hat{\pi}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\Sigma}$	$\hat{\rho}$
Dört bileşenli yedinci uygun model (Şekil 4)	$\pi_1 = 0,2158$	$\mu_1 = \begin{bmatrix} 26,6768 \\ 73,0997 \end{bmatrix}$	$\Sigma_1 = \begin{bmatrix} 114,677 & -14,283 \\ -14,283 & 100,252 \end{bmatrix}$	$\rho_1 = -0,133$
	$\pi_2 = 0,2441$	$\mu_2 = \begin{bmatrix} 71,2125 \\ 73,0997 \end{bmatrix}$	$\Sigma_2 = \begin{bmatrix} 132,427 & 1,616 \\ 1,616 & 100,252 \end{bmatrix}$	$\rho_2 = 0,014$
	$\pi_3 = 0,2558$	$\mu_3 = \begin{bmatrix} 26,6768 \\ 24,8489 \end{bmatrix}$	$\Sigma_3 = \begin{bmatrix} 114,677 & 22,735 \\ 22,735 & 104,498 \end{bmatrix}$	$\rho_3 = 0,208$
	$\pi_4 = 0,22841$	$\mu_4 = \begin{bmatrix} 71,2125 \\ 24,8489 \end{bmatrix}$	$\Sigma_4 = \begin{bmatrix} 132,427 & 25,461 \\ 25,461 & 104,498 \end{bmatrix}$	$\rho_4 = 0,216$

### 3.2. Heterojen veride en iyi kümelenme yapısını veren normal dağılımların karma modelleri için bilgi kriterlerinin hesaplanması

Heterojen veride en iyi kümelenme yapısını normal dağılımların karma modellerini kullanarak modele dayalı belirlemek amacıyla her uygun model için log-olabilirlik fonksiyonu hesaplanır. Normal dağılımların karma modeli için l olabilirlik fonksiyonu,

$$L(\pi, \mu, \Sigma) = \prod_{j=1}^n f_i(x_j; \theta_i) = \prod_{j=1}^n \sum_{i=1}^k \pi_i f_i(x_j; \mu_i, \Sigma_i) \quad (11)$$

olarak tanımlanır. İşlem kolaylığı için (11)'deki eşitlikte her iki tarafın logaritması alındığında log-olabilirlik fonksiyonu,

$$\log L(\pi, \mu, \Sigma) = \sum_{j=1}^n \log \left( \sum_{i=1}^k \pi_i f_i(x_j; \mu_i, \Sigma_i) \right) \quad (12)$$

olarak elde edilir. Normal dağılımların karma modellerinde her uygun model için log-likelihood fonksiyon değeri sırasıyla  $\hat{\pi}_i$ ,  $\hat{\mu}_i$  ve  $\hat{\Sigma}_i$  tahmin edilmiş değerleri kullanılarak hesaplanır. Heterojen veride en iyi kümelenme yapısını normal dağılımların karma modellerini kullanarak modele dayalı belirlemek amacıyla her uygun model için bilgi kriteri AIC ve BIC değerleri,

$$AIC = -2\log L(\hat{\pi}, \hat{\mu}, \hat{\Sigma}) + 2d \quad (13)$$

$$BIC = -2\log L(\hat{\pi}, \hat{\mu}, \hat{\Sigma}) + d\log(n) \quad (14)$$

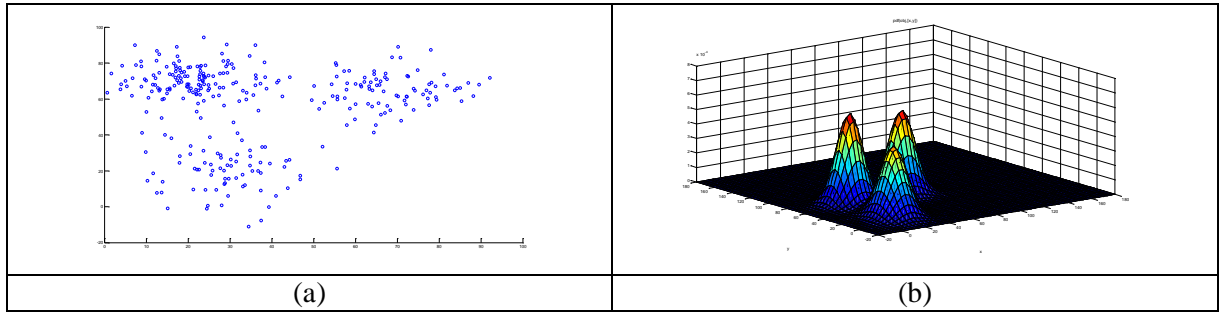
Eşitlikleri ile hesaplanır. Normal dağılımların karma modellerinde her uygun model için AIC ve BIC değerleri hesaplanırken  $\hat{\pi}_i$ ,  $\hat{\mu}_i$  ve  $\hat{\Sigma}_i$  tahmin edilmiş değerleri ve normal dağılımların karma modelindeki parametre sayısı  $d$  ve gözlem sayısı  $n$  kullanılır.

Veri seti için normal dağılımların karma modellerinde log-olabilirlik fonksiyon, AIC ve BIC değerleri heterojen veride kümelenme yapısını ortaya çıkarmak ve en iyi modeli belirlemek amacıyla hesaplanır. Çok değişkenli karma modeller için elde edilen log-olabilirlik, AIC ve BIC değerleri ve parametre sayıları Tablo 7'de verilmiştir.

Çok değişkenli heterojen veri seti için normal dağılımların karma modelleri kullanılarak bilgi kriterlerine göre belirlenen en iyi modelin üç kümelenme merkezli beşinci uygun model (Şekil 3(b)) olduğu belirlenmiştir. Simülasyon ile elde edilen sentetik veri seti için belirlenen en iyi modelin verdiği kümelenme yapısı Şekil 5'de gösterilmiştir.

**Tablo 7.** Çok değişkenli veri setinde uygun normal karma modeller için log-olabilirlik fonksiyonu (Log-L), Akaike bilgi kriteri (AIC), Bayesçi bilgi kriteri (BIC) değerleri ve parametre sayıları

Uygun Modeller	Log-L	AIC	BIC	<i>d</i>
İki bileşenli birinci uygun model	-3675.3	7372.7	7350.7	11
İki bileşenli ikinci uygun model	-3460.4	6942.8	6920.8	11
Üç bileşenli üçüncü uygun model	-3146.3	6326.6	6292.6	17
Üç bileşenli dördüncü uygun model	-3767	7568	7534	17
Üç bileşenli beşinci uygun model	<b>-2641.8</b>	<b>5317.7</b>	<b>5283.7</b>	<b>17</b>
Üç bileşenli altıncı uygun model	-3054.3	6142.5	6108.5	17
Dört bileşenli yedinci uygun model	-2705.2	5456.4	5410.4	23

**Şekil 5.** Simülasyon ile elde edilen sentetik veri setinde uygun modeller için oluşturulan normal dağılımların karma modelleri kullanılarak bilgi kriterlerine göre belirlenen en iyi modelin verdiği kümelenme yapısının (a) Saçılım grafiği, (b) Yüzey grafiği

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada çok değişkenli veride heterojenlik testi ile veri setindeki değişkenlerin yapısının belirlenmesine dayalı yeni bir kümeleme yöntemi önerilmiş ve özellikleri anlatılmıştır. Heterojenlik testi ile ortaya çıkan değişkenlerin verideki kümelemeyi belirlediği ortaya konulmuş ve oluşacak küme merkezlerinin yeri, sayısı ve yapısı hakkında bilgiler elde edilmiştir. Oluşan küme merkezlerine bağlı olarak k-ortalamlar algoritması ile değişkenlerdeki parçalanmalara atanan gözlemler belirlenmiştir. Gauss karma modellerin sayısı ve bunların arasından modele dayalı kümelenemeye uyan karma modeller Genetik Algoritmalar ile belirlenip genetik kodlara dönüştürülmüştür. Gauss karma modellerin yapısı ve her bir uygun modelin özellikleri ortaya çıkarılmıştır. Karma modellerdeki parametreler tahmin edilip her bir model için bilgi kriterleri elde edilmiştir.

Çok değişkenli veride her bir değişkendeki parçalanmaya dayalı karma model kümelemede iki değişkendeki parçalanmalar belirlenmiş ve bu parçalanmalara düşen gözlemler ve oluşturduğu kümeler elde edilmiştir. Genetik Algoritmalar ile belirlenen 7 uygun karma model arasından üç bileşenli Gauss karma modelin veri yapısına uyan en iyi model olduğu bilgi kriterleri yardımıyla elde edilmiştir. Genetik algoritmalarla belirlenen karma modelin hesaplamalar ile elde edilen üç bileşenli modelin grafikleri elde edilmiş ve modeldekine uyduğu görülmüştür.

Sezgisel olarak verideki değişken sayısı ne olursa olsun verideki heterojen değişkenlerdeki parçalanmaların verideki kümelene sayısı ve yapısını etkilediği ya da belirlediği söylenebilir. Bu çalışmadaki önerilen kümelene yöntemi yukarıdaki varsayımdan hareketle büyük veride modele dayalı kümelene için yeni bir genetik algoritmayla birlikte veri madenciliğinde kümelene yöntemi olarak geliştirilebilir. Ayrıca kullanılan bu yeni modele dayalı karma kümeleme yöntemi farklı dağılımlardan gelen karma modellerin kümelene için kullanılabilir.

#### Yazarların Katkısı

Çalışmada 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] McLachlan G.J., Peel D. 2000. Finite Mixture Models. Wiley, New York.
- [2] Fraley C., Raftery A.E. 2002. Model-Based Clustering, Discriminant Analysis, and Density Estimation. *Journal of the American Statistical Association*, 97 (458): 611-631.
- [3] McLachlan G.J., Chang S.U. 2004. Mixture Modelling for Cluster Analysis. *Statistical Methods in Medical Research*, 13: 347-361.
- [4] Fraley C., Raftery A.E. 1998. How Many Clusters? Which Clustering Method? Answers via Model-Based Cluster Analysis. *The Computer Journal*, 41 (8): 578-588.
- [5] Soffritti G. 2003. Identifying multiple cluster structures in a data matrix. *Communications in Statistics, Simulation & Computation*, 32 (4): 1151-1181.
- [6] Galimberti G., Soffritti G. 2007. Model-based methods to identify multiple cluster structures in a data set. *Computational Statistics and Data Analysis*, 52: 520-536.
- [7] Seo B., Kim D. 2012. Root selection in normal mixture models. *Computational Statistics and Data Analysis*. 56: 2454-2470.
- [8] Servi T., Erol H. 2007. On Total Number of Candidate Component Cluster Centers and Total Number of Candidate Mixture Models in Model Based Clustering. *Selçuk Journal of Applied Mathematics* 8 (2): 57-69.
- [9] Gogebakan M., Erol H. 2018. A New Semi-supervised Classification Method Based on Mixture Model Clustering for Classification of Multispectral Data. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46 (8): 1323-1331.
- [10] Akaike H. 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19 (6): 716-723.
- [11] Schwarz G. 1978. Estimating the dimension of a model, *Ann. Statist.*, 6 (2): 461-464.
- [12] Ranciati S., Galimberti G., Soffritti G. 2019. Bayesian variable selection in linear regression models with non-normal errors. *Statistical Methods & Applications*, 28 (2): 323-358.
- [13] Erol H., Gogebakan M., Erol R. 2017. Grid Structures and Orientations Of Clusters Using Discretization Of Variables In Big Data. *Proceedings of International Conference on Engineering, Technology, and Applied Science ICETA 2017*, ISSN 2411-9318: 16-31.
- [14] Gogebakan M., Erol H. 2019. Mixture Model Clustering Using Variable Data Segmentation and Model Selection: A Case Study of Genetic Algorithm. *Mathematics Letters*, 5 (2): 23-32.
- [15] Akogul S., Erisoglu M. 2017. An Approach for Determining the Number of Clusters in a Model Based Cluster Analysis. *Entropy*, 19 (9): 452.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## Investigation of Some Microbiological and Chemical Properties of Different Cheeses

Sezen HARMANKAYA<sup>1\*</sup>, Ahmet HARMANKAYA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kafkas University, Kars High Vocational School, Department of Food Processing, 36100 Kars, Turkey

<sup>2</sup>Kafkas University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Chemistry, 36100 Kars, Turkey  
(ORCID: 0000-0003-2498-5003) (ORCID: 0000-0001-9923-6723)

---

### Abstract

In this study, some microbiological and chemical analyses were performed on samples of kashar, chechil, lor and white cheeses produced in the region of Kars. The samples were microbiologically evaluated in means of total aerob mesophilic bacteria, coliform group bacteria, *Escherichia coli*, *Enterobacteriaceae*, *Staphylococci-Micrococci*, yeast-mold, *Salmonella* spp. and *Listeria monocytogenes*. The pH values of cheese samples were determined by pH-meter, acidity and salt content by titration method, fat content by Gerber method and moisture content by gravimetric method. The chemical analyses were completed and investigated for compliance with Turkish standards. Of the examined kashar cheese samples, 28% in terms of salt content and 40% in terms of moisture content did not meet Turkish standards. Of the chechil cheese samples, 60% in terms of salt content and 40% in terms of moisture content did not meet Turkish standards. Of the lor cheese samples, 4% contained *L. monocytogenes*, while 20% in terms of salt content and 28% in terms of moisture content did not meet Turkish standards. Of the white cheese samples, 8% contained *L. monocytogenes*, while 48% in terms of salt content and 28% in terms of moisture content did not meet Turkish standards. It was determined that some of the cheese samples examined in accordance with the obtained results may pose a risk in microbiological terms and do not comply with the relevant standards in terms of chemistry.

**Keywords:** Kashar, chechil, lor, white cheese, microbiological, chemical.

---

## Farklı Peynir Çeşitlerinin Bazı Mikrobiyolojik ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması

---

### Öz

Bu çalışmada Kars yöresinde üretimi yapılan kaşar, çeçil, lor ve beyaz peynir örneklerinin mikrobiyolojik ve kimyasal özellikleri incelendi. Örnekler mikrobiyolojik olarak toplam aerob mezofilik bakteri, koliform grubu bakteri, *E. coli*, *Enterobacteriaceae*, *Stafilokok-Mikrokok*, maya-küf, *Salmonella* spp. ve *L. monocytogenes* yönünden değerlendirildi. Peynir örneklerinin pH değerleri pH-metreyle, asitlik ve tuz miktarları titrasyon yöntemiyle, yağ miktarı Gerber metoduyla ve rutubet miktarı gravimetrik yöntemle tespit edilerek örneklerin kimyasal özellikler açısından standartlara uygun olup olmadıkları belirlendi. Sonuç olarak incelenen kaşar peyniri örneklerinden %28'inin tuz ve %40'ının rutubet; çeçil peyniri örneklerinden %60'ının tuz ve %40'ının rutubet; lor örneklerinden %4'ünün *L. monocytogenes*, %20'sinin tuz ve %28'inin rutubet; beyaz peynir örneklerinden %8'inin *L. monocytogenes*, %48'inin tuz ve %28'inin rutubet yönünden Türk Standartlarında belirtilen kriterlere uygun olmadığı belirlendi. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda incelenen peynir örneklerinin bazılarının mikrobiyolojik açıdan risk oluşturabileceği ve kimyasal yönden de ilgili standartlara uymadığı belirlendi.

**Anahtar kelimeler:** Kaşar, çeçil, lor, beyaz peynir, mikrobiyolojik, kimyasal.

---

### 1. Introduction

Cheese is an important food that contains essential amino acids that cannot be synthesized by our body and is rich in protein, mineral and vitamin content. Cheese, which is indispensable for breakfast tables,

---

\*Sorumlu yazar: [sezenharmankaya@hotmail.com.tr](mailto:sezenharmankaya@hotmail.com.tr)  
Geliş Tarihi: 11.12.2019, Kabul Tarihi: 23.06.2020



has a very important place in human nutrition because of its superior composition. More than 1000 different types of cheese are produced worldwide while produced by the impact of different cultures in Turkey there are 150 varieties of cheese from more [1].

Cheese, which has hundreds of varieties and holds a very important place in human nutrition, also has important chemical and microbiological qualities. The microorganisms found in cheese cause changes in the structure of the cheese, negatively affecting its quality, and can lead to food poisoning as a result. Many bacteria that can threaten public health can be found in the natural flora of milk. At the same time, the processes applied during heat treatment and production should be controlled as much as possible because they also affect the overall quality of milk [2]. Inadequate pasteurization of milk used in cheese production and bacterial contamination of holding conditions during maturation negatively affect the development and quality of cheese microflora [3, 4]. In studies of the microbiological quality of cheeses, it has been expressed that many microorganisms that negatively affect the quality of cheese and species that threaten human health have been isolated in cheese samples. Foremost among those mentioned include *E. coli*, coliform group bacteria, *Salmonella* species, *L. monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, yeast and mold [5]. In one of these studies, coliform group bacteria, *E. coli*, *S. aureus* and fecal *Streptococci* were found in tulumcheese samples in different packages procured from the Istanbul market [6].

In a study, *Enterobacteriaceae*, coliform and *S. aureus* were found in herbycheese samples collected from various sales points in Van city center [7]. In another study, it was stated that 90.5% of 42 kashar cheese samples failed to comply with the TSE (Turkish Standards Institute) standards due to pathogenic bacterial load [8]. In a study in which microbiological and chemical properties of Divle cheese, a type of cheese from the Konya, Karaman and Ereğli region, were investigated, it was reported that consumption of Divletulum cheeses posed potentially serious risks to public health because of containing varying levels of microorganisms and also many pathogens and non-pathogenic microorganisms [9]. In a study which investigated the microbiological quality of civil cheeses obtained from Erzurum region, according to the microbiological analysis results, it was concluded that civil cheese may cause a potential risk for public health [10].

Cheese production has held an important place in the Kars economy since the 1870s. Around 16 dairy farms were first established by Swiss, Armenian, Greek, Russian and Georgian cheese producers in the region of Kars and nearby districts [11]. More than 10 different types of cheese, mainly kashar and gruyere-type, are produced in this region [1]. Although the history of cheese-making is very old, most of today's production is provided by small family farms and dairies in the region. As the raw material of cheese is milk, investigating the microbiological characteristics of the product at every stage from production to consumption is very important. This study aimed to investigate the microbiological and chemical quality of different cheese varieties obtained from the Kars market and to find solutions to possible risks or shortcomings of the Kars cheese industry, which holds a very important place in the region in cultural and economic terms.

## 2. Material and Methods

*Cheese samples:* In order to examine the microbiological and chemical quality of the cheese offered in the market, 100 cheese samples, including 25 of kashar cheese, 25 of chechil cheese, 25 of lor and 25 of white cheese were supplied from sales points at the centre of Kars. Without interfering with the vendors' routine sales procedures and packaging, each 500-g cheese sample was then placed in heat-insulated containers and kept cold. Samples were brought to the laboratory within 30-60 minutes after they were taken from the market and analyzed for microbiological and chemical properties.

### 2.1. Microbiological Analyses

The cheese samples, weighing 500 g, were taken from the packaging material using sterile forceps and a spatula, transferred into sterile bags and then broken up and mashed by applying pressure and pounding the bag. For each cheese sample, 10 g were weighted and diluted aseptically in 90 mL of citrate buffer and homogenised in a sterile bag using a stomacher for 2 min. The complete decimal serial dilutions till  $10^{-6}$  of the samples were prepared and inoculated using pour and spread techniques under the following incubation conditions. The details of the methods used for microbiological analyses are shown in Table

1. All colonies produced on Plate Count Agar (PCA) were aerobic mesophilic bacteria [12, 13]; dark red colonies 0.5 mm in diameter or larger cultured on Violet Red Bile Lactose Agar (VL) were coliform bacteria [14]; blue-green colonies grown on Tryptone Bile X-Glucuronide medium (TBX) were *E. coli* [15, 16]; all red colored and oxidase (-) colonies 1-2 mm in diameter cultured on Violet Red Bile Glucose Agar (VG) were *Enterobacteriaceae* [13, 17]; black colonies formed on Baird Parker Agar (BPA) were evaluated as *Staphylococci-Micrococci* [13]; all colonies cultured on Potato Dextrose Agar (PDA) were yeast-mold [14]. To analyze the presence of *Salmonella* spp., and *L. monocytogenes* 25 g samples were pre-enriched and incubated at 37°C for 24h, 30°C for 24h, respectively. 225 mL Buffered Pepton Water (Oxoid CM509, UK) and 225 mL Buffered Listeria Enrichment Broth (Oxoid CM897, UK) respectively were used for selective enrichment. Samples homogenized for 2 minutes. For the inoculation, incubation and identification were applied according to the methods specified in TSE standards [18, 19]. Selected typical 5 suspected colonies for *Salmonella* spp. (Oxoid DR1108, UK) and *L. monocytogenes* (Oxoid MB1128A, UK) were confirmed with serological and biochemical test kits.

The appropriate amount of the homogenized cheese samples were taken and made ready for chemical analyses.

## 2.2. Chemical Analyses

The pH values of the samples were measured using a pH-meter and determined according to the method of Bianco et al. [20]. The acidity and salt contents of the samples were determined by titration method, the fat content was analyzed using the Gerber method and the moisture content was determined by the gravimetric method [21].

**Table1.**Media used in microbiological analysis and incubation conditions of bacteria

Group of bacteria	Medium	Incubation temperature	Incubation time	Incubation atmosphere
<b>Total aerob mesophilic bacteria</b>	Plate Count Agar (PCA) (Oxoid CM0325)	30 °C	48 hour	Aerobic
<b>Coliform</b>	Violet Red Bile Lactose Agar (VL) (Oxoid CM0107)	37 °C	48 hour	Facultative Aerobic
<b><i>Escherichia coli</i></b>	TBX Medium (Oxoid CM0945)	44.5	24 hour	Aerobic
<b><i>Enterobacteriaceae</i></b>	Violet Red Bile Glucose Agar (VG) (Oxoid CM0485)	35 °C	48 hour	Facultative Aerobic
<b><i>Staphylococci-Micrococci</i></b>	Baird Parker Agar (BP) (Oxoid CM0275)	37 °C	24 hour	Aerobic
<b>Yeast-Mold</b>	Potado Dextrose Agar (PDA) (BAM Media M127)	25 °C	4-5 day	Aerobic
<b><i>Salmonella</i> spp.</b>	Brillant Green Phenol Red Agar (Modified) (Oxoid CM0329) Xylose-Lysine-Desoxycholate Agar (XLD) (Labm LAB 032)	37 °C	24 hour	Aerobic
<b><i>Listeria monocytogenes</i></b>	Listeria Selective Agar Base (Oxoid CM0856)	30 °C	24 hour	Aerobic

### 2.3. Statistical analyses

The data obtained as a result of the research were subjected to variance analysis via the SPSS PASW Statistics 18 package program and the results were given as mean  $\pm$  standard deviation.

### 3. Results and Discussion

As a result, of the kashar cheese samples, 7 (28%) in terms of salt content and 10 (40%) in terms of moisture content did not meet Turkish standards. Of the chechil cheese samples, 15 (60%) in terms of salt content and 10 (40%) in terms of moisture content did not meet Turkish standards. Of the lor samples, 1 (4%) contained *L. monocytogenes*, while 5 (20%) in terms of salt content and 7 (28%) in terms of moisture content did not meet Turkish standards. Of the examined white cheese samples, 2 (8%) contained *L. monocytogenes*, while 12 (48%) in terms of salt content and 7 (28%) in terms of moisture content did not meet Turkish standards. The microbiological analysis results of all cheeses are given in Tables 2 and 3. Chemical analysis findings of the kashar, chechil, lor and white cheeses evaluated according to the Turkish Food Codex Cheese Communiqué [21] are given in Tables 4 and 5.

When the microbiological data of the samples collected from the market were analyzed, it was found that the microbial load varied from sample to the sample.

The average TAMB count in the kashar cheese samples was  $1.2 \times 10^8$  cfu/g. This result was higher than that reported by Kamber [22] ( $7.03 \log_{10}$  cfu/g) and Öksüztepe et al. [26] ( $1.1 \times 10^7$  cfu/g). Although there is no limitation for TAMB in the Turkish cheese standard, these pathogenic bacteria values are at a level that could threaten public health. This may be due to a lack of hygiene during the production or sales phase. In this study, the average coliform group bacteria count in kashar cheese was found to be  $0.66 \times 10^1$  cfu/g. These results were lower than those of Gülmez et al. [27] ( $1.16 \times 10^2$  cfu/g) and Kamber [22] ( $3.91 \log_{10}$  cfu/g). In none of the kashar samples, *E. coli* was not found, and this microorganism poses a risk for food safety as well as endangering the formation of cheeses [3]. The *Enterobacteriaceae* count ( $3.5 \times 10^1$  cfu/g) was also found to be lower than that reported by Kamber [22] ( $4.30 \log_{10}$  cfu/g). The average *Staphylococci-Micrococci* count was  $8.30 \times 10^1$  cfu/g, which was lower than that found by Öksüztepe et al. [26] ( $1.4 \times 10^2$  cfu/g). The yeast-mold count ( $3.82 \times 10^1$  cfu/g) was similar to the results of Kamber [22], with  $6.04 \log_{10}$  cfu/g, but lower than those of Gülmez et al. [27] ( $3.8 \times 10^8$  cfu/g). Neither *L. monocytogenes* nor *Salmonella* spp. were present in any of the kashar cheese samples.

The average TAMB count found in the samples of chechil cheese was  $1.2 \times 10^8$  cfu/g. This result was higher than the results of Kamber [22] ( $7.253 \log_{10}$  cfu/g) and of Yangılar and Kızılkaya [23] ( $7.97 \log_{10}$  cfu/g), while lower than that of Gülmez and Güven [24] ( $1.1 \times 10^9$  cfu/g). This situation may have been caused by many factors, such as the differences in pasteurization processes applied to the milk or ripening times of the cheese. Kamber [22], in his study, found the number of coliform bacteria in chechil cheese to be on average  $4.35 \log_{10}$  cfu/g, while the number determined by Gülmez and Güven [24] was  $2.8 \times 10^5$  cfu/g. In the present study, in contrast, the coliform bacteria count was found to be quite low ( $1.9 \times 10^1$  cfu/g). The presence of coliform bacteria in foods indicates inadequate or incorrect heat treatment applications or poor hygiene conditions [3]. The average *E. coli* count was found to be  $0.14 \times 10^1$  cfu/g in two samples. The presence of this bacterium may indicate a fecal source of contamination as well as the presence of pathogenic microorganisms in the environment [25]. The *Enterobacteriaceae* count was recorded as  $1.9 \times 10^2$  cfu/g, whereas the study by Kamber [22] found a higher number of *Enterobacteriaceae* ( $3.47 \log_{10}$  cfu/g). The average *Staphylococci-Micrococci* count was found to be  $1.65 \times 10^2$  cfu/g. The yeast-mold count was determined as  $4.31 \times 10^6$ , similar to the result of Kamber [22] ( $6.454 \log_{10}$  cfu/g), wherein it was lower than the result of Gülmez and Güven [24] ( $6.8 \times 10^8$  cfu/g). *L. monocytogenes* and *Salmonella* spp. were not detected in any of the samples of chechil cheese.

In the lor samples, the TAMB count was determined as  $7.73 \times 10^8$  cfu/g. This result showed a similarity to that reported by Sert and Kıvanç [34] ( $1.9 \times 10^8$  cfu/g), while it was lower than the results of Kızanlık-Koçak and Göksoy [29] ( $9.80 \log_{10}$  cfu/g). The average coliform bacteria count was  $1.66 \times 10^1$  cfu/g, which was lower than the results of Sert and Kıvanç [34] ( $1.1 \times 10^3$  cfu/g). The *E. coli* count was  $0.28 \times 10^1$  cfu/g, lower than the result of Sert and Kıvanç [34] ( $4.37 \times 10^2$  cfu/g). The *Enterobacteriaceae* count was  $5.9 \times 10^1$  cfu/g and the *Staphylococci-Micrococci* count was  $9.59 \times 10^1$  cfu/g. The yeast-mold

count was determined as  $2.21 \times 10^6$  cfu/g, similar to the results of Sert and Kıvanç [34] ( $1.9 \times 10^8$  cfu/g). *L. monocytogenes* ( $0.04 \times 10^1$  cfu/g) was detected in one lor sample, whereas none of the samples exhibited the presence of *Salmonella* spp. *L. monocytogenes* is a pathogenic bacterium which, according to Turkish standards, should not be found in cheese as it can cause serious health problems such as meningitis, septicemia, and abortion [3].

The average TAMB count in the white cheese samples was found to be  $7.3 \times 10^8$  cfu/g, whereas the number found by Sağun et al. [28] was lower ( $7.25 \log_{10}$  cfu/g), and that found by Kızanlı-Koçak and Göksoy [29] was higher ( $9.43 \log_{10}$  cfu/g). The coliform bacteria count found ( $0.84 \times 10^1$  cfu/g) was similar to that reported by Sağun et al. [28] ( $1.06 \log_{10}$  cfu/g). In this study, *E. coli* was not detected in any of the white cheese samples, although in another study on raw milk and white cheese samples in the Kars Province, *E. coli* was isolated in all the samples of white cheese [30]. In the tested samples *Enterobacteriaceae* count was  $9.28 \times 10^1$  cfu/g. Similarly, the *Staphylococci-Micrococci* count ( $1.18 \times 10^1$  cfu/g) was also close to that reported by Sağun et al. [28]. In the tested samples yeast-mold count was  $2.85 \times 10^6$  cfu/g. *L. monocytogenes* must not be found in food samples. In a study, samples of white cheese and chechil cheese offered for sale in Kars Province were examined for *Campylobacter*, *Salmonella* and *Listeria* species and *L. monocytogenes* was found in 5% of the fresh cheese samples. In another study, *L. monocytogenes* in 3% of the white cheese samples [31] while in the present study, *L. monocytogenes* was detected in 8% of the white cheese samples that might also cause the public health risks. This is an indication that the milk had not been sufficiently pasteurized [3]. In order to control *Salmonella* contamination and infection, it is necessary to regularly analyze the presence of *Salmonella* in food. Similar to the results obtained in the present study, no *Salmonella* was detected in the cheese samples in another study performed for evaluating the microbiological quality of cheese samples sold in Ankara [32]. However, *Salmonella* species were found in 2% of cheese samples in another study conducted with white cheese obtained from distinct markets in central Afyonkarahisar Province [33].

In a study that examined samples of Kars kashar cheese, it was reported that 92% and 38% of the samples failed to meet the standards in terms of moisture content and dry matter salt content, respectively [24]. Similarly in this study, 40% of the kashar cheese samples in terms of moisture and 28% in terms of salt did not meet Turkish standards. This may be due to the manufacturer's failure to use a standard method. In this study, the fat content of the chechil cheese was between 14.3% and 22.6%. This result is higher than that found by Yangılar and Kızılkaya [23] (7.43%-12.55%). In this study, the fat content in lor cheese was found between 7.21% and 13.3%. As in this study, fat rates were found different in other studies [35, 36, 37]. This difference may be due to the difference in the amount of fat used in milk production in cheese. In this study, 80% of the white cheese samples were found to be semi-skimmed and 20% low-fat. This result is similar to the results of Gülmez et. al. [27].

**Table 2.** Results of microbiological analysis of kashar and chechil cheeses (cfu/g)

Cheese Type	Number of samples	Analysis	TS Standard 28155	Distribution of bacteria	Number of samples	Minimum	Maximum	Average±SD	Non-standard samples (%)	
<b>Kashar Cheese</b>	25	TAMB	-	<10 <sup>8</sup>	19	1.4x10 <sup>7</sup>	6.8x10 <sup>8</sup>	1.02x10 <sup>8</sup> ±2.92	-	
		Coliform	-	≥10 <sup>8</sup>	6	<10 <sup>1</sup>	3.6x10 <sup>1</sup>	0.66x10 <sup>1</sup> ±0.23	-	
	<i>Escherichia coli</i>	10 <sup>2</sup>	≥10 <sup>1</sup>	2	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	-	
			<10 <sup>1</sup>	25	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	-	
	<i>Enterobacteriaceae</i>	-	≥10 <sup>1</sup>	0	<10 <sup>2</sup>	23	<10 <sup>2</sup>	1.7x10 <sup>2</sup>	3.5x10 <sup>1</sup> ±0.90	-
			<10 <sup>2</sup>	23	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	-
	<i>Staphylococci-Micrococci</i>	-	≥10 <sup>2</sup>	2	<10 <sup>2</sup>	8	1.1x10 <sup>1</sup>	3.4x10 <sup>2</sup>	8.30x10 <sup>1</sup> ±1.55	-
			<10 <sup>2</sup>	17	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	-
	Yeast-Mold	-	<10 <sup>6</sup>	9	<10 <sup>6</sup>	9	4.4x10 <sup>5</sup>	1.6x10 <sup>7</sup>	3.82x10 <sup>6</sup> ±7.87	-
			≥10 <sup>6</sup>	16	≥10 <sup>6</sup>	16	-	-	-	-
<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Listeria monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<b>Chechil Cheese</b>	25	TAMB	-	<10 <sup>8</sup>	14	1.5x10 <sup>7</sup>	1.8x10 <sup>8</sup>	1.6x10 <sup>8</sup> ±7.08	-	
		Coliform	-	≥10 <sup>8</sup>	11	<10 <sup>1</sup>	1.6x10 <sup>2</sup>	1.9x10 <sup>1</sup> ±0.71	-	
	<i>Escherichia coli</i>	10 <sup>2</sup>	≥10 <sup>1</sup>	1	<10 <sup>1</sup>	23	<10 <sup>1</sup>	2.4x10 <sup>1</sup>	2.3x10 <sup>1</sup> ±0.10	-
			<10 <sup>1</sup>	23	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	-
	<i>Enterobacteriaceae</i>	-	≥10 <sup>1</sup>	2	<10 <sup>2</sup>	11	<10 <sup>2</sup>	6.8x10 <sup>2</sup>	1.9x10 <sup>3</sup> ±4.21	-
			<10 <sup>2</sup>	14	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	-
	<i>Staphylococci-Micrococci</i>	-	≥10 <sup>2</sup>	11	<10 <sup>2</sup>	14	1.8x10 <sup>1</sup>	7.4x10 <sup>2</sup>	1.65x10 <sup>3</sup> ±3.45	-
			<10 <sup>2</sup>	14	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	<10 <sup>2</sup>	-
	Yeast-Mold	-	<10 <sup>6</sup>	6	<10 <sup>6</sup>	6	2.2x10 <sup>5</sup>	2.8x10 <sup>7</sup>	4.31x10 <sup>6</sup> ±1.18	-
			≥10 <sup>6</sup>	19	≥10 <sup>6</sup>	19	-	-	-	-
<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Listeria monocytogenes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

**Table 3.** Results of microbiological analysis of lor and white cheeses (log cfu/g)

Cheese Type	Number of samples	Analysis	TS Standard 28155	Distribution of bacteria	Number of samples	Minimum	Maximum	Average±SD	Non-standard samples (%)
Lor	25	TAMB	-	<10 <sup>8</sup>	0	1.2x10 <sup>8</sup>	3.4x10 <sup>9</sup>	7.75x10 <sup>8</sup> ±1.59	-
				≥10 <sup>8</sup>	25	-	-	-	-
		Coliform	-	<10 <sup>1</sup>	20	<10 <sup>1</sup>	6.8x10 <sup>1</sup>	1.66x10 <sup>1</sup> ±0.49	-
				≥10 <sup>1</sup>	5	-	-	-	-
		<i>Escherichia coli</i>	10 <sup>2</sup>	<10 <sup>1</sup>	23	<10 <sup>1</sup>	3.2x10 <sup>1</sup>	0.28x10 <sup>1</sup> ±0.16	-
				≥10 <sup>1</sup>	2	-	-	-	-
		<i>Enterobacteriaceae</i>	-	<10 <sup>2</sup>	22	<10 <sup>2</sup>	3.2x10 <sup>2</sup>	5.9x10 <sup>1</sup> ±1.58	-
				≥10 <sup>2</sup>	3	-	-	-	-
		<i>Staphylococci-Micrococci</i>	-	<10 <sup>2</sup>	17	<10 <sup>2</sup>	4.8x10 <sup>8</sup>	9.59x10 <sup>1</sup> ±2.17	-
				≥10 <sup>2</sup>	8	1.1x10 <sup>1</sup>	-	-	-
Yeast-Mold	-	<10 <sup>6</sup>	13	<10 <sup>6</sup>	1.1x10 <sup>7</sup>	2.21x10 <sup>6</sup> ±5.08	-		
		≥10 <sup>6</sup>	12	-	-	-	-		
<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Listeria monocytogenes</i>	-	<10 <sup>1</sup>	24	<10 <sup>1</sup>	1.4 x10 <sup>1</sup>	0.04x10 <sup>1</sup> ±0.04	1(4)		
		≥10 <sup>1</sup>	1	-	-	-	-		
White Cheese	25	TAMB	-	<10 <sup>8</sup>	0	1.4x10 <sup>8</sup>	6.2x10 <sup>9</sup>	7.3x10 <sup>8</sup> ±2.37	-
				≥10 <sup>8</sup>	25	-	-	-	-
		Coliform	-	<10 <sup>1</sup>	21	<10 <sup>1</sup>	8.6x10 <sup>1</sup>	0.84x10 <sup>1</sup> ±0.60	-
				≥10 <sup>1</sup>	4	-	-	-	-
		<i>Escherichia coli</i>	10 <sup>2</sup>	<10 <sup>1</sup>	25	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	<10 <sup>1</sup>	-
				≥10 <sup>1</sup>	0	-	-	-	-
		<i>Enterobacteriaceae</i>	-	<10 <sup>2</sup>	16	<10 <sup>2</sup>	2.8x10 <sup>2</sup>	9.28x10 <sup>1</sup> ±1.81	-
				≥10 <sup>2</sup>	9	-	-	-	-
		<i>Staphylococci-Micrococci</i>	-	<10 <sup>2</sup>	19	<10 <sup>2</sup>	6.1x10 <sup>2</sup>	1.18x10 <sup>1</sup> ±3.19	-
				≥10 <sup>2</sup>	6	1.2x10 <sup>1</sup>	-	-	-
Yeast-Mold	-	<10 <sup>6</sup>	15	<10 <sup>6</sup>	1.4x10 <sup>7</sup>	2.85x10 <sup>6</sup> ±7.38	-		
		≥10 <sup>6</sup>	10	1.4x10 <sup>5</sup>	-	-	-		
<i>Salmonella</i> spp.	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Listeria monocytogenes</i>	-	<10 <sup>1</sup>	23	<10 <sup>1</sup>	2.6x10 <sup>1</sup>	0.20x10 <sup>1</sup> ±0.13	2(8)		
		≥10 <sup>1</sup>	2	-	-	-	-		

**Table 4.** Results of chemical analysis of kashar and chechil cheeses (log cfu/g)

Cheese Type	Number of samples	Analysis	TS Standard 28155	Distribution	Number of samples	Minimum	Maximum	Average±SD	Non-standard samples (%)
<b>Kashar Cheese</b>	25	pH	-	<4.0	*	*	*	*	*
				4.0-5.0	*	*	*	*	*
				>5.0	*	*	*	*	*
	Acidity (lactic acid%)	-	Full fat	<2.0	7	1.44	3.02	2.29±0.07	-
				2.0-3.0	17	1.44	3.02	2.29±0.07	-
				>3.0	1	1.44	3.02	2.29±0.07	-
	Fat(%)	-	Semi-skimmed	≥45	8	35.2	54.4	42.84±0.92	-
				25-44	17	35.2	54.4	42.84±0.92	-
				10-24	0	35.2	54.4	42.84±0.92	-
	Salt(%)	-	Low fat	<10	0	2.9	5	3.58±0.12	7 (28)
2.5-3.5				18	2.9	5	3.58±0.12	7 (28)	
>3.5				7	2.9	5	3.58±0.12	7 (28)	
Moisture(%)	-	Fatless	≤45	15	31.2	49.1	42.59±1.00	10 (40)	
			2.5-3.5	18	31.2	49.1	42.59±1.00	10 (40)	
			>45	10	31.2	49.1	42.59±1.00	10 (40)	
<b>Chechil Cheese</b>	25	pH	-	<4.0	0	5.11	5.72	5.35±0.03	-
				4.0-5.0	0	5.11	5.72	5.35±0.03	-
				>5.0	25	5.11	5.72	5.35±0.03	-
	Acidity (lactic acid%)	-	Full fat	<2.0	25	0.46	1.86	1.03±0.06	-
				2.0-3.0	0	0.46	1.86	1.03±0.06	-
				>3.0	0	0.46	1.86	1.03±0.06	-
	Fat(%)	-	Semi-skimmed	≥45	0	14.3	22	18.48±0.47	-
				25-44	0	14.3	22	18.48±0.47	-
				10-24	25	14.3	22	18.48±0.47	-
	Salt(%)	-	Low fat	<10	0	1.1	4.5	2.84±0.19	15 (60)
≤3.0				10	1.1	4.5	2.84±0.19	15 (60)	
>3.0				15	1.1	4.5	2.84±0.19	15 (60)	
Moisture(%)	-	Fatless	≤45	15	36.2	52.6	45.51±0.90	10 (40)	
			2.5-3.5	18	36.2	52.6	45.51±0.90	10 (40)	
			>45	10	36.2	52.6	45.51±0.90	10 (40)	

\*: No results or measurement failed

**Table 5.** Results of chemical analysis of lor and white cheeses (log cfu/g)

Cheese Type	Number of samples	Analysis	TS Standard 28155	Distribution	Number of samples	Minimum	Maximum	Average±SD	Non-standard samples (%)	
<b>Lor</b>	25	pH	-	≤4.0	0					
				4.0-5.0	25	4.12	4.98	4.46±0.05	-	
				>5.0	0					
	Acidity (lactic acid%)	-	-	≤2.0	25					
				2.0-3.0	0	0.71	1.51	1.14±0.53	-	
				>3.0	0					
	Fat(%)	25	-	Full fat	≥45	0				
				Semi-skimmed	25-44	0	7.2	13.3	9.46±0.36	-
				Low fat	10-24	10				
				Fatless	<10	15				
Salt(%)	20	-	≤2.0	20	1.2	2.2	1.85±0.04	5 (20)		
			>2.0	5						
Moisture(%)	18	-	≤75	18	62.2	86.6	71.47±1.25	7 (28)		
			>75	7						
<b>White Cheeses</b>	25	pH	-	≤4.0	0					
				4.0-5.0	25	4.42	4.86	4.64±0.02	-	
				>5.0	0					
	Acidity (lactic acid%)	25	-	≤2.0	25					
				2.0-3.0	0	1.02	1.6	1.25±0.30	-	
				>3.0	0					
	Fat(%)	20	-	Full fat	≥45	0				
				Semi-skimmed	25- 44	5	11.5	29.2	21.25±0.86	-
				Low Fat	10-24	20				
				Fatless	<10	0				
Salt(%)	13	-	≤2.5	13	2	3.6	2.73±0.11	12 (48)		
			>2.5	12						
Moisture(%)	18	-	≤65	18	54.2	69.4	62.05±0.92	7 (28)		
			>65	7						



#### 4. Conclusion and Suggestions

As a result, according to the results obtained, many of the cheese samples might pose a microbiological risk and moreover, were shown to be chemically and microbiologically sub-standard. This situation shows the deficiencies in the quality of cheeses and poses a potential threat to public health. In this situation, hygiene rules must be followed throughout all stages of cheese production, from the processing stage to the marketing stage, by using pasteurized and standardized milk, using a starter culture and using suitable processing and packaging methods. Cheese production can also be improved by raising the awareness of the small family businesses that play a major role in the market share. Thus, it will be possible to obtain a more standard, hygienic and high-quality product. As in all food sectors, support must be provided for more discerning and controlled production and marketing opportunities in terms of milk and dairy products. The aim of this study was to provide a reference to encourage more detailed microbiological and chemical studies in order to offer healthful and safe cheese to the public. Kars cheeses, predominantly kashar, hold a very important place in the Kars market as well as throughout the whole of Turkey. For this, the production of Kars cheeses in hygienic conditions and in accordance with the standards is important for the protection of public health.

#### Acknowledgment

This research was supported by the Kafkas University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project no. 2016-TS-27). Three different data obtained from this study are summarized in three different congresses (poster presentation "Some Microbiological Properties of Kars Kashar and Cecil Cheeses" ICRES 2018; poster presentation "Some Chemical Properties of Kars Kashar and Cecil Cheeses" EurasianBioChem 2018; oral presentation "Some Chemical Properties of Kars White Cheeses and Whey Cheeses" ITWCCST 2018).

#### Author' 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] Kamber U. 2005. Geleneksel Anadolu Peynirleri. Miki Matbaacılık San. ve Ltd. Şti, Ankara.
- [2] Varga L. 2007. Microbiological quality of commercial dairy products. Pages 487-494 in Communicating Current Research and Educational Topics and Trends in Applied Microbiology. Formatex Microbiology Series; (1). A. Mendez-Vilas, ed. Formatex, Badajoz, Spain.
- [3] Kılıç S. 2010. Süt Mikrobiyolojisi. Sıdaş Medya Ltd. Şti, İzmir.
- [4] Kongo J.M., Malkata F.X. 2016. Cheese: Chemistry and Microbiology. Elsevier Ltd. All rights reserved, 735-740.
- [5] Kaynar P. 2011. Ülkemiz peynirleri üzerine mikrobiyolojik araştırmalar. Türk Mikrobiyol Cem Derg, 41 (1): 1-8.
- [6] Bostan K. 1994. Değişik ambalajlar içinde bulunan tulum peynirlerinin duysal, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri. In: Demirci M. (Editör), Her Yönüyle Peynir Kitabı, Trakya Üniv Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayınları, Tekirdağ, 244-248.
- [7] Ekici K., Okut H., Isleyici O., Sancak Y.C., Tuncay R.B. 2019. The determination of some microbiological and chemical features in herby cheese. Foods, 8 (23): 1-11.

- [8] Oktay İ., Heperken D., Kaya G.D. 2006. Peynir, tereyağı ve kumpirde patojen mikroorganizmalar ve hızlı test yöntemi vidas ile *Listeria* ve *Salmonella* aranması. Dokuzuncu Gıda Kongresi Kitabı, Bolu, Türkiye,643.
- [9] Morul F., İşleyici Ö. 2012. Divle tulum peynirinin kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri. YYÜ Vet Fak Derg, 23 (2): 71-76.
- [10] Başkaya R., Atasever M., Çakmak Ö., Yıldız A. 2006. Civil peynirlerin mikrobiyolojik nitelikleri. İÜ Vet Fak Derg, 32: 1-13.
- [11] Koçulu İ., Kayacan G., Tatari F., Torun O., Ünsal D. 2014. Alplerden Kafkaslara Kars Peynirciliğinin 150 Yıllık Tarihi. Boğatepe Çevre ve Yaşam Derneği, Tarih Vakfı, Ofset Matbaacılık, İstanbul.
- [12] Messer J.W., Behney H.M., Leudecke L.O. 1985. Mikrobiological Count Methods. In: Richardson G.H. (Editor). Standart Methods for the Examination of Dairy Products, 15. Edition, 133-149.
- [13] Anonymous, 1995. The Oxoid Manual. Compiled By EY Bridson, 7th. Ed. Oxoid Ltd. Basingstoke, Hampshire.
- [14] Koburger J.A., Marth E.H. 1984. Yeasts and Molds. In: Speck M.L. (Editor), Compendium of Methods for the Microbiological Examination of Food, 197-201.
- [15] Anonymous, 2001. Microbiology of Food and Animal Feeding Stuffs-Horizontal Method for the Enumeration of  $\beta$ -Glucuronidase-Positive *Escherichia coli*. Part 2: Colony-Count Technique A 44°C Using 5-Bromo-4-Chloro-3-Indoyl-Beta-D-Glucuronide, ISO 16649-2.
- [16] Pichhardt K. 1993. Lebensmittel mikrobiologie. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin.
- [17] Anonymous, 1997. International Organization for Standardization: Meat and Meat Products- Detection and Enumeration of *Enterobacteriaceae*. ISO/DIS 5552.
- [18] Türk Standartları Enstitüsü. 2004. Gıda ve yem maddelerinin mikrobiyolojisi-*Listeria monocytogenes*'in aranması ve sayımı metodu. Bölüm-1: arama metod. TSE EN ISO 11290-1/A1; ss.1-9. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [19] Türk Standartları Enstitüsü. 2017. Besin zincirinin mikrobiyolojisi- *Salmonella* 'nıntespti sayımı ve serotiplendirilmesi için yatay yöntem. Bölüm-1: *Salmonella* spp. TSE EN ISO 6579-1; ss. 1-67. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [20] Bianco L.J., Peter B.M., Mykleby W.R., Burke J.A. 1972. Supplemental chemical control methods, In: Hausler W.J. (Editor), Standart Methods fort the Examination of Dairy Products. Thirteen Ed. A.P.H.A, 320-322.
- [21] Kurt A., Çakmakçı S., Çağlar A. 1993. Süt ve Mamülleri Muayene ve Analiz Metodları Rehberi. Genişletilmiş 5. Baskı, Atatürk Üniv. Yayınları No: 252/D, Ziraat Fak Yay No: 18, Erzurum.
- [22] Kamber U. 2005. Kars'ta satışa sunulan kaşar ve çeçil (civil) peynirlerinin bazı mikrobiyolojik ve kimyasal kalite nitelikleri. Kafkas Üniv Vet Fak Derg, 11 (1): 33-35.
- [23] Yangılar F., Kızılkaya P.Ç. 2015. Ardahan'ın aromatik çeçil peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi.BEÜ Fen Bilimleri Derg, 4 (2): 122-130.
- [24] Gülmez M., Güven A. 2001. Beyaz ve çeçil peynirlerinde *Campylobacter*, *Salmonella* ve *Listeria* türlerinin araştırılması. Kafkas Üniv Vet Fak Derg, 7: 155-161.
- [25] Erol İ. 2007. Gıda Hijyeni ve Mikrobiyolojisi. Pozitif Maatbacılık Ltd. Şti. Ankara.
- [26] Öksüztepe G., Patır B., Dikici A., İlhak O.İ. 2009. Elazığ'da tüketime sunulan vakum paketli taze kaşar peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesi. Fırat Üniv Sağ Bil Vet Derg, 23 (2): 89-94.
- [27] Gülmez M., Güven A., Çetinkaya A. 2001. Kars'ta tüketime sunulan taze ve salamura beyaz peynirlerin bazı mikrobiyolojik ve kimyasal özellikleri. Kafkas Üniv Vet Fak Derg, 7 (1): 55-62.
- [28] Sağun E., Sancak H., Durmaz H. 2001. Van'da kahvaltı salonlarında tüketime sunulan süt ürünlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal kaliteleri üzerine bir araştırma. YYÜ Vet Fak Derg, 12 (1-2): 108-112.
- [29] Kızanlık-Koçak P., Göksoy E.Ö. 2018. Microbiological quality evaluation of various types of cheese.Erciyes Üniv Vet Fak Derg, 15 (2): 86-93.
- [30] Baz E., Gülmez M., Güven A., Sezer Ç., Duman B. 2003. Kars'ta satışa sunulan çiğ süt ve taze beyaz peynirlerin koliform grubu bakterileri, *E. coli* ve *E. coli* O157:H7 yönünden incelenmesi.Kafkas Üniv Vet Fak Derg, 9 (2): 165-167.

- [31] Aksoy A., Sezer Ç., Vatansever L., Gülbaz G. 2018. Presence and antibiotic resistance of *Listeria monocytogenes* in raw milk and dairy products. *Kafkas Üniv Vet Fak Derg*, 24 (3): 415-421.
- [32] Kaynar Z., Kaynar P., Koçak C. 2005. Ankara piyasasında tüketime sunulan beyaz peynirlerin hijyenik kalitelerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma. *Türk Hij Den Biyol Derg*, 62 (1,2,3): 1-10.
- [33] Akkaya L., Alışarlı M. 2006. Afyonkarahisar'da tüketime sunulan peynirlerde *Listeria monocytogenes* ve *Salmonella* türlerinin varlığının belirlenmesi. *YYÜ Vet Fak Derg*, 17 (1-2): 87-91.
- [34] Sert S., Kıvanç M. 1985. Taze civil ve lor peyniri üzerinde mikrobiyolojik çalışmalar. *Gıda*, 10 (5): 287-292.
- [35] Çardak A.D. 2012. Microbiological and chemical quality of çökelek cheese, lor cheese and torba (strained) yoghurt. *African Journal of Microbiology Research*, 6: 7278-7284.
- [36] Demirci M., Şimşek O., Arıcı M. 1991. Tekirdağ piyasasında satılan lorların bileşimi ve bazı mikrobiyolojik özellikleri üzerine bir araştırma. *Gıda*, 16: 291-294.
- [37] İncili G.K., Çalıcıoğlu M. 2019. Elazığ ilinde vakum ambalajlı ve açıkta satışı sunulan lor peynirlerinin kimyasal özelliklerinin ve mikrobiyolojik kalitesinin değerlendirilmesi. *Fırat Üniv Sağ Bil Vet Derg*. 33 (3): 169-175.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **İzole Sinyalize Kavşaklar için Çiçek Tozlaşma Algoritması Kullanılarak Devre Süresi Modellerinin Geliştirilmesi**

Ali Payıdar AKGÜNGÖR, Sevim YAVUZ, Ersin KORKMAZ\*, Erdem DOĞAN

*Kırıkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi., İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71451, Kırıkkale.*  
(ORCID: 0000-0003-0669-5715) (ORCID: 0000-0002-9262-7278)  
(ORCID: 0000-0003-3725-164X) (ORCID: 0000-0001-7802-641X)

---

### **Öz**

Son zamanlarda nüfus ve ekonomideki büyüme karayollarında araç kullanımını arttırmakta, buna bağlı olarak da kavşakların kapasitesi yetersiz kalmaktadır. Kavşakların verimsiz çalışmasından dolayı gecikme, yakıt tüketimi, emisyon salınımı artarken sürücü davranışları da olumsuz etkilenmektedir. Kavşak geometrilerinin iyileştirilmesinin yanı sıra, optimum devre süresinin doğru tespiti ve sinyal sürelerinin düzenlenmesi ile de bu sorunların minimuma indirilebilmesi mümkün olmaktadır. Bu çalışmada Çiçek Tozlaşma Algoritması (ÇTA) kullanılarak optimum devre süresi modelleri geliştirilmiştir. Ayrıca en düşük gecikmeye sahip olan devre sürelerinin belirlenmesinde Diferansiyel Gelişim Algoritmasından (DGA) yararlanılmıştır. Kalibre edilen Webster modeline ilave olarak sabit eklenmiş Webster model formu ve üstel formda devre süresi modelleri geliştirilmiştir. VISSIM simülasyon programı ile elde edilen gecikme değerlerine göre geliştirilen bütün modeller Webster modeli ve VISTRO optimizasyon programı ile karşılaştırılmış ve önerilen modellerin istatistiksel olarak daha iyi performansa sahip olduğu görülmüştür. Bu modellerin özellikle yüksek trafik hacmine sahip trafik durumlarında yetersiz kalan Webster modelindeki eksiklikleri kapatarak alternatif bir devre süresi tahmin modeli olarak kullanılabileceği ön görülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Optimum devre süresi, VISTRO, VISSIM, çiçek tozlaşma algoritması.

---

## **Development of Cycle Length Models using Flower Pollination Algorithm for Isolated Signalized Intersections**

---

### **Abstract**

Recently, the growth in population and economy has increased the use of vehicles on highways and accordingly the capacity of the intersections is insufficient. Delay, fuel consumption and emissions are increased due to the inefficient operation of intersections, and driver behavior is adversely affected. In addition to improving intersection geometry, by correct determination of optimum cycle length and arrangement of signal times, it is possible to minimize these problems. In this study, optimum cycle length models have been developed by using Flower Pollination Algorithm (FPA). Additionally, Differential Evolution Algorithm has been used to determine the cycle length which has the minimum delay value for each traffic situation. In addition to the calibrated Webster model, Webster model with constant form and exponential form have been developed as cycle length models. All models developed according to the delay values obtained with the VISSIM simulation program were compared with the Webster model and the VISTRO optimization program and the proposed models were found to have statistically better performance. It has been seen that these models can be used as an alternative cycle length estimation model by defeating the deficiencies in Webster model which is insufficient especially in traffic situations with high traffic volume.

**Keywords:** Optimum cycle length, VISTRO, VISSIM, flower pollination algorithm.

---

### **1. Giriş**

Günümüzde taşıt sayıları ve seyahat talebindeki hızlı artış yol kapasitelerinin yetersiz kalmasına ve başta kavşaklar olmak üzere trafiğin sıkışmasına neden olmaktadır. Kavşak performansının, geometrilerinde

---

\*Sorumlu yazar: [ersinkorkmaz@kku.edu.tr](mailto:ersinkorkmaz@kku.edu.tr)

Geliş Tarihi: 10.06.2020, Kabul Tarihi: 01.07.2020

yapılan değişikliklerle arttırılabilmesi her zaman mümkün olmadığından genelde optimizasyon teknikleri kullanılarak sinyalizasyon sistemlerindeki düzenlemelerle kavşak performansının iyileştirilmesi üzerine çalışılmaktadır. Kavşaklarda kapasitenin arttırılmasında ve sinyalizasyondan kaynaklı gecikmelerin azaltılmasında devre süresinin etkili bir parametre olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, optimum devre süresinin modellenmesi başta trafik mühendisleri olmak üzere birçok araştırmacının dikkatini çekmiş ve uzun yıllardan beri bir araştırma konusu olmuştur.

1958 yılında Webster [1] tarafından geliştirilen gecikme bağıntısı ve minimum gecikmeye dayalı optimum devre süresi modeli kavşak kontrolünde ve devre süresinin tayininde yapılan ilk çalışmalardandır. Özellikle doygun altı trafik durumlarında etkili bir performansa sahip olan model, doygun üstü trafik durumlarında etkisini yitirmektedir. Thomas ve Uphurch 1998 yılında yaptıkları çalışmada trafik hacimlerinin ve optimum olmayan devre sürelerinin gecikme üzerindeki etkilerini incelemişler ve devre süresi, trafik hacmi gibi parametrelerin belirgin oranda artmasıyla gecikmenin de çok fazla arttığını ortaya koymuşlardır [2]. Webster'in optimum devre süresi modelinde devre süresi tahmininin yüksek olmasının nedenini bulmayı amaçlayan Cheng ve arkadaşları 2003 yılında Synchro 5 ve Highway Capacity Software (HCS) yazılımı kullanarak üç farklı devre süresi tahmin modeli geliştirmişlerdir. Yüksek trafik hacmi durumlarında üstel formdaki modelin diğer modellere oranla ve Webster'e kıyasla optimum devre süresini daha iyi tahmin ettiğini gözlemlemişlerdir. 2004 yılında Lan minimum gecikmeye dayalı olarak doğrusal olmayan regresyon analizi yöntemi kullanmıştır. Bu yöntemle kavşak kritik akım oranı, toplam kayıp süre ve analiz süresini içeren trafik akım parametreleri ve optimum devre süreleri arasındaki fonksiyonel ilişkiyi ortaya koymuştur [3]. Cheng ve arkadaşları 2005 yılında Webster devre süresi modelini geliştirerek ve üstel formda model oluşturarak farklı devre süresi tahmin modelleri önermişlerdir [4]. Farklı hacim ve kayıp zamanlarına göre CORSIM simülasyon programı üzerinden modellerin sonuçlarını Highway Capacity Manual (HCM) 2000 sonuçlarıyla karşılaştırmışlardır. Devre süresinin etkinliği ve verimliliğini değerlendirmeyi amaçlayan Day ve arkadaşları 2009 yılında Webster modeli ve HCM'in hesaplamalarını kullanarak devre süresi az, çok ve yeterli olduğunda sinyalizasyon bir kavşaktaki devre süresinin etkinliğini araştırmışlardır [5].

2009 yılında kavşaklardaki trafik performansını optimuma yakın sağlamayı hedefleyen Singh ve arkadaşları genetik algoritma kullanarak gerçek zamanlı trafik sinyal kontrolü stratejisi uygulamışlardır [6]. Sinyalize kavşaklarda araç gecikmesini minimuma indiren optimum devre süresini bulmayı amaçlayan Al-Kubaisi 2012 yılında sinyalize kavşakta araç davranışı için geliştirilen simülasyon modelinin uygulanmasına bağlı olarak bir regresyon modeli geliştirmiştir [7]. Geliştirdiği modelin çıktısını doğrulamak için OSCADY/3 yazılım paketi kullanmış ve sonuçların uyumlu olduğunu ifade etmiştir. Bağdat şehrindeki bir kavşak verilerine göre elde edilen devre süresi ve gecikme değerleriyle önerilen modelin sonuçlarını karşılaştırmış ve daha düşük gecikme ve devre süresinin elde edilebildiğini göstermiştir. 2012 yılında Sun ve arkadaşları devre süresi optimizasyonunu kullanarak sinyal kontrol sistemi geliştirmişlerdir. VISSIM simülasyon yazılımı ile doğrusal kontrol sisteminin kavşağın trafik kapasitesini arttırdığını ve kavşaktaki gecikmeyi azalttığını gösteren optimizasyon öncesi ve sonrasında karşılaştırmalar yapmışlardır [8]. Trafikteki gecikmeyi azaltmayı ve kapasiteyi arttırmayı amaçlayan Dai ve arkadaşları 2013 yılında farklı trafik akımlarına göre ve ortalama saatlik trafik hacmine dayanarak önerdikleri basit ve pratik bir kavşak kontrol yöntemi ile kavşağın devre süresini hesaplamışlardır [9]. Sonuçları diğer yöntemlerle karşılaştırmışlar ve uyumlu olduğunu göstermişlerdir. 2013 yılında Dell'Orco ve arkadaşları trafik sinyal süresini optimize etmek için Harmoni Arama Algoritmasını kullanmışlardır [10]. Denge ağı tasarım problemini çözen bu çalışmada harmoni arama algoritmasına göre sinyal süresi optimizasyonu yapılmıştır. Geliştirilen model orta ölçekli bir yol ağı üzerinde test edilmiş ve sonuçlar önerilen metodun oldukça basit ve verimli olduğunu göstermiştir. Çin'de sinyalize kavşaklar için optimizasyona dayalı bir devre süresi modeli geliştirmeyi ve modelin etkilerini değerlendirmeyi amaçlayan Wu ve arkadaşları 2015 yılında Çin'in en büyük şehirlerinden biri olan Xi'an da 50 sinyalize kavşaktan trafik verileri toplamışlardır [11]. Optimum devre süresi için Webster'in gecikme modeli Çin trafik koşullarında yeniden kalibre edilmiştir. Önerilen optimize edilmiş devre süresi modelinin etkisini değerlendirmek için VISSIM simülasyon programı kullanılmış ve üç sinyalize kavşak üzerinden karşılaştırma yapılmıştır. Optimize edilmiş devre süresi modeli Transport and Road Research Laboratory (TRRL) modeline göre daha düşük gecikme ve devre süresini ortaya koymuştur. 2015 yılında Webster yönteminin gecikmeyi gerçek anlamda ne kadar temsil ettiğini belirlemek isteyen Murat ve Çakıcı çalışmalarında önce Webster'in optimum devre süresi modeli kullanarak oluşturduğu 14 senaryonun optimum devre süresi ve gecikmelerini hesaplamışlardır. Sonraki aşamada ise sezgisel

optimizasyon yöntemlerinden harmoni araması, diferansiyel gelişim ve parçacık sürü optimizasyonu kullanarak yeniden optimum devre süresi ve gecikmeleri hesaplamışlar ve Webster'e göre daha iyi sonuçlar elde etmişlerdir [12]. 2016 yılında Zakariya ve Rabia Kanada Kapasite Rehberinde ve Otoyol Kapasite Kılavuzunda kullanılan zamana bağlı gecikme modellerine göre minimum gecikmeyi veren optimum devre süresini tayin etmek için iki regresyon bağıntısı önermişlerdir. Bu regresyon bağıntısında gerekli verileri elde etmek ve optimum devre süresini saptamak için arama algoritması geliştirmişlerdir [13]. Sonuç olarak önerilen bağıntıların Webster modeline kıyasla yüksek trafik hacimlerinde optimum devre süresini daha iyi tahmin ettiğini görmüşlerdir. Jovanovic ve arkadaşları 2017 yılında arı kolonisi algoritmasına dayalı bir yaklaşımla sinyalizasyon kavşakları boyunca toplam seyahat süresini minimize edecek şekilde devre süresinin, devre süreleri arası zamanın (ofset) ve faz başına düşen sürenin belirlenmesini sağlamışlardır [14].

Bu çalışmada, meta sezgisel algoritmalar kullanarak farklı trafik durumlarını yönetebilen ve daha iyi performanslara sahip optimum devre süresi tahmin modellerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bunun için farklı kayıp sürelerine göre her trafik durumu için minimum gecikmeyi verecek devre süresinin diferansiyel gelişim algoritması ile araştırılması sağlanmış ve optimum devre süresi modelleri çiçek tozlaşma algoritması yardımıyla da geliştirilmiştir. ÇTA yaklaşımının bu konuda ilk defa uygulanması çalışmanın yeniliğini ortaya koymakta olup, güncel ve etkili performansa sahip olan bu yaklaşımın optimum devre süresinde uygulanabilirliğini de göstermektedir. Kullanılan algoritmalar ile VISSIM simülasyon programı ve VISTRO optimizasyon modülü bir sonraki bölümde detaylı olarak açıklanmış olup geliştirilen model formları bu bölümün sonunda verilmiştir. Modellerin performansları Webster modeli ve VISTRO optimizasyon programı sonuçları ile karşılaştırılarak bulgular ve tartışmanın yer aldığı 3. bölümde incelenmiş ve son bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

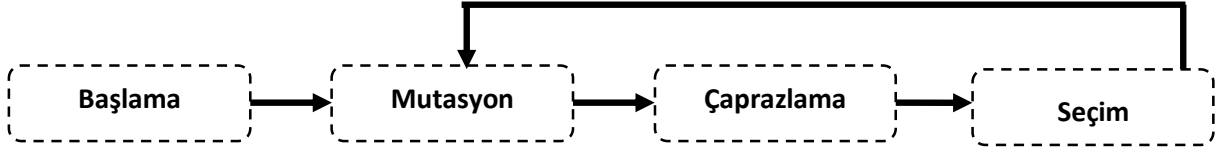
## 2. Materyal ve Metot

Yapılan bu çalışmada Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) kullanılarak bir arama algoritması oluşturulmuş ve üç kollu bir sinyalizasyon kavşakta 266 farklı trafik durumu için gecikme değerini minimum yapan optimum devre süreleri elde edilmiştir. Elde edilen optimum devre süreleri kullanılarak Çiçek Tozlaşma Algoritması (ÇTA) yardımıyla farklı formlarda optimum devre süresi tahmin modelleri geliştirilmiştir. VISTRO optimizasyon programı geliştirilen modellerin performansları karşılaştırmak için kullanılmış olup VISSIM simülasyon programı ile simülasyonları gerçekleştirilmiş ve gecikme değerleri ortaya konulmuştur.

### 2.1. Diferansiyel Gelişim Algoritması

Popülasyon temelli sezgisel bir optimizasyon tekniği olan diferansiyel gelişim algoritması, Rainer Storn ve Kenneth Price tarafından ortaya atılan işleyiş ve operatörleri itibarıyla genetik algoritmayla (GA) benzerlik gösteren bir optimizasyon tekniğidir [15]. GA da kullanılan çaprazlama ve mutasyon işlemleri ayrı ayrı gerçekleştirildiği için genetik algoritmada optimizasyon için uzun zamana ihtiyaç duyulmaktadır. DGA ile gelişime dayalı bir strateji önerilerek bu dezavantajın giderilmesi sağlanmıştır.

DGA'yı GA'dan ayıran en önemli fark ise mutasyon operatöründe olmaktadır. DGA'nın rastgele seçilmiş vektörlerin farkına dayanan bir mutasyon işlemi gerçekleştirilmesi bu operatörü adaptif hale getirmektedir. Bu farklar uygun bir adım boyutu için önemli bir göstergedir. Çünkü, algoritma olarak optimum değişimlere doğru atılacak adım boyutu belirlenmesi önemli olup mutasyon operatörünün adaptif olmasından dolayı da algoritmanın performansını geliştirmekte ve güçlü yapmaktadır. Bu sayede popülasyon üyeleri arasındaki varyans arttığında ya da azaldığında DGA'daki adım boyutu da buna göre değişmektedir. Ayrıca DGA yaklaşımında operatörlerin bütün popülasyona uygulanmaması, az satır ile kodlanması gibi avantajları algoritmanın tercih edilirliliğini arttırmaktadır. DGA'nın diğer sezgisel yöntemlere göre diğer bir üstünlüğü de çok az parametre ile kontrol edilebilmesidir. Sadece 3 tane kontrol parametresi vardır ki bunlar mutasyon katsayısı  $F$ , çaprazlama katsayısı  $CR$  ve popülasyon büyüklüğüdür  $NP$ 'dir. 4 temel operatör ile optimizasyonu gerçekleştiren DGA yaklaşımının temel adımları Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. DGA temel adımları

Her algoritmada olduğu gibi DGA içinde başlangıç popülasyonunun doğru şekilde oluşturulması algoritmanın performansında önemli bir yere sahiptir. Optimum popülasyon hakkında önceden bir bilgi yok ise genellikle başlangıç popülasyonu her bir parametrenin belirlenen alt ve üst sınırları dahilinde rastgele olarak elde edilir. Eğer optimum popülasyon biliniyorsa bu bilgiyi kullanmak önemlidir. Böylece çözüm uzayı daraltılabilir ve optimum çözüm popülasyonu oluşturulabilir. Mutasyon işleminde fark vektörünün kullanılması algoritmanın hızlı bir şekilde çözüme ulaşmasını sağlamaktadır. Farklı mutasyon stratejileri kullanılabilen bu yaklaşımda 1 ya da 2 tane fark vektörünün kullanılması ile mutasyon işlemi sağlanabilmektedir. Farklı mutasyon stratejileri  $/x/y/z$  şeklinde ifade edilmektedir. Burada  $x$  mutant vektörü oluşturmak için kullanılan baz vektörü,  $y$  mutasyon işleminde kullanılan fark vektörünün sayısını ve  $z$  de çaprazlama işleminde kullanılan çaprazlama şemasını ifade eder.  $X$  ile ifade edilen baz vektörü seçerken kullanılan yöntemler “rand, best, rand to best, current ve current to best and current to rand” olarak kullanılmaktadır. Çaprazlama işleminde ise üç farklı metottan birisi ile çaprazlama katsayısı belirlenir. Kullanılan katsayı, deneme vektörünün ne kadar mutant ve hedef vektörüne yakın olacağı üzerinde etkilidir. Eğer deneme vektörü mutant vektörüne yakınsa daha büyük adım boyutu uygulanır ve algoritma daha hızlı çalışır. Çaprazlamada kullanılan metotlar iki terimli (Binomial), üstel (exponential), aritmetiktir. Son operatörde ise yeni jenerasyonun oluşturulması gerçekleşir. DGA’da bu olay iki adaylı bir turnuva olarak da adlandırılabilir. Uygunluk fonksiyonunu minimize edecek şekilde deneme vektörü ile hedef vektörü arasında en iyi seçimi yaparak yeni jenerasyonu oluşturmaktır.

## 2.2. Çiçek Tozlaşma Algoritması

Karmaşık yapıya sahip pek çok problemin analitik yöntemler ile çözüme kavuşturulamamasından araştırmacılar farklı yaklaşımlara yönelmişlerdir. En kısa sürede en iyi sonuca ulaşmak için sezgisel ve meta sezgisel optimizasyon yöntemleri birçok probleme uygulanmıştır. Bu süreçte evrimdeki çiçeklerin amacının türün hayatta kalması, sayı ve nitelik açısından en uygun popülasyonun üretilmesi olduğu kanısından yola çıkılarak 2012 yılında Xin-She Yang tarafından Çiçek Tozlaşma Algoritması (ÇTA) ortaya konulmuştur [16]. Doğanın bu ilginç işleyişinden ilham alınarak ortaya konan bu algoritma meta sezgisel yöntemlerden birisi olup, temel olarak çiçekli bitkilerin üreme sürecinden ilham alınmıştır. Ortaya konulduğu günden beri hızlı bir şekilde popüleritesini arttıran bir algoritma olmuş ve farklı alanlardaki birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Farklı alanlardaki uygulamaları ve mevcut yapay zekâ yaklaşımları ile performans kıyaslamalarında rekabet edici özelliklere sahip olduğu ve üstünlük gösteren sonuçları ortaya koymuştur. Yaklaşımın daha geniş çözüm uzayında arama yapması, az parametre ile kontrol edilebilmesi ve diğer meta-sezgisel yaklaşımlardan daha hızlı yakınsamaya sahip olması gibi üstünlükleri diğer yaklaşımlara göre daha çok tercih edilen bir algoritma olmasına neden olmaktadır.

Çiçek tozlaşmasında asıl amaç, en uygun canlılığın ve optimum biyolojik üreme evresinin sağlanmasıdır. Polenleşme işlemi biyotik ve abiyotik olmak üzere iki farklı tipte gerçekleşmektedir. Tüm türlerin %90’ına yakını polenleşmede biyotik yöntemi kullanıp ve üremeyi sağlayıcı polenler kuşlar böcekler gibi hayvanlar yardımı ile taşınarak üreme işlemi gerçekleştirirken, %10 oranında herhangi bir tozlaştırıcı olmadan abiyotik üreme gerçekleştirirler. Geri kalan çiçeklerde üremek için rüzgâr ve sudaki difüzyon gibi doğal olayları kullanmaktadır. Polenleme çaprazlama (cross) veya kendi kendine (self) olmak üzere iki farklı şekilde gerçekleşmektedir. Çapraz polenlemede farklı tür çiçeklerden gelen polenler kullanılırken, kendi kendine polenlemede bitki kendisinin ürettiği poleni ya da aynı türden farklı bir çiçekten polen kullanılmaktadır. Biyotik polenleme uzak mesafelerde bulunan kaynaklardan arılar, sinek, kuşlar gibi doğal taşıyıcılar kullanılarak gerçekleşebilir. Bu işlem küresel (global) bir işlem olmakla beraber yapılan araştırmalarla taşıyıcıların hareket karakteristiği Levy uçuşuna benzerlik göstermektedir. Aşağıdaki 4 temel kural kullanılarak mühendislik problemlerinin çözümü için çiçek polenleme algoritması geliştirilmiştir.

Bu kurallar;

- Biyotik ve çaprazlama polenleme işlemi taşıyıcıların Levy uçuşuna uygun şekilde davranarak gerçekleştirilen küresel polenleme işlemidir
- Abiyotik ve kendiliğinden gerçekleşen polenleme işlemi yerel polenleme işlemi olarak kabul edilmektedir.
- Çiçek sabiti adı verilen katsayı üretim olasılığı olarak ifade edilir ve çiçek türlerinin benzerliği ile orantılı olarak değişmektedir.
- Yerel ve global polenleme işlemi [0-1] aralığında belirlenen geçiş olasılığı değişkeni ile kontrol edilir.

Gerçek durumda her bir türün birden fazla çiçeği ve her bir çiçeğin milyarlarca polen gameti bulunmasına rağmen algoritma oluşturulurken kolaylık olması açısından her türün tek çiçeği ve her çiçeğin tek bir polen gameti ürettiği varsayımı kabul edilmiştir. Bu sayede polenleri ayrı ayrı ifade etme ve belirleme zorunluluğu ortadan kalkmıştır.

Çiçek sabitinin matematiksel ifadesi Denklem 1'de gösterilmiştir.

$$x^{t+1} = x_i^t + \gamma L(\lambda)(g_* - x_i^t) \quad (1)$$

Burada  $x^{t+1}$  çözüm vektörü,  $g^*$  mevcut en iyidir.  $\gamma$  adım boyutunu ayarlama faktörüdür.

Levy dağıtımı tozlaşma kuvvetini karşılamak için kullanılır. Böcekler uzun mesafeli seyahat ederken, böceklerin hareketi Levy dağılımına göre gösterilebilir. Levy'nin matematiksel ifadesi Denklem 2'de gösterilmiştir.

$$L \sim \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\pi} \frac{1}{s^{1+\lambda}}, (s \gg s_0 > 0) \quad (2)$$

Burada  $\Gamma(\lambda)$  standart gama fonksiyonudur ve  $s$  adım büyüklüğündedir. Bu dağılım  $s > 0$  büyük adımlar için geçerlidir. Teoride,  $s_0 \gg 0$  gereklidir, ancak uygulamada  $s_0$  0.1 kadar küçük olabilir.

Yerel tozlanma için, hem Kural 2 hem Kural 3, Denklem 3'de gösterilmiştir.

$$x^{t+1} = x_i^t + \epsilon(x_j^t - x_k^t) \quad (3)$$

Burada  $x_j^t$  ve  $x_k^t$  aynı bitki türlerinin farklı çiçeklerinden gelen polen türüdür.

Bu algoritmanın dikkat çeken özelliği Levy dağılımını kullanarak arama uzayında birçok çözüm noktasının araştırılmasıdır. Global aramayla çözüm uzayında çözüm noktalarının belirlenmesi ve lokal arama vasıtasıyla çözüm noktalarının komşuluğunun araştırılması algoritmanın optimizasyon mantığını oluşturmaktadır.

### 2.3. VISSIM Simülasyon Programı ve VISTRO Optimizasyon Modülü

PTV GmbH tarafından geliştirilen VISSIM (Verkehr in Städten-Simulation: Traffic in Towns-Simulation) hem şehirlerin gerçekçi bir şekilde modellenmesi hem de yayaların ve trafiğin modellenmesini amaç edinen zamana dayalı mikroskobik bir simülasyon programıdır. Toplu taşımalarda modellenemediği bu sistemde trafiğin nasıl aktığı görsel olarak da simülasyon ortamında izlenebilmektedir. Bu programın kalibrasyon işlemi Karlsruhe Teknik Üniversitesi tarafından yapılmıştır [17].

VISSIM, kullanılan diğer simülasyon programlarına göre pek çok imkan sağlamaktadır. Örneğin; bütün simülasyon boyunca kontrol parametreleri ile trafiğin hareketleri hakkında bilgi verir ve an an izlenir ve günümüzdeki trafikteki detektörlerden elde edilen mikroskobik akım ile ilgili parametreleri bilgisayar ortamında üretebilmektedir. Şehir içi ve şehirlerarası trafiği pek çok farklı yol yapılandırılmaları ile ışıklı trafik işaretleri, duraklar gibi çeşitli durumlara göre analiz yapabileceğinden dolayı şehir içi trafik durumlarında yapılacak kontroller ve düzenlemelerin performanslarını görebilmek adına kullanılacak önemli programlardan biridir.

VISSIM'in uygulama alanlarından bazıları aşağıda sıralanmıştır.

- Aktif olan trafiğin yönetilmesi



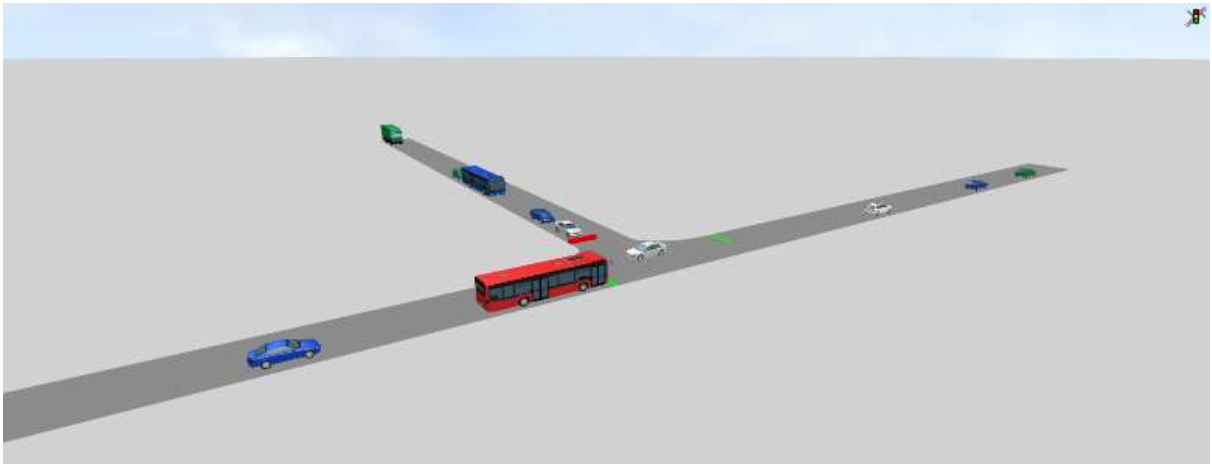
- Kapasitede yaşanan değişimlerden dolayı analiz yapılması
- Var olan ulaşımı geliştirilmesi
- Yol ayrımı olan yerlerin düzenlenmesi
- Toplu taşıma düzeni ve simülasyonudur.

VISSIM, trafiğin şerit değiştirme, seyirde yapılan değişiklikler gibi durumları ayarlayabilme imkanı verirken aynı zamanda da birden çok şerit içeren bir yolda taşıt davranışı ile birlikte hem aynı şeritte birbirini takip eden taşıtların birbirlerine olan etkilerini hem de yan şeritteki komşu taşıtların etkilerini de göz önüne alır. Simülasyon, sinyalize olarak kontrol edilen bir kavşağa gelen taşıtın dur çizgisine 100 metre mesafeden daha az bir uzaklık kaldığında taşıtın başka bir şeride geçmesine müsaade eder. Böylece, gerçek hayatta tek bir şeritte uzunca kuyrukların oluşması gibi gerçekçi olmayan bir durumun simülasyonda da gerçekleşmesi önlenir. Sürücü ve taşıt biriminin davranışı VISSIM’de ele alınan konulardan biridir. Bu davranışlar hem sürücünün kendi kişisel davranışına hem de taşıt kapasitesi denilen parametreye bağlıdır. Sürücü ve taşıt biriminin davranışsal özelliklerini tespit etmek amacıyla her bir sürücü-taşıt birimine özgü üç grup şeklinde gösterilen faktörlere nazaran değerlendirir [17].

VISTRO modülü kavşak hizmet düzeyini belirleme, sinyal süre optimizasyonu, trafik etki analizi, çoklu senaryoları yönetme ve kapsamlı raporlar oluşturma kabiliyetlerine sahip yazılımdır. Gecikmeyi minimum yapmayı amaçlayarak kavşak hizmet düzeyini yükseltebilecek şekilde sinyal sürelerinin optimizasyonu gerçekleştirebilen bu yazılım VISSIM programı ile entegreli olarak çalışabilmektedir. Ayrıca bünyesinde ulaşım ana planlarının hazırlanması, trafik koridorlarında gelecek iyileştirme ihtiyaçlarının değerlendirilmesi gibi farklı amaçlara yönelik de kullanım olanaklarını bulundurmaktadır.

#### 2.4. Modellerin Geliştirilmesi

Optimum devre süresi tahmin modellerinin geliştirilmesinde DGA ve ÇTA olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. DGA yaklaşımına dayalı olarak geliştirilen arama algoritmasında her bir trafik durumu için optimum devre süreleri elde edilmiştir. ÇTA yaklaşımında ise geliştirilen model formlarının optimizasyonu gerçekleştirilerek optimum devre süresi modelleri geliştirilmiştir. Zamana bağlı gecikme modellerinden birisi olan yolların kapasite kullanım rehberindeki (Highway Capacity Manual HCM) gecikme modeline göre Şekil 2’de gösterilen 3 kollu bir kavşağın farklı trafik durumları için en düşük gecikmeyi verecek devre süresinin araştırılması için bir arama algoritması oluşturulmuştur.



Şekil 2. Kavşak geometrisi

HCM gecikme bağıntısı Denklem 4’te yer almakta olup, bu bağıntının bileşenleri olan üniform gecikme ve eklenik gecikme bağıntıları sırasıyla Denklem 5 ve 6’da verilmiştir. Oluşturulan arama algoritmasında DGA yaklaşımı kullanılmış olup, araç başına düşen gecikmeyi minimum yapan değer amaç fonksiyonu olarak belirlenmiştir. Amaç fonksiyonunun ifadesi ise Denklem 7’te verilmiştir.

$$d = d_1 * (PF) + d_2 + d_3 \quad (4)$$

$d$ : Her bir araç için kontrol gecikmesi (saniye/araç)

- $d_1$ : Üniiform kontrol gecikmesi (saniye/araç)  
 $PF$ : İlerleme Düzeltme Faktörü  
 $d_2$ : Eklenik gecikme (saniye/araç)  
 $d_3$ : Başlangıçta oluşan kuyruklanma gecikmesi (saniye/araç)

$$d_1 = \frac{0,5 * C * (1 - \frac{g}{C})^2}{1 - [\min(1, X) * \frac{g}{C}]} \quad (5)$$

- $C$ : Devre süresi (saniye)  
 $g$ : Efektif yeşil süre (saniye)  
 $X$ : Akımın doygunluk derecesi ( $\vartheta/c$  oranı)

$$d_2 = 900 * T * [(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 * k * I * X}{c * T}}] \quad (6)$$

- $T$ : Analiz edilen süre (saniye)  
 $k$ : Artan gecikme faktörü  
 $I$ : Ölçüm düzeltme faktörü  
 $c$ : Kapasite (araç/saat)

Denklem 4’de verilen gecikme formülündeki  $d_3$  gecikme değeri başlangıçta kavşakta bulunan gecikmeyi ifade eder. Eğer başlangıçta herhangi bir kuyruklanma yoksa bu değer sıfır olarak alınır.

$$\text{Min } F(x) = \sum_{n=1}^m \frac{D_n}{q_n} \quad (7)$$

- $D_n$ : Koldaki gecikme değeri  
 $q_n$ : Koldaki trafik akımı  
 $m$ : Kavşaktaki toplam kol sayısı

3 kollu olarak oluşturulan sinyalizе kavşakta farklı trafik durumlarının elde edilmesi için trafik hacimleri 180 araç/saat ile 576 araç/saat arasında değişirken, kayıp zaman süreleri 6 sn. ile 15 sn. arasında değişmiştir. 3 fazlı olarak işletilen kavşakta farklı kayıp zaman sürelerinin elde edilmesinde sarı ışık süresi 1 sn. ile 3 sn. arasında, her yöne kırmızı ışık süresi ise 1sn. ile 2 sn. arasında değiştirilmiştir. Böylece 266 farklı trafik durumunu içeren veri seti oluşturulmuş ve her bir trafik durumunun optimum devre süreleri arama algoritması ile belirlenmiştir. Mallipeddi ve diğ. [18] yapmış olduğu çalışma sonucunda DGA’nın parametreleri olan  $NP$ ,  $CR$  ve  $F$  için optimum aralık ortaya koymuşlardır. Popülasyon boyutu için  $4D$  ile  $10D$  arasında, çaprazlama oranı için 0,9 ile 1 arasında ve mutasyon katsayısı için 0,4 ile 0,95 arasında olması gerektiğini belirtmişlerdir. Optimum çalışma aralıklarına göre belirlenen kontrol parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Diferansiyel Gelişim Algoritması Kontrol Parametreleri

Popülasyon boyutu ( $NP$ )	30
Çaprazlama oranı ( $CR$ )	0.90
Mutasyon katsayısı ( $F$ )	0.95
Toplam iterasyon sayısı	2000

266 farklı trafik durum verisi kullanılarak Denklem 8’de verilen Webster optimum devre süresi bağıntısının kalibre edilmiş formu, Webster optimum devre süresi bağıntısına sabit eklenmiş formu ve üstel form olmak üzere 3 farklı model geliştirilmiştir. Model formları Denklem 9-11’de verilmektedir.

$$C = \frac{1.5L+5}{1-Y} \quad (8)$$

$$C = \frac{(aL+b)}{(1-cY)} \quad (9)$$

$$C = \frac{(aL+b)}{(1-cY)} + d \quad (10)$$

$$C = aLe^{bY^c} + d \quad (11)$$

ÇTA yaklaşımıyla önerilen model formları optimize edilmiş ve model katsayıları belirlenmiştir. Yang 0,05 ile 0,95 arasında olasılık anahtarının ve 10 ile 50 arasında popülasyon boyutunun kullanılabilir olduğunu göstermiş ve farklı değerlerinin performansını incelemiştir.  $N$  için 25 ve  $P$  için 0,8 değerlerinin en uygun çalışma durumları olduğunu ifade etmiştir [19]. Kullanılan bu yaklaşımın kontrol parametre değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Çiçek Tozlaşma Algoritması Kontrol Parametreleri

Popülasyon sayısı ( $N$ )	25
Olasılık anahtarı ( $P$ )	0.8
Toplam iterasyon sayısı	2000

Model katsayılarının belirlenmesinde amaç fonksiyonu ortalama mutlak yüzdesel hataların (OMYH) minimize edilmesi olarak belirlenmiştir. Buna göre, DGA yaklaşımıyla her bir trafik durumu için minimum gecikmeyi veren devre süresi, referans alınan devre süresi olup ÇTA yaklaşımı kullanılarak tahmin edilen optimum devre süreleri arasındaki yüzdesel fark amaç fonksiyonunun değerini vermektedir. Amaç fonksiyonunun ifadesi Denklem 12’de verilmiştir.

$$F(x) = \sum |(Copt_{DGA} - Copt_{ÇTA})/Copt_{DGA}| * 100 \quad (12)$$

Geliştirilen model formlarının ÇTA yaklaşımı ile optimize edilmesi sonucu belirlenen her modele ait katsayı değerleri Tablo 3’de verilmektedir.

**Tablo 3.** Model Katsayıları

Katsayılar	Model 1	Model 2	Model 3
$a$	1,59	1,60	0,51
$b$	9,53	9,98	2,96
$c$	0,81	0,81	1,11
$d$		-0,78	23,17

### 3. Bulgular ve Tartışma

ÇTA yaklaşımına dayalı olarak geliştirilen optimum devre süresi tahmin modelleri ile Webster optimum devre süresi modeli arama algoritmasından elde edilen optimum devre süreleri ile karşılaştırılmış ve değerlendirmelerde ortalama karesel hataların karekökü (OKHK), ortalama mutlak hatalar (OMH) ve belirleme katsayısı ( $R^2$ ) performans kriterleri olarak kullanılmıştır. Kullanılan performans kriterlerinin ifadeleri Denklem 13-15’de verilmiştir.

$$OKHK = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{n=1}^m (C_{DGA} - C_{ÇTA})^2} \quad (13)$$

$$OMYH = \frac{1}{m} \sum_{n=1}^m |(C_{DGA} - C_{ÇTA})/C_{DGA}| * 100 \quad (14)$$

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_1^m (C_{DGA} - C_{ÇTA tahmin})^2}{\sum_1^m (C_{DGA} - C_{ortalama})^2} \right] \quad (15)$$

Webster, VISTRO ve geliştirilen modellere ait OKHK, OMH ve belirleme  $R^2$  değerlerinin optimum devre süresine ve gecikmeye bağlı istatistiksel sonuçları aşağıda Tablo 4 ve 5’de verilmektedir.

**Tablo 4.** Optimum Devre Süresine Bağlı İstatistikî Sonuçlar

	Webster	VISTRO	Model 1	Model 2	Model 3
OKHK	73,37	62,49	4,48	4,47	4,19
OYMH	33,48	26,28	7,04	7,03	6,14
R <sup>2</sup>	0,74	0,88	0,96	0,96	0,97

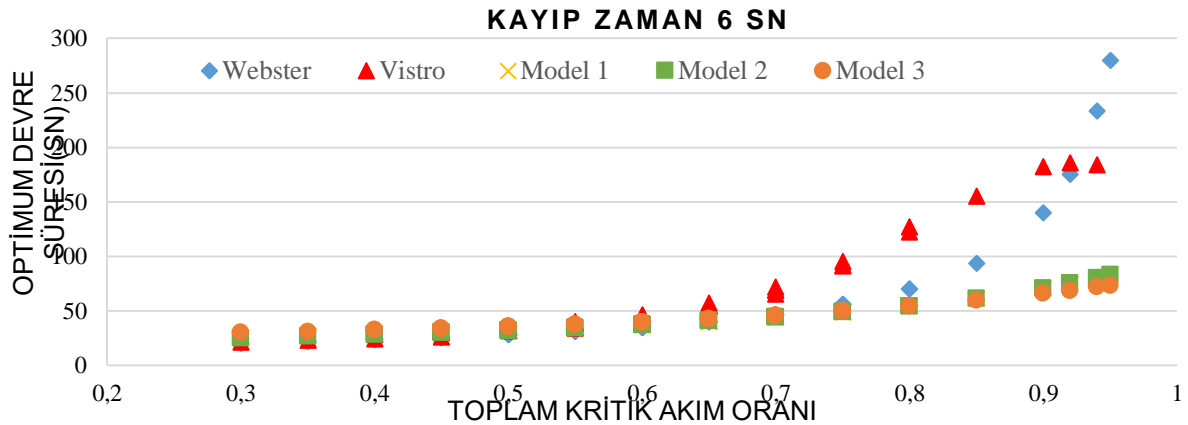
**Tablo 5.** Gecikmeye Bağlı İstatistikî Sonuçlar

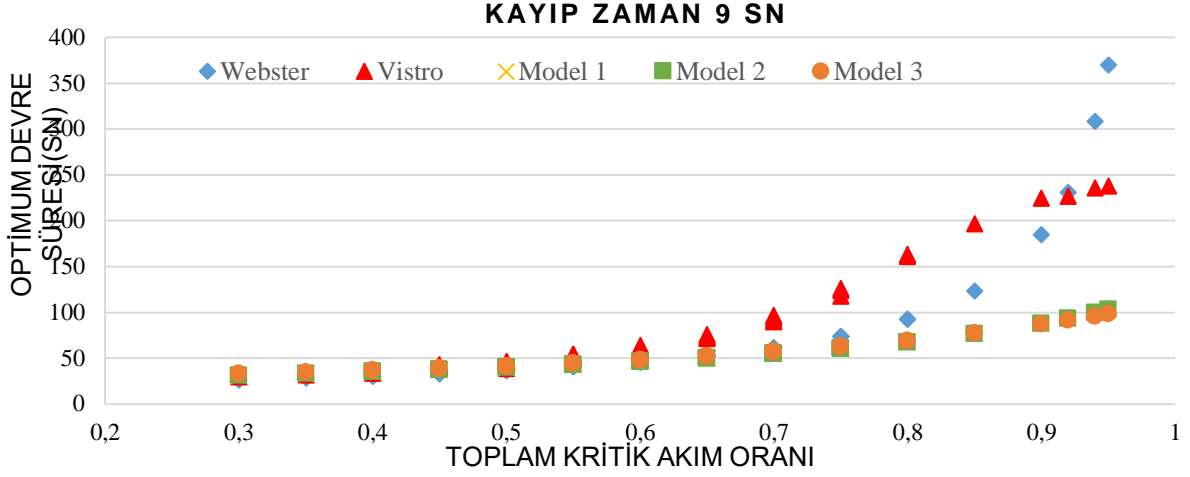
	Webster	VISTRO	Model 1	Model 2	Model 3
OKHK	23,99	20,73	4,40	4,68	4,87
OYMH	20,71	18,22	6,19	7,31	6,48

Optimum devre süresine bağlı istatistikî sonuçlara bakıldığında zaman ÇTA kullanarak geliştirilen modellerden Model-3 'ün en düşük OKHK ve OYMH ile en yüksek R<sup>2</sup> değeri, en iyi performansa sahip olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda Model 3'e göre daha düşük performansa sahip olan diğer 2 modelde Webster optimum devre süresi modeli ve VISTRO optimizasyonuna göre daha iyi performansa sahip olmuştur.

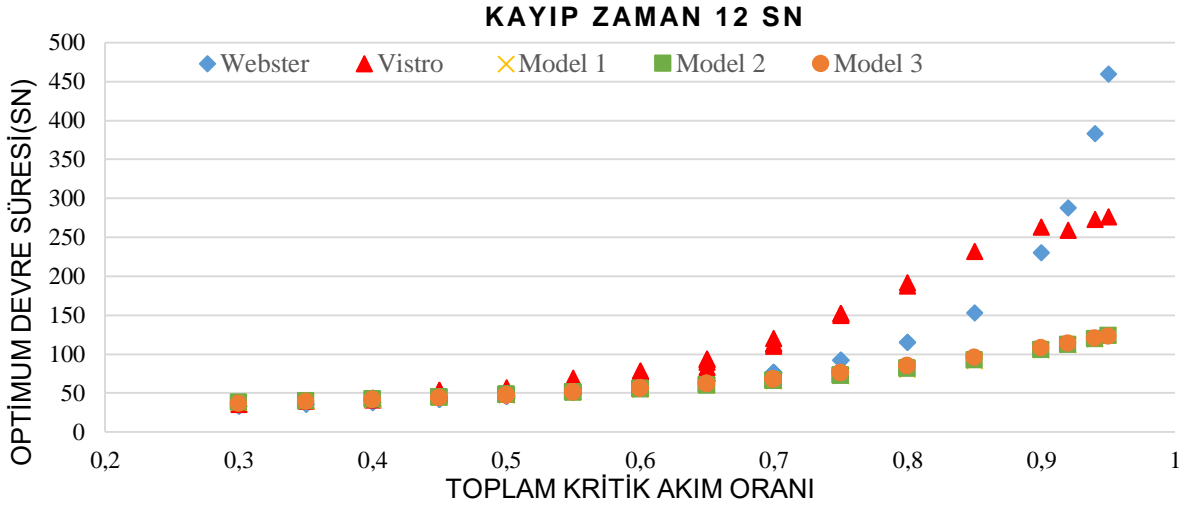
Gecikmeye bağlı istatistikî sonuçlar incelendiğinde geliştirilen modellerin önermiş olduğu devre sürelerine bağlı olarak elde edilen gecikme değerlerinin Webster modeli ve VISTRO optimizasyon devre sürelerinden daha düşük olduğu ve istatistikî sonuçları OKHK ve OYMH değerlerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Önerilen 3 modelinde gecikme performanslarına bağlı olarak OKHK değerleri 4.40 ile 4.87 arasında değişirken modellere göre Webster modelinin OKHK değeri yaklaşık 5.5 kat ve VISTRO optimizasyon OKHK değeri yaklaşık 4 kat daha fazla çıkmıştır. Benzer durum OYMH istatistiklerinde de görülmektedir. Bütün bu analizler her 3 modelinde performanslarının Webster modelinden ve VISTRO optimizasyonundan daha iyi olduğunu ve izole sinyalizasyon kavşaklarda optimum devre süresi tahmininde kullanılabileceğini göstermektedir. VISTRO optimizasyon programı ise Webster modelinden daha iyi sonuçlar elde etmiş ve daha düşük gecikme ile devre sürelerini bulabilmiştir.

6, 9, 12 ve 15 sn. kayıp zamanlara ait geliştirilen modellerle Webster modeli ve VISTRO optimizasyon karşılaştırılmasında toplam kritik akım oranına karşılık gelen optimum devre sürelerinin grafiksel gösterimleri ise Şekil 3-6'da verilmektedir. Ayrıca VISSIM simülasyon programı üzerinden elde edilen gecikme değerlerinin grafiksel gösterimi Şekil 7- 10'da verilmektedir.

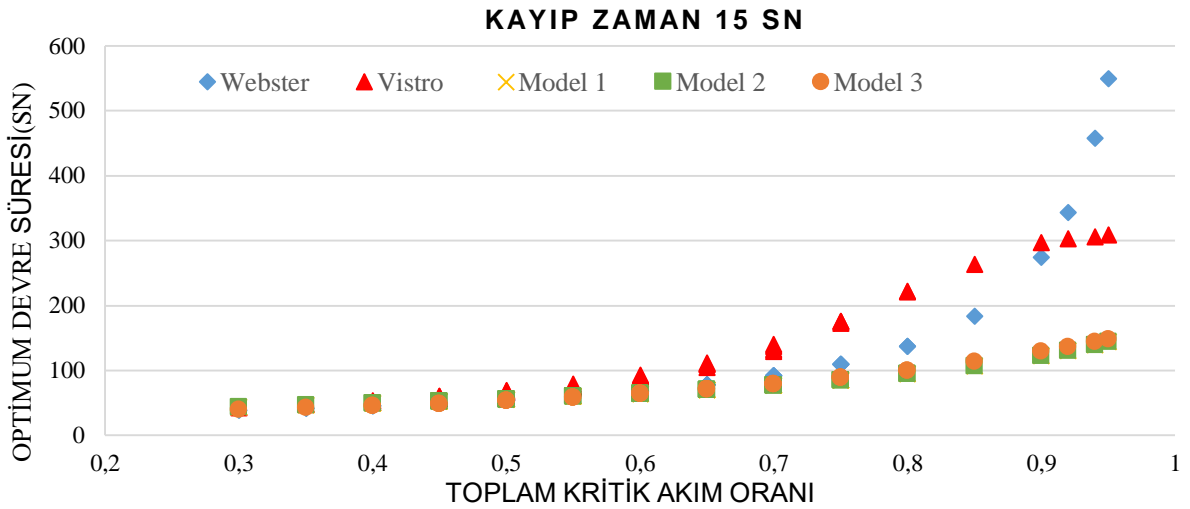
**Şekil 3.** Kayıp zaman 6 sn için optimum devre süresi değişimi



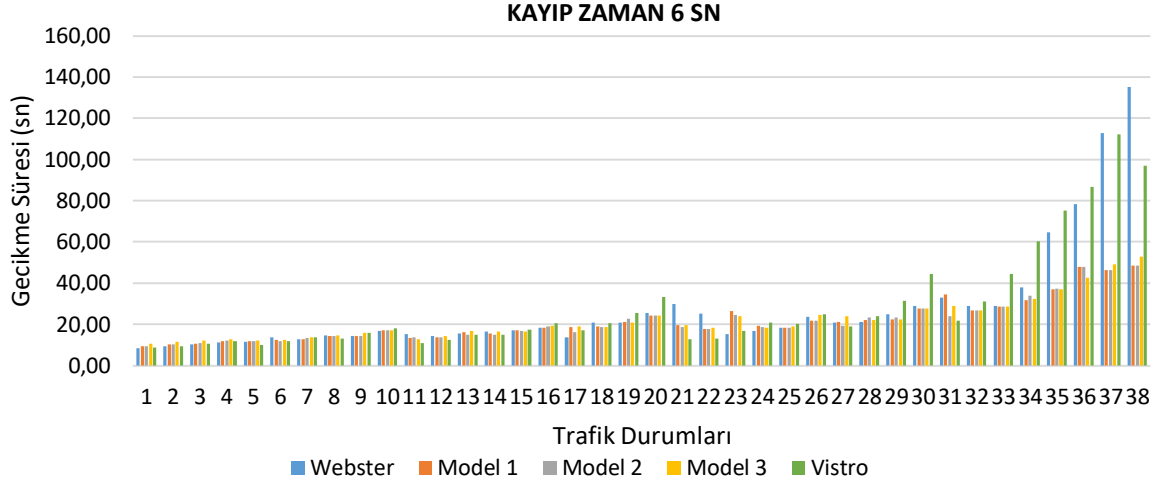
Şekil 4. Kayıp zaman 9 sn için optimum devre süresi değişimi



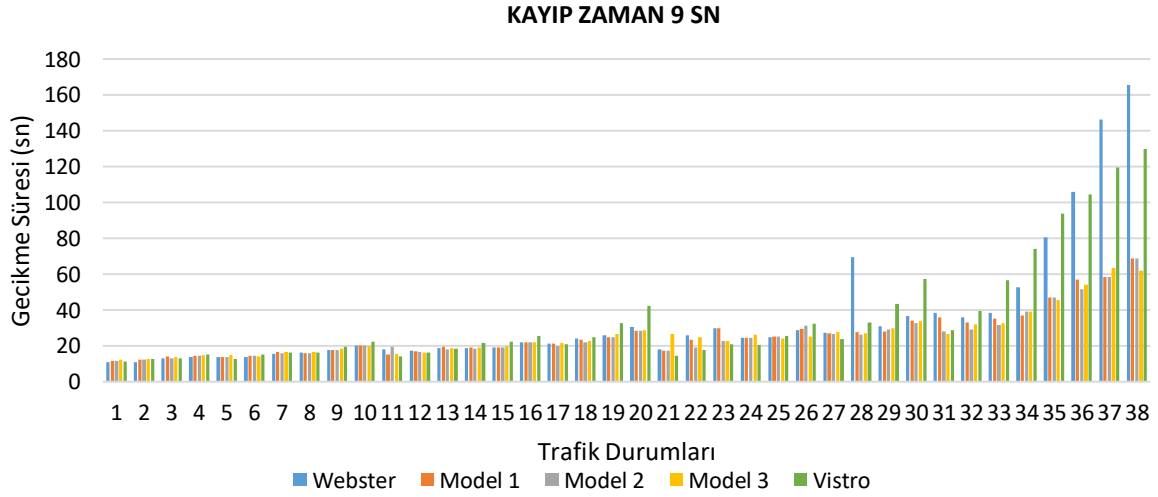
Şekil 5. Kayıp zaman 12 sn için optimum devre süresi değişimi



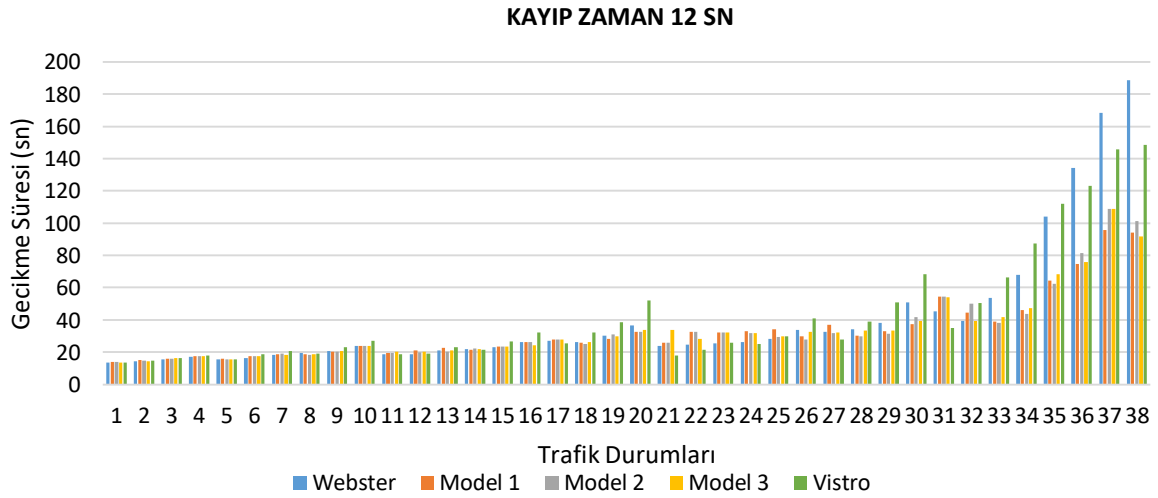
Şekil 6. Kayıp zaman 15 sn için optimum devre süresi değişimi



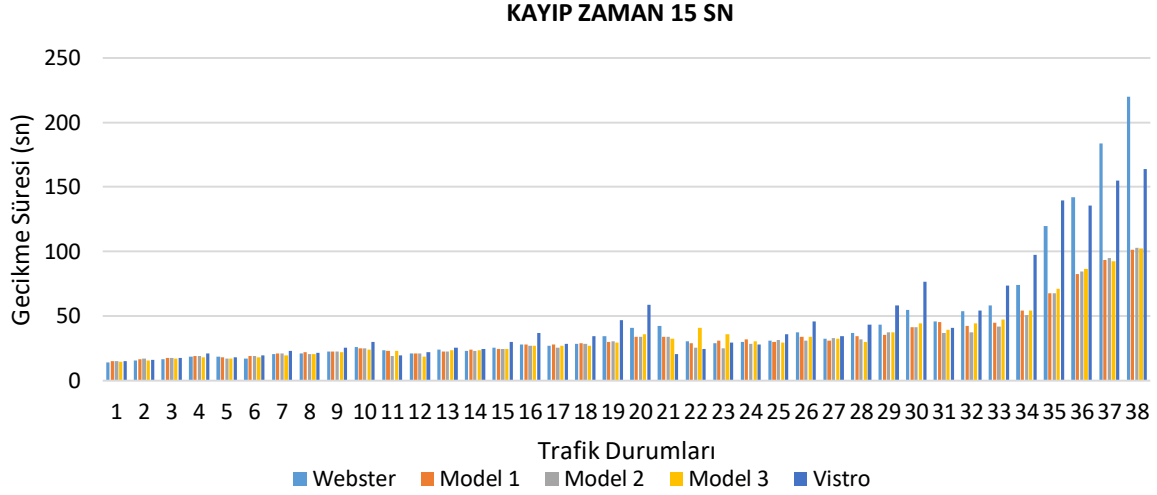
Şekil 7. Kayıp zaman 6 sn için gecikme değerleri



Şekil 8. Kayıp zaman 9 sn için gecikme değerleri



Şekil 9. Kayıp zaman 12 sn için gecikme değerleri



**Şekil 10.** Kayıp zaman 15 sn için gecikme değerleri

Şekil 3-6 incelendiğinde; kayıp zamanların her bir değeri için toplam kritik akım oranı 0,65 seviyesine kadar Webster modeli ve VISTRO optimizasyonu ile geliştirilen her üç modelin birbirine yakın devre süresi değerleri verdiği görülmektedir. Ancak kritik akım oranı 0,65 ve daha yüksek değerlerde olduğunda Webster modelinin ve VISTRO'nun performansı düşüş göstermekte ve kritik akım oranı 1'e yaklaştıkça bu modeller çok yüksek devre süreleri önermektedir. Geliştirilen modellerse tüm kritik akım oranlarında genel olarak birbirine yakın optimum devre süresi değerleri önermekte olup, Webster modeline ve VISTRO'ya göre daha düşük optimum devre süreleri tahmin etmişlerdir.

Kayıp zamanın artışıyla beraber kritik akım oranının 0.65 ve üzeri değerlerinde Webster modeli, VISTRO optimizasyonu ve geliştirilen modellerin verdiği devre süreleri değerlerinde de artış gözlemlenmektedir. Ancak geliştirilen modellerdeki artış Webster'e göre daha az olup bu durum kavşak kollarına gelen trafik hacmindeki artışlarla da ilişkilidir. VISTRO optimizasyonunda kritik akım oranı arttıkça devre süresinde de artış görülmekte olup bu artış lineere yakın şekilde oluşmaktadır. Fakat Webster modelinde akım oranı 0,75'den sonra devre süresi üstel şekilde artmakta ve daha yüksek devre süreleri tahmin etmektedir.

Şekil 7-10 incelendiğinde; özellikle akım oranının 0,75 ve üzeri değerlerinde Webster modeli ile VISTRO optimizasyonunun Model-1, Model-2 ve Model-3'e göre daha yüksek gecikme değerleri verdiği görülmektedir. Bunun nedeninin VISTRO optimizasyon modülünün izole kavşaklardan ziyade yol ağındaki çoklu kavşak optimizasyonunda devre sürelerinin belirlenmesinde daha etkin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. VISTRO modülünün ise Webster modelinden daha düşük gecikmelerle ile optimum devre süresini tahmin edebilme kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle trafik yoğunluğunun fazla olduğu kavşaklarda geliştirilen modellerin kullanılmasının gecikmeyi düşürmede ve de kavşak performansını arttırmakta daha efektif olacağı istatistiki sonuçlarla ortaya konulmuştur.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma ile farklı yaklaşımların ve model formlarının minimum gecikmeyi veren optimum devre süresi hesabında etkin şekilde kullanılabilir olduğu ve ÇTA yaklaşımı ile daha düşük gecikme değerlerinde kavşak kontrolüne olanak sağlayan devre sürelerinin tahmin edilebilmesinin mümkün olduğu ortaya konulmuştur. Geliştirilen modellerle uygunluk derecesi 1'e yaklaşan trafik durumları için gecikme değerlerinde Webster göre yaklaşık %50 ve ve VISTRO'ya göre belirgin bir oranda düşüş sağlanabildiği gözlemlenmiştir. Gecikme değerinin düşmesiyle beraber kavşaklarda kapasitenin düşmesi, gereksiz bekleme dolayısıyla da yakıt tüketiminin artması engellenmiş olunacak ve buna bağlı olarak emisyon değerleri düşecektir. Ayrıca sürücülerin trafikteki agresif davranışlarından kaçınmasına da yardımcı olabilecektir. Çalışmanın temel ilkesi minimum gecikme ile kavşağın yönetilmesini amaç edindiği için yerel yönetimin veya trafik kurumlarının trafik planlamalarında bu çalışmadan çıkacak sonuçlardan planlama, karar alma vb. süreçlerde yararlanabilecekleri düşünülmektedir. Ayrıca optimizasyon yöntemleri her geçen gün gelişmeye devam etmekte ve literatüre yeni yaklaşımlar ile yeni

algoritmalar katılmaktadır. Farklı algoritmalarında performanslarının incelenmesi ve daha iyi sonuçların elde edilebilmesi için farklı yaklaşımlarında uygulanabilirliği çalışmanın daha ileriye gitmesi açısından önem arz etmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Kırıkkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Birimi tarafından (2018/031) nolu BAP projesi ile desteklenmiştir.

### **Yazarların Katkısı**

Çalışmada Ali Payıdar AKGÜNGÖR fikir, kavram, tasarım, eleştirel inceleme konusunda; Sevim YAVUZ veri toplama, analiz ve yorum konusunda; Ersin KORKMAZ ve Erdem DOĞAN analizlerin incelenmesi, 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] Webster F.V. 1958. Traffic signal settings, road research technical paper. No: 39, Road Research Laboratory.
- [2] Thomas G.B., Upchurch J.E. 1998. Effect of non-optimal cycle lengths and traffic volumes on progression. Institute of Transportation Engineers. ITE Journal, 68 (5): 38.
- [3] Lan C.J. 2004. New optimal cycle length formulation for pretimed signals at isolated intersections. Journal of Transportation Engineering, 130 (5): 637-647.
- [4] Cheng D., Tian Z.Z., Messer C. J. 2005. Development of an improved cycle length model over the highway capacity manual 2000 quick estimation method. Journal of Transportation Engineering, 131 (12): 890-897.
- [5] Day C., Bullock D., Sturdevant J. 2009. Cycle-length performance measures: revisiting and extending fundamentals. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, (2128): 48-57.
- [6] Singh L., Tripathi S., Arora H. 2009. Time optimization for traffic signal control using genetic algorithm. International Journal of Recent Trends in Engineering, 2 (2): 4-6.
- [7] Al-Kubaisi M.I. 2012. Optimum Cycle Time Prediction for Signalized Intersections at Baghdad City. Cankaya University Journal of Science and Engineering, 9 (2): 149-166.
- [8] Sun S.N., Xiao W., Qiu X., Chen J.D., Ying L.X. 2012. Design and Simulation of Urban Road Intersection Signal Linear Control System. In: Applied Mechanics and Materials, 178: 2713-2716.
- [9] Dai L.L., Sun Z.L., Liu D.B., Li Y. 2013. An Improved Method of Traffic Control Period Division for Intersection Based on Signal Cycle Calculation. In Applied Mechanics and Materials 253: 1731-1735.
- [10] Dell'Orco M., Baskan O., Marinelli M. 2013. A Harmony Search Algorithm approach for optimizing traffic signal timings. PROMET-Traffic & Transportation, 25 (4): 349-358.
- [11] Wu Y., Lu J., Chen H., Yang H. 2015. Development of an optimization traffic signal cycle length model for signalized intersections in China. Mathematical Problems in Engineering, 954295: 1-9.
- [12] Çakıcı Z., Murat Y.Ş. 2015. Sezgisel Optimizasyon Algoritmalarının Taşıt Gecikmesi Problemi Üzerine Uygulaması.7. Kentsel Altyapı Sempozyumu, Trabzon, 615-625.



- [13] Zakariya A.Y., Rabia S.I. 2016. Estimating the minimum delay optimal cycle length based on a time-dependent delay formula. *Alexandria Engineering Journal*, 55 (3): 2509-2514.
- [14] Jovanović A., Nikolić M., Teodorović D. 2017. Area-wide urban traffic control: A Bee Colony Optimization approach. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 77: 329-350.
- [15] Storn R., Price K. 1997. Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 11 (4): 341-359.
- [16] Yang X.-S. 2014. *Nature-inspired optimization algorithms*. Elsevier.
- [17] <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/use-cases/> (Erişim Tarihi: 15.04.2019).
- [18] Mallipeddi R., Suganthan P.N., Pan Q.-K., Tasgetiren M.F. 2011. Differential evolution algorithm with ensemble of parameters and mutation strategies. *Appl. Soft Comput.*, 11 (2): 1679-1696.
- [19] Yang X.-S. 2012. Flower pollination algorithm for global optimization. In: *International conference on unconventional computing and natural computation*, 240-249.

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Kentsel Katı Atıklar ve Geri Kazanımlarının Faydaları; Eskişehir Örneği**

Hülya DURMAZ BEKMEZCİ\*, Halil ÇETİN

*Bitlis Eren Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Bitlis  
(ORCID:0000-000-5164-7750) (ORCID: 0000-0003-4604-6621)*

---

### **Öz**

Bu çalışmada Eskişehir Büyükşehir Belediyesi ve bağlı belediyelerdeki evsel katı atıkların miktarları, yönetimi ve geri dönüşüm uygulamalarına ait, Türkiye İstatistik Kurumu ve Belediyelerden elde edilen, veriler değerlendirilmiştir. Eskişehir’de 15 belediye nüfusun %99,2’sine atık toplama hizmeti verilmektedir. Günlük atık miktarı yaklaşık 800 ton olup, yıllık belediyeye getirisinin 2,5 milyon TL olduğu bildirilmiştir. Eskişehir’de 19 adet geri dönüşüm tesisi, 14 adet toplama ayırma tesisi ve 12 adet toplama ayırma ve geri dönüşüm tesisi bulunmaktadır. 2018 yılında işletmeye alınan tesisin, evsel atıklardan fermantasyon teknolojisi ile elektrik enerjisi üretmek üzere her biri 1.4 MW elektrik enerjisi üreten 8 dizel motorun metan gazını yakarak sağladığı enerji ile 55.000 konuta elektrik sağlanması planlanmaktadır. 10 yıllık işletim süresinin sonunda tüm yatırım belediyeye aktarılacaktır. Bu tesis ile belediyenin atıkların yönetimi harcayacağı maliyet ortadan kalkarken, alınacak kira ile ciddi ekonomik kaynak oluşturulacaktır. Atıkların kaynağında ayrı toplanması atık yönetiminde ve geri dönüşüm sektöründe verimi etkilemektedir. Toplum olarak bu konuda farkındalığımız düşüktür. Belediye yetkilileri en büyük sorunun atıkların ayrı toplanmaması olduğunu bildirmişlerdir. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi bu konuda farkındalığı artırmak üzere çok sayıda eğitim ve bilgilendirme kampanyaları yürütmektedir. Bu çalışmaların başarıya ulaşabilmesi ve kalıcı davranış oluşturabilmesi için çok yönlü ve sürekli devam ettirilmesi gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Evsel katı atık, geri dönüşüm, çevresel faydalar, enerji ve ekonomik potansiyel.

---

## **Benefits of Urban Solid Wastes and Recycling; The Case of Eskisehir**

---

### **Abstract**

In this study, data on the amount, management and recycling practices of domestic solid wastes in Eskisehir Metropolitan Municipality and its affiliated municipalities were evaluated. Related data obtained from Turkey Statistical Agency and Municipalities. Waste collection service is provided to 99.2% of the population in 15 municipalities in Eskisehir. The daily waste amount is approximately 800 tons and its annual return to the municipality is reported to be 2.5 million TL. 19 recycling plants, 14 collection separation plants and 12 collection separation and recycling facilities are located in Eskisehir. To generate electrical energy from domestic waste using fermentation technology, the plant, which was commissioned in 2018, is planned to provide electricity to 55,000 residences by burning methane gas from 8 diesel engines, each of which generates 1.4 MW of electricity. At the end of the 10-year operating period, the entire investment will be transferred to the municipality. With this facility, while the cost of municipal waste management will be eliminated, serious economic resources will be created by rent. Separate collection of waste at source affects productivity in waste management and recycling. Social awareness on this issue is very low. Municipal authorities reported that the biggest problem was not collecting waste separately. Eskisehir Metropolitan Municipality conducts numerous training and information campaigns in order to raise awareness on this issue. In order for these studies to succeed and create lasting behavior, it is necessary to carry out a multifaceted and continuous manner.

**Keywords:** Domestic solid waste, recycling, environmental benefits, energy and economic potentials.

---

### **1. Giriş**

Artan nüfus ve sanayi alanındaki gelişmeler beraberinde atık sorununu getirmektedir. Atık oluşumu önlenemiyorsa, mümkün olduğunca fazla malzeme kazanılmalıdır. Katı atıklarımızın bu denli artışı

---

\*Sorumlu yazar: [hulyadurmaz80@gmail.com](mailto:hulyadurmaz80@gmail.com)

Geliş Tarihi: 16.12.2019, Kabul Tarihi: 24.06.2020

bu türlerin sistemli bir şekilde geri dönüşümlerini zorunlu hale getirmektedir. Atık miktarının belirlenmesi, atıkların mümkün olan maksimum miktarda geri kazanımı, atıkların çevre ve topluma olan zararını minimize etmek geri dönüşümün hedefleridir. Geri dönüştürülemeyen ya da yeniden kullanılmayan atıklar katı atık depolama alanlarında depolanmalı ya da güvenli bir şekilde yakılmalıdır. Her iki yöntem de çevre sağlığı açısından risklidir ve sistematik izleme programları ile yakından izlenmelidir [1]. Eysel katı atıklar insan ve çevre sağlığı açısından biyolojik, fiziksel ve kimyasal tehlike oluştururlar. Katı atıklar tekniğine uygun bir şekilde bertaraf edilmezler ise; çöp depolama alanlarında oluşan sızıntı suları toprağın, yüzey ve yeraltı sularının kirlenmesine, depo gazı ise içindeki yüksek metan oranı sebebiyle hava kirliliğine yol açarak kimyasal ve biyolojik sorunlara neden olabilmektedir [2].

Katı atıklar, çevre ve insan sağlığına olumsuz etkileri ile birlikte bir yönetim sorunu olarak karşımıza çıkmaktadır. Atıkların toplanması, taşınması ve uzaklaştırılması hizmetlerinin yaşanan hızlı kentleşme ve endüstrileşme ile birlikte geliştirilmesi; sorumlu aktör, kurum ve kuruluşların bilinçlendirilerek güçlendirilmesi; yeni yönetsel yaklaşım ve modellerin uygulanması bu kapsamda gereklidir. Atık sorunu sadece çevresel ve toplumsal bir sorun değil, aynı zamanda yönetim çevreleri, politika uygulayıcıları ve yürütücüleri açısından da önemli bir konudur [2].

İlk olarak 1972 Stockholm Birleşmiş Milletler Çevre Konferansı “Çevreyi Dışlayan Kalkınma” konulu toplantıda çevrenin tüm dünya ülkeleri tarafından korunması gerektiği ve ülkelerin kalkınması için çevrenin mutlaka korunması gerektiği vurgulanmıştır. Bu toplantıda ele alınan evsel katı atık sorununa yönelik uluslararası iş birliği adımları atılmış ve ülkeler bu kapsamda ortak yasal düzenlemeler oluşturmaya başlamışlardır [3]. Atıkların oluşumundan bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanması ve atık oluşumunun azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılmasını hedefleyen ve bu konuda topluma rehberlik eden 29314 sayılı Atık Yönetimi Yönetmeliği (AYY) 2015 yılında yayınlanmıştır. Yakın tarihli yayınlanan bu yönetmeliklerde özellikle atıkların düzenli depolanması ve geri dönüşüm tesislerinin sahip olması gereken zorunlu sistemlerinden bahsetmektedir. Anayasamız 5393 sayılı Belediye Kanunu ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi kanununa göre atıkların toplanması, taşınması ve bertarafı konularında yerel yönetimleri sorumlu kılmıştır [4, 5]. Yerel yönetimler atık yönetim planlarının oluşturulması ve uygulanmasının sağlanmasından birinci derecede sorumludur. Dünyada ve ülkemizde belediyeler özelinde oluşan yıllık atık miktarları, kompozisyonları, bertaraf yöntemleri, yönetim planları ve planların etkinliği, daha özeldir bertaraf yöntemi olarak geri dönüşüm uygulamalarının sağladığı çevresel, toplumsal ve ekonomik faydalar araştırmacılar açısından merak edilen ve takip edilen konular arasındadır [6, 7].

Kolukisa yüksek lisans tez çalışmasında katı atık yönetimi uygulamaları ve sonuçlarını yerel yönetimler seviyesinde Malatya Belediyesi örneği üzerinden incelemiştir. Çalışmada; ülke genelinde atık yönetimi konusunda hızlı gelişmeler olduğu, atıkların geri kazanım ve geri dönüşüm faaliyetlerinin karlı bir iş koluna dönüşerek yerli ve yabancı sermayeyi bu alana çektiği ifade edilmiştir. Kolukisa’ya göre özel sektörün konuya ilişkin ilgisinin artması ile belediyeler üzerindeki yük azalmış ve belediyeler hizmetlerin koordinatörü pozisyonunda yer almışlardır. Belediyelerin katı atık yönetimi konusunda başarılı olabilmeleri için teşkilat yapılarında özel birimlerinin ve çalışanlarının olması gerektiği, oysa Malatya ili örneğinde belediye organizasyon yapısında böyle bir yapılanma olmadığı ve bu nedenle yeterli ver toplanamadığı bildirilmiştir. Belediye bünyesinde atık yönetimi konusunda 2020 yıllana kadar sonuçlanacak çok sayıda proje planlandığı ve yürütüldüğü bildirilmiştir. Çalışmada kaynağında atık azaltma ve ayrı toplamanın çok önemli olduğu halkın bu konuda bilinçlendirilmesine yönelik eğitim çalışmaları planlanması gerekliliği vurgulanmıştır [8].

Bitlis ve çevre ilçelerde katı atıkların toplanması, taşınması, bertarafı ve geri dönüşüme kazandırılmasını sağlamak üzere “Bitlis Katı Atık Birliği (BİKA)” 2011 yılında kurulmuştur. Demir Yetiş ve ark., Bitlis ili atık yönetimini detaylı olarak değerlendirmişlerdir. Atıkların ayrıştırılması geri kazanım tesisi ile birlikte biyomineralizasyon ile organik atıkların fermantasyonu yoluyla 1,4 MW elektrik enerjisinin üretilebileceği planlanmıştır [6].

Gündüzalp ve Güven, atık çeşitleri, atık yönetimi, geri dönüşüm ve tüketici konularını ele alarak Çankaya Belediyesi özelinde geri dönüşüm konusunu ele almışlardır. Araştırma sonunda; katı atıkların her geçen gün arttığı, çevre, ekonomi ve sağlık açısından ciddi sorunların ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Dönüşümün temel bir ihtiyaç gibi düşünülmesi gerektiği, bu konuda şirket, kamu kurum ve

kuruluşlarının üzerine düşen sorumlulukları yerine getirmeleri ve tüketicilerin bilinçlendirilmeleri gerektiği sonucunu elde etmişlerdir [2].

Ayodele ve ark., Nijerya'daki altı coğrafi bölgenin her birinde geri dönüştürülebilir belediye katı atık potansiyeli, enerji tasarrufu potansiyellerini, ekonomik ve çevresel faydalarını incelemişler. Kentsel katı atık profili içerisinde geri dönüştürülebilir maddelerin miktarını 2017-2036 arası nüfus modeli, atık üretim modeli ve yerel literatürden toplanan geri dönüşüm toplama oranı, raporlar ve ilgili kurumlardan gelen yayınlar temelinde değerlendirmişlerdir. Çevresel avantajlar sera gazı emisyonları üzerinden değerlendirilirken ekonomik potansiyel maliyet düzeltme faktörü yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Sonuçlara göre, Güney-Doğu, Güney-Güney ve Nijerya'nın tüm kuzey bölgelerindeki en önemli geri dönüşümlü atığın plastik olduğu, bununla birlikte, Güney-Batı'daki şehirlerin atık akışında en uygun geri dönüştürülebilir malzemenin ise kâğıt olduğu tespit edilmiştir. Geri dönüştürülebilir atık malzemelerin geri dönüştürülmesiyle yılda toplam 1046,43 GWh enerji tasarrufu sağlayabileceği ortaya konulmuştur. 29.697.360 MWh ortalama elektrik üretimi ile sağlanacak tasarruf ve Nijerya'da kişi başına elektrik tüketiminin 107 kWh olduğu kabulü ile yaklaşık 9,8 milyon insan için elektrik sağlanabileceği, çevresel değerlendirme sonucunda ise, yılda toplam 307.364 ton karbondioksit salımında azalma sağlanabileceği gösterilmiştir [7].

Bu çalışmada, çevre ve şehircilik çalışmalarının örnek alındığı büyük şehirlerimizden biri olan Eskişehir yerel yönetimler özelinde geri dönüşüm ve faydalarının değerlendirilmesi amacıyla seçilmiştir. Eskişehir evsel katı atık miktarları ve ekonomik düzeyi ile Türkiye ortalamasında yer aldığı için bulgular ülkesel boyuta genellenebilecektir. Eskişehir'de katı atıkların geri toplanması, taşınması, düzenli bertarafı ve geri dönüşümü konusunda çevreci projeler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu projeler ile ciddi miktarlarda ekonomik kazançlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında Eskişehir Büyükşehir Belediyesi ve buna bağlı ilçe belediyelerinin (Odunpazarı, Tepebaşı, Seyitgazi) evsel katı atıkların geri dönüşümü konusunda yaptıkları mevcut projeler incelenmiş ve atıkların etkili yönetimlerinin çevresel, toplumsal ve ekonomik getirileri değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma alanı

Eskişehir 2018 yılı itibarıyla 871.187 kişilik nüfusa sahip ve Türkiye'nin 25'inci kalabalık şehridir. Nüfusun %87 si iki büyük ilçe olan Odunpazarı (404.267 kişi, %46) ve Tepebaşı (359.303 kişi, %41) Belediyelerinde yaşamaktadır [9]. 1993 yılında çıkarılan kanun ile büyükşehir statüsüne kavuşmuştur. Eskişehir konum ve ulaşımı sayesinde sanayi alanında oldukça gelişmiştir. Kara yolu, hava yolu, demir yolu ulaşımı imkanlarına sahiptir. Özellikle şehirleri birbirine bağlayan demir yolu hatlarının birçoğu Eskişehir'den geçmektedir. Eskişehir- İstanbul, Eskişehir-Ankara, Eskişehir-Konya hızlı tren seferleri ile Eskişehir iline ulaşmak oldukça hızlı ve kolay hale gelmiştir.

Eskişehir gerek coğrafi konumu gerekse arazi ve ulaşımının iyi olmasından ötürü sanayisi oldukça gelişmiştir. Uçak motor fabrikası (TUSAŞ), dizel lokomotif motor üreten ülkenin tek fabrikası (TÜLOMSAŞ) ile buzdolabı (ARÇELİK) ve kompresör fabrikaları bu ilimizde yer almaktadır. Sanayi, hizmet ve tarım sektörlerinden kaynaklanan katı atık sorunu Eskişehir ilinde de Katı Atık Düzenli Depolama Tesisini zorunlu hale getirmiştir. Eskişehir Entegre Katı Atık Tesisi 2018 yılı itibarıyla özel bir firma tarafından işletmeye alınmıştır.

### 2.2. Verilerin toplaması ve değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında, Türkiye İstatistik Kurumuna ait kayıtlar, Büyükşehir Belediyesi ve bağlı belediyelerin envanterleri, akademik literatür incelenmiştir. Büyükşehir belediyesinin yürüttüğü farkındalık çalışmaları ve projeler iyi örnek uygulamaları olarak görselleri ile paylaşılmıştır. Elde edilen sayısal veriler tablolar ve grafikler şeklinde görselleştirilerek paylaşılmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

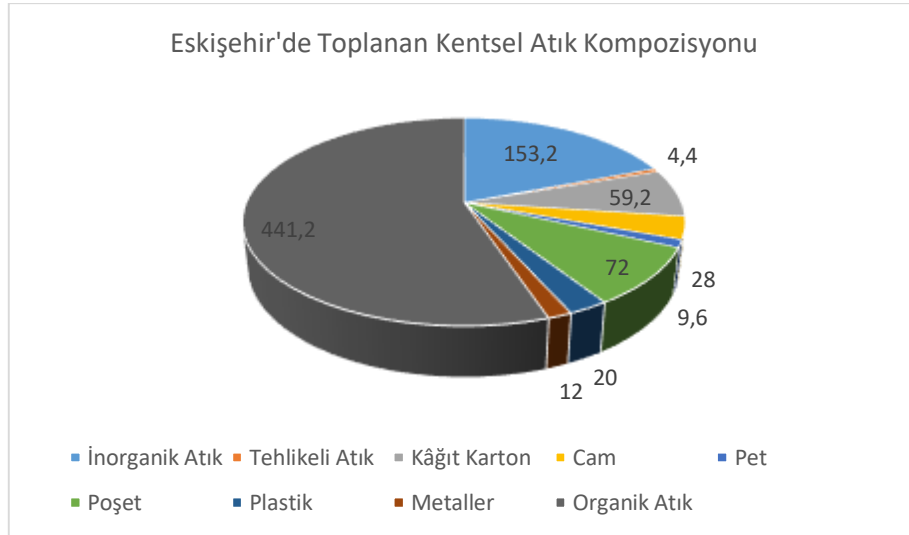
Eskişehir ilinde sanayi, tarım, hizmet sektörlerinin bir arada olması beraberinde kentsel katı atıklarla ilgili çeşitliliği getirmektedir. 05.07.2008 tarihli ve 26927 sayılı Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin

Yönetmelik kapsamında Eskişehir belediyeleri tarafından toplanan ve entegre atık işleme tesislerine kabul edilen atıklar Tablo 1’de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Eskişehir Büyükşehir Belediyesi tarafından toplanan ve entegre işletme tesislerine kabul edilen atıklar

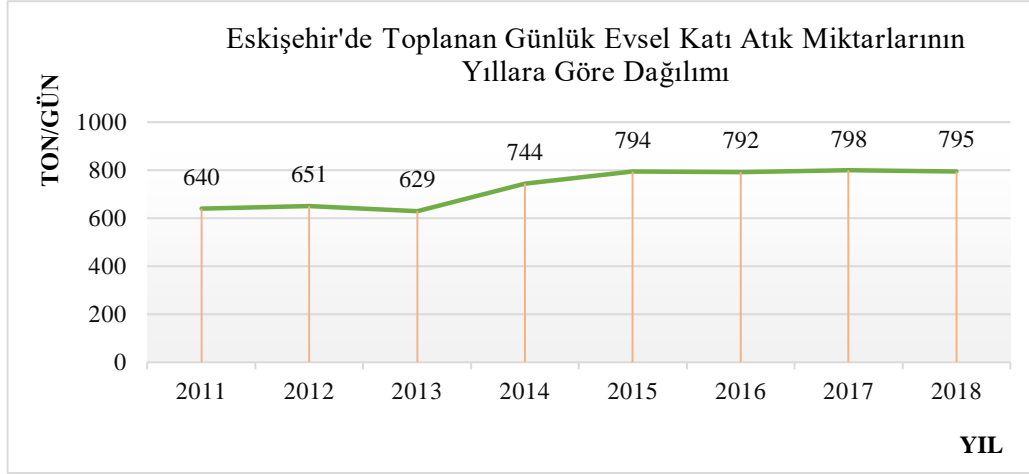
Atık kodu (UAK)	İşletmeye kabul edilen atıklar
20.02.03	Biyolojik olarak bozunmayan diğer atıklar
20.03.01	Karışık belediye atıkları
20.03.03	Sokak süprüntü atıkları
23.03.02	Pazarlardan kaynaklanan atıklar
20.03.06	Kanalizasyon temizliğinden kaynaklanan atıklar

2018 yılında Türkiye’de atık hizmeti verilen belediyelerde yıllık 32 milyon 209 bin ton olmak üzere günlük 827.970 ton atık toplanmıştır [10]. Aynı dönemde resmi bilgi edinme yoluyla belediyeden alınan verilere göre Eskişehir’de ise yılın ilk 8 ayında toplanan günlük evsel katı atık miktarı 795 tondur. Bu veriye göre 2018 yılı yıllık evsel katı miktarı 290.175 ton olarak hesaplanmıştır. Atık geri kazanımı yoluyla Eskişehir ili için ekonomik getirisinin yıllık yaklaşık 2,5 milyon TL olması beklenmektedir [11].



**Şekil 1.** Eskişehir’de günlük toplanan katı atık kompozisyonu [12]

2011-2018 yıllarına ait Eskişehir’de günlük toplanan evsel katı atık miktarları Şekil 1’de verilmiştir. Evsel Katı Atık Miktarlarına bakıldığında yıl içerisinde artan ve azalan bir durum söz konusudur. Bu durumun en önemli sebeplerini; Eskişehir’de yaşanan kış mevsiminin sertlik derecesi, çevre koruma eğitimlerin azaltılması ve merkez ilçe belediyelerinin tasarruf amaçlı Evsel Katı Atıkların toplama sıklığını bazı bölgelerde aşağı çekmesinden kaynaklanmaktadır [12].



Şekil 2. Eskişehir'de toplanan evsel katı atık miktarlarının yıllara göre dağılımı [2]

Belediyecilikte E-dönüşüm uygulamaları kapsamında kentsel bilgi sistemlerinin (KBS) kurulması ve aktif hale getirilmesinde Odunpazarı ve Tepebaşı belediyeleri etkili bir çalışma yürütmüştür. Örneğin dileyen atık yağ toplama noktalarını kolayca bulabilmekte ve ulaştırabilmektedir. Ayrıca bu sistem ile toplanan atık miktarları anlık olarak düzenli kayıt yapılabilmektedir. Bu değişim ile elde edilen kolaylıkların şekil 2'de sunulan grafikte 2014 yılında görülen toplanan günlük evsel katı atık miktarında artışa neden olduğu düşünülmektedir [13].

Eskişehir ili için 2017 yılı ambalaj ve ambalaj atıkları istatistik sonuçları incelendiğinde yüksek geri dönüşüm oranının metal ve ahşap ürünlerde olduğu; kâğıt, karton ve camda geri kazanımın olmadığı gözlenmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Eskişehir ilinde 2017 yılı ambalaj ve ambalaj atıkları istatistik sonuçları [12]

Ambalaj Cinsi	Üretilen Ambalaj Miktarı (kg)	Piyasaya Sürülen Ambalaj Miktarı (kg)	Geri Kazanım Oranları (%)	Geri Kazanılması Gereken Miktar (kg)	Geri Kazanılan Miktar (kg)	Gerçekleşen Geri Kazanım Oranı (%)
Plastik	2.958.617	12.841.839	54	6.934.593	1.186.526	9,24
Metal	9.983	241.413	54	130.363	239.090	99
Kompozit	137.323	998.924	-	-	12.000	1,2
Kâğıt Karton	179.248.502	40.876.447	54	22.073.281	-	-
Cam	261.195.551	1.280.927	54	691.700	-	-
Ahşap	9.936.234	16.692.710	11	1.836.198	5.067.036	30,4
<b>Toplam</b>	<b>453.486.210</b>	<b>72.932.260</b>	<b>100</b>	<b>31.666.135</b>	<b>6.504.652</b>	

Evsel katı atıklar 27.12.2017 tarih ve 30283 sayılı Ambalaj Atıklarının Kontrolü yönetmeliğine uygun şekilde Eskişehir Odunpazarı, Tepebaşı ve Seyitgazi ilçe belediyeleri tarafından toplanır. Toplanan evsel katı atıklar bertaraf tesislerine getirilerek mekanik ayrıştırma ünitelerinde organik ve inorganik olarak ayrılır. İnorganik atıklar (kâğıt, cam, metal, plastik) mekanik üniteler yardımıyla ayrıştırılarak diğer geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir. Ayrıştırılan organik atıklar ise biyogaz tesisinde kullanılıp enerji elde edilmektedir.

Eskişehir'de toplanan atıkların tamamı düzenli depolanmakta ve geri dönüştürülmektedir. Açıkta yakma, dökme ya da gömme şeklinde bertarafı yapılmamaktadır. Eskişehir'de 15 belediye olup atık hizmeti verilen nüfusun toplam nüfusa oranı % 99,2'dur [14]. İl genelinde oluşan toplam atık miktarı yıllık 318,471 tondur. Türkiye'de toplanan toplam atığın yaklaşık % 10'una karşılık gelmektedir (%9,92). Kişi başı ortalama atık miktarının ise 1,04 kg/kişi-gün olduğu görülmektedir (Tablo 3). Tablo 3'de yer alan kişi başı ortalama atık miktarı ve atık hizmeti verile nüfus bilgisi ile günlük 872 ton ve yıllık 318.171 ton teorik olarak hesaplanabilmektedir. Belediyeden temin edilen veriler ile teorik değerlendirme arasındaki farklar toplama, taşıma ve depolama sırasında oluşabilecek öngörülemez faktörlerden kaynaklanıyor olabilir.

**Tablo 3.** 2016 yılı rakamları ile Türkiye ve Eskişehir atık hizmeti verilerinin karşılaştırması [14]

Yıllar	Türkiye			Eskişehir (2016)
	2012	2014	2016	
Nüfus	75.627.384	77.695.904	79.814.871	844.842
Toplam belediye sayısı	2.950	1.396	1.397	15
Toplam belediye nüfusu	63.743.047	72.505.107	74.911.343	
Atık hizmeti verilen belediye sayısı	2.894	1.391	1.390	15
Atık hizmeti verilen belediye nüfusu	63.105.474	70.843.313	73.854.880	838.177
Atık hizmeti verilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	83	91	93	99,2
Oluşan toplam belediye atık miktarı (Bin ton/yıl)	30.786	31.230	33.763	
Toplanan atık miktarı (Bin ton/yıl)	25.845.000	28.011.000	31.584.000	318.471
Kişi başı ortalama atık miktarı (Kg/kişi-gün)	1,12	1,08	1,17	1,04

Eskişehir ilinde irili ufaklı mevcut 19 adet geri dönüşüm tesisi, 14 adet toplama-ayırma tesisi, 12 adet toplama-ayırma ve geri dönüşüm tesisi vardır [12]. Şekil 3’de belli başlı geri dönüşüm tesislerinin yerleri, Tablo 4’de ise sektörel dağılımları gösterilmektedir.

**Şekil 3.** Büyük kapasiteli geri dönüşüm tesislerinin konumları**Tablo 4.** Eskişehir’deki işleme tesisleri ve sayıları [12]

Katı Atık Bertaraf Tesisi Sayısı (Belediye)	1
Lisanslı Ambalaj Atığı Toplama Ayırma Tesisi ve Geri Kazanım Tesisi Sayısı	12
Tehlikeli Atık Geri Kazanım Tesisi Sayısı	8
Atık Yağ Geri Kazanım Tesisi Sayısı	-
Bitkisel Atık Yağ Geri Kazanım Tesisi Sayısı	-
Atık Pil ve Akümülatör Geri Kazanım Tesisi Sayısı	2
Ömrünü Tamamlamış Lastik Geri Kazanım Tesisi Sayısı	-
Tıbbi Atık Sterilizasyon Tesisi Sayısı	1
Tehlikesiz Atık Geri Kazanım Tesisi Sayısı	16
Atık Elektrikli ve Elektronik Eşya İşleme Tesisi Sayısı	5

Eskişehir Büyükşehir Belediyesi’nin Taşınabilir Pil Üreticileri ve İthalatçıları Derneği (TAP) ile yürüttüğü kampanyalar ile 2017 yılında 2.120 kg atık pil toplanmıştır. Yürütülene düzenli takip ve titiz çalışmalar ile 2017 yılında Eskişehir’de 324 adet bitkisel atık yağ üreticisi denetlenmiş ve lisanslı firma tarafından 491.320 litre bitkisel atık yağ toplanmıştır. Raporlara göre, 2015 yılı itibari ile

kapasitesi 16.073 ton olan 5 adet atık elektrikli ve elektronik eşya işleme tesisi bulunmaktadır. Bu tesislerde 2016 yılında yaklaşık 15.592,263 ton ve 2017 yılında 4.579 ton hurda elektronik eşya toplanmıştır [9]. Eskişehir merkez ilçesi olan Odunpazarı Belediyesi 2013-2017 yılları arasında çevrenin korunması ve geri dönüşüm konularında ciddi çalışmalar yapmıştır. Odunpazarı Belediyesi 4 yıl boyunca yaptığı geri dönüşümlerle 117.000 ağacın kesilmesini önlemiş, 116.000 ton petrol tasarrufu sağlamıştır. Belediye geri dönüşüm sayesinde 38.180 MWh (Megawatt saat) enerji tasarrufu yapmıştır. Bu sürede 310 ton bitkisel atık yağ toplanmış ve geri dönüşüme gönderilmiştir. 6005 kg atık pil ve batarya toplanmış bunların toprağa karışması engellenmiştir. Yılda yaklaşık 15 kg, 4 yılda 60 kg atık jilet toplanarak sokak hayvanlarının zarar görmesi engellenmiştir. Kullanım amacını yitirmiş 2028 ton elektronik atık toplanmış geri dönüşüm yapan lisanslı firmalara gönderilmiştir. 2014-2017 yılları arasında 148.370 öğrenciye çevre bilinci ve geri dönüşümün önemi üzerine eğitimler verilmiştir [12]. Eskişehir merkez ilçe belediyesi olan Tepebaşı Belediyesi' de geri kazanım amacıyla çalışmalar yapmaktadır. Bu kapsamda Ocak-Haziran 2017 verilerine göre Tepebaşı Belediyesi tarafından 90.000 kg atık yağ ve 734.373 kg ambalaj atığı toplanmıştır. Tepebaşı Belediyesi mahallelerin işlek noktalarına bıraktığı konteynerlerle bu dönemde 20.005 kg tekstil atığı toplamıştır [15].

Entegre atık depolama alanlarında organik atıkların anaerobik mineralizasyonu sonucu doğal olarak oluşan depo gazı önemli bir biyogaz kaynağıdır. Ülkemizde hayvansal ve tarımsal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelinin 2015 yılı için 8,6 MTEP (Milyon Ton Eşdeğer Petrol) ve 100 bin GWh'lık elektrik enerjisine eşdeğer olduğu belirtilmiştir. Türkiye'de yıllık 14.099.326,31 ton organik atık ve 17.232.509,95 ton kentsel diğer atık miktarı tespit edilmiştir. Organik atıkların içerdiği enerji ise yıllık 2.315.413,88 TEP'dir. 14.099.326,31 ton organik atıktan elde edilebilecek biyogaz miktarı teorik olarak yıllık 1.431.081.620,47 m<sup>3</sup>tür. Eskişehir'in ise toplanan organik atık ve üretilen biyogaz miktarı Türkiye genel toplamının %11'ine (130.439,38 ton/yıl ve 13.239.597,07 m<sup>3</sup>/yıl) sahiptir [16]. Üretilen biyogaz elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Ülkemizde hali hazırda 37 adet belediye atığından elektrik üreten lisanslı tesis, 9 adet lisanssız tesis, 1 adet atık lastik ve 1 adet de endüstriyel atıktan elektrik üretimi yapan tesis bulunmaktadır. Bu tesislerin toplam kurulu gücü 241.932 MWh dir [17]. Eskişehir'de de toplanan atıkların işlenmesi ile atıklardan enerji üretilerek ekonomiye fayda sağlanmaktadır. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi'nin girişimleriyle 07.06.2018 tarihinde çöplerden elektrik enerjisi üreten ve katı atık geri dönüşümünün yapıldığı bir tesis açılmıştır. Tesis 30.0000 m<sup>2</sup> araziye kurulmuş olup 10.000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahiptir. Çöplerden geri dönüşebilen atıklar ayrıldıktan sonra kalan kısım, fermantasyon işlemine tabi tutularak metan gazının çıkışı sağlanır. Çıkan metan gazı çapı 36 metre olan bir balonda geçici şekilde tutulur. Daha sonra her biri 1.4 MW elektrik enerjisi üreten devasa 8 dizel motor, atıklardan çıkan metan gazını yakarak elektrik enerjisine dönüştürür. Yine motorlarda yakma sonucu meydana gelen ısı çekilerek tesis sınırları içerisinde yer alan 2000 m<sup>2</sup> kapalı alana sahip seraya verilmektedir (Şekil 4). Bu sayede sera kışın bile bahçe ve süs bitkileri yetiştirilebilmesi için uygun hale gelmektedir. Bu tesis Eskişehir ili için 2040 yılına kadar evsel katı atıkların geri dönüşümü için ihtiyaç duyulan kapasiteye cevap verecek şekilde inşa edilmiştir.



Şekil 4. Eskişehir çöplerden elektrik üretimi ve katı atık geri dönüşüm tesisi

Yüklenici firma'ya göre ilde kurulacak olan "Çöplerden Elektrik Üretimi ve Katı Atık Geri Dönüşüm Tesisi"nin günlük toplam 11.2 Megawatt elektrik üretmesi beklenmektedir. Bu miktarın, 55 bin konutun günlük elektrik ihtiyacını karşılayabileceği bildirilmiştir. Tesisin yapımını gerçekleştiren ve 9 yıl işletecek olan ITC firması, belediyeye 1 Milyon 375 Bin TL kira ödemesi yapacaktır ve sözleşme sonunda tesiste kullanacağı tüm iş makinelerini da Büyükşehir Belediyesi'ne bırakacaktır. Vahşi



depolama alanında çalışan iş makineleri ve personel için Belediye tarafından ödenen 5 Milyon TL Belediye bütçesine kazandırılmıştır [18].

Tüketimin hızla arttığı ve doğal kaynakların da aynı hızla azaldığı günümüzde atıkların geri kazanımı, geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması büyük önem arz etmektedir. Belediye çalışanları ile mevcut sorunları hakkında yaptığımız görüşmede, en büyük sıkıntının atıkların karışık toplanmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Karışık toplanan atıklar enerji, maliyet ve verim kayıplarına ve hatta sistemlerde telafisi zor hasarlara yol açabilmektedir. Atık yönetimi hiyerarşisinde istenen ama ulaşılmaması zor olan kısım atık azaltma ve önleme, yani piramidin tepesidir. Bu konuda özellikle atık üreticilerin bu sorumluluğu üstlenip atık azaltma, olmuyorsa atıkların ayrı toplanması ile geri dönüşüme destek vermeleri gereklidir. Bu konuda ne yazık ki, toplumsal farkındalığımız oldukça düşüktür. Farkındalık artırmak amacıyla okul öncesinden, yetişkin eğitimlerine kadar farklı seviyelerde eğitim programları düzenlenmekte, ayrıca görsel medya alanları da yaygın olarak kullanılmaktadır. Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü aracılığıyla doğal kaynakların korunması, atık yönetimi, ambalaj atıklarının toplama prensipleriyle ilgili 2011-2016 yılları içerisinde 17.000'e yakın öğrenciye eğitim verilmiştir. Ayrıca verilen eğitimlerin daha verimli geçmesi için ambalaj atıkları toplama ayırma tesislerine geziler düzenlenmiştir. Okullarda çevreyi korumaya yönelik bilinçlendirme eğitimleri, Çevre Koruma Haftası kapsamında kurulan stantlarda halkın bilgilendirilmesi, Eskişehir Merkez ve ilçelerinde reklam panoları, billboardlarda çevreyi koruma konusunda bilgilerin paylaşılması ve sivil toplum kuruluşlarıyla çalışmalar gibi sosyal farkındalığı artırmaya yönelik çalışmalar sürekli olarak yapılmaktadır. “Belde Evlerinde Çevre Eğitimi”, “Cam Yeniden Cam Projesi”, “Sürdürülebilir Enerji Eylem Planı Uygulamaları”, “Eko-Okullar”, “Çevre Çocuk Meclisi”, “Çevre Şenliği”, “En Çevreci Tasarım Yarışması”, “Çevreci Çevki Tiyatro Gösterisi”, “Eşyalar ve Ambalaj Atıkları Çöp Olmasın”, “Dünya Saati”, “Bitkisel Atık Yağ Toplama Kampanyası” gibi çalışmalar yapılmıştır.

Atıkların kaynağında ayrı toplanabilmesi için gerekli tedbirleri almak adına özel çalışmalar yapılmıştır. Kumbaralar ve tel kafes sistemleri, Eskişehir merkez ilçe belediyeleri tarafından okul, askeri birlik, dersane, üniversite ve hastane gibi kurumlarda uygulanmaktadır. Bu sistem sayesinde geri dönüşebilen evsel katı atıklar kaynağında ayrı toplanmaktadır.



**Şekil 5.** Eskişehir’de fazla miktarda evsel katı atık üreten, yerleşim alanlarına Belediye tarafından bırakılan geri dönüşüme yönelik kafes ve kumbaralar.

Eskişehir Belediyesi tüm ara sokak ve trafiğe kapalı yollarda kullanmak ve mağaza, market ve bakkalların hepsine ulaşabilmek amacıyla özel tasarlanmış motosikletler kullanmaktadır (Şekil 5). Bu şekilde evsel katı atık toplayan motosikletler topladığı geri dönüşüm atığını geçici toplama alanına götürür. Belli bir miktara ulaşan evsel katı atıklar büyük kapasiteli araçlarla asıl toplama ayırma tesisine (TAT) götürülmektedir.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, Eskişehir İli atıkların toplanması, taşınması, bertarafı ve geri dönüşüm çalışmalarının çevresel, toplumsal ve ekonomik etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Eskişehir sanayisi oldukça gelişmiş bir kentimizdir. İl ekonomisinde iş kollarına bakıldığında sanayi %50, hizmet %40, tarım %10 seviyelerindedir. Sanayi, hizmet ve tarım sektörlerinden kaynaklanan katı atık sorunu Eskişehir ilinde Katı Atık Düzenli Depolama Tesisini zorunlu hale getirmiştir. Entegre Katı Atık Tesisi

2018 yılı itibariyle işletmeye alınmıştır. Buna ek olarak kentte irili ufaklı mevcut 19 adet geri dönüşüm tesisi, 14 adet toplama-ayırma tesisi, 12 adet toplama-ayırma ve geri dönüşüm tesisi bulunmaktadır. 2018 yılı itibari ile yıllık 292 bin ton atık toplanabileceği ve bu miktarın yıllık Eskişehir ili için ekonomik getirisinin 2,5 milyon lira civarında olacağı öngörülmektedir. Ayrıca elektrik üreticisi firma belediyeye 1 Milyon 375 Bin TL kira ödemesi yapacaktır ve sözleşme sonunda tesiste kullanacağı tüm iş makinelerini da Büyükşehir Belediyesi'ne bırakacaktır. Bununla birlikte vahşi depolama alanında çalışan iş makineleri ve personel için Belediye tarafından harcanacak olan 5 Milyon TL Belediye bütçesine kazandırılabilir.

Büyükşehir ve bağlı belediyeler atıkların kaynağında ayrı toplanmasına yönelik faaliyetler sürdürmektedir. Karışık gelen atıklar geri dönüşüm tesisinde ve depolama alanında performans kayıplarına neden olmakta ve telafisi zor sorunlar yaratmaktadır. Geri kazanılan ve yeniden kullanıma sunulan evsel katı atıkların verimli toplanmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle dar sokaklar için özel tasarım motosikletler, merkezi kafesli toplama noktaları ve binalar için ayrı toplama kumbaraları bulundurmaktadırlar. Ayrıca kaynağında ayrı toplama, geri dönüşüm ve sıfır atık projeleri kapsamında merkezde ve ilçelerde yoğun eğitim programları, STK'lar ile işbirlikleri, billboard çalışmaları ve stant çalışmaları yürütülmektedir.

Toplumun geri dönüşüm konusunda bilgi ve bilinç düzeylerinin artırılması ve kalıcı davranış ve değerlere dönüştürülmesi için okullarda, kamu ve özel kurumlarda etkili eğitim programları yürütülmelidir. Eğitim, ailede başlar, okullarda devam eder ve sosyal toplum içerisinde şekillenir. Bu yüzden eğitimler okullarda öğretmen, öğrenci ve yöneticiler, kurumlardaki tüm çalışanlar ile birlikte özellikle ebeveynleri kapsayacak şekilde çok yönlü yürütülmelidir. Konuyla ilgili bilgilendirme broşürler dağıtılmalı, medyanın gücünden faydalanılmalıdır. Sivil toplum kuruluşları ile işbirlikleri oluşturulmalıdır. Temiz okul projesi, Sıfır Atık Projeleri, TÜBİTAK 4004 Doğa Okulları Projeleri vb. projeler desteklenmeli ve teşvik edilmelidir. Atık üreticisine yönelik teşvik edici, harekete geçirici sorumluluk almasını sağlayacak yeni yasal düzenlemeler merkezi yönetim tarafından oluşturulurken, yerel yöneticiler tarafından da kaynağında ayrı toplamayı teşvik edecek projeler geliştirilmelidir. Örneğin; okullarda atık toplama yarışları yapılarak kazanan okullara ödülleri vermek, atık yağ karşılığında otobüs bileti doldurma, ya da toplanan atıklar karşılığında para kazanabilme fırsatlarının oluşturulması gibi.

Geri dönüşümün her aşamasında işi bilen kişiler çalıştırılmalı, bu kişiler evsel katı atık yönetimi eğitiminden geçirilmelidir. Evsel katı atık ara istasyon, geçici depolama alanları ve geri dönüşüm tesis sayısı artırılmalıdır. Bu tesisler çalışan işçiler ile istihdam alanı oluşturmaktadır. Yapılan tüm farkındalık çalışmaları ile daha bilinçli bir toplum inşa etmek mümkün olacaktır. Daha ferah ve sağlıklı çevrede yaşayan sorumluluk alan bireyler ile kaynaklar yeniden kazanılırken, çöplerin sağlıksız yönetimi sebebi oluşabilecek sorunlar ortadan kalkacaktır. Çöplerin etkili yönetimi ile sızıntı suyu, deponi gaz ve hastalık kaynağı olmak yerine atıklar başta yerel yönetimler ardından Türkiye ve Dünya için önemli bir ekonomi kaynağı haline dönüşmüştür.

## **Teşekkür**

Bu çalışma boyunca bilgi ve tecrübelerini paylaşan Eskişehir Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma Kontrol Dairesi çalışanları Çevre Mühendisleri Fatih GÜNEŞ, Sinem YANAR ve Formen Ahmet KARAKOÇ'a teşekkür ederiz.

## **Yazarların Katkısı**

Yazarlar çalışmanın planlanması ve bulguların değerlendirilmesinde eşit oranda katkı sağlamıştır. Makalenin yazımı ve gerekli düzenlemeler büyük oranda Dr. Hülya DURMAZ BEKMEZCİ tarafından yapılmıştır.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- [1] Çevresel Kirlilik İzleme Rehberi, 2007. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, s: 70. <http://www.cygm.gov.tr/cygm/files/yayinlar/kitap/izleme-rehberi.pdf> (Erişim tarihi: 03. 08. 2018).
- [2] Gündüzalp A.A., Güven S. 2016. Atık Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği. Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi. <http://www.sdergi.hacettepe.edu.tr/makaleler/Atik-Cesitleri-Yonetimi-GeriDonusum-ve-Tuketici.pdf> (Erişim tarihi: 01.08.2018).
- [3] Keleş R., Hamamcı C. 2002. Çevre Bilimi. 4. Baskı, İmge Yayınevi, Ankara, 1-32.
- [4] Büyükşehir Belediyesi Kanunu, 2012. Resmi Gazete, 25531, 23 Temmuz 2004. <http://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/1.5.5216.pdf> (Erişim tarihi: 29.10.2018).
- [5] Atık Yönetimi Yönetmeliği 2015. Resmi Gazete, 29314, 2 Nisan 2015. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/04/20150402-2.htm> (Erişim tarihi: 03.08.2018).
- [6] Demir Yetiş A., Gazigil L., Sapcı Z., Can O.T., Tütün M.M., Gözetten C., Durmaz Bekmezci H., Yücesoy Özkan Z. 2013. Bitlis İli Katı Atık Yönetiminin Değerlendirilmesi. 5. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi, 29 Mayıs-1 Haziran 2013, Kocaeli.
- [7] Ayodele T.R., Alao M.A., Ogunkuyigbe A.S.O. 2018. Recyclable Resources from Municipal Solid Waste: Assessment of its Energy, Economic and Environmental Benefits in Nigeria. Resources, Conservation & Recycling, 134: 165-173.
- [8] Kolkukisa Ü. 2013. Belediyelerde Katı Atık Yönetimi (Malatya Belediyesi Örneği). Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Malatya.
- [9] TÜİK, 2018. Temel İstatistikler, Nüfus ve Demografi, Nüfus İstatistikleri. <http://tuik.gov.tr/UstMenu.do?metod=temelist>. (Erişim tarihi: 19.06.2020).
- [10] TÜİK, 2018. Belediye Atık İstatistikleri 2018. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=30666> (Erişim tarihi: 19.06.2020).
- [11] Eskişehir Büyükşehir Belediyesi, 2019. Tez konusuna verilen cevaplar.
- [12] Eskişehir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 2018. Eskişehir İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu, Eskişehir, 1-42.
- [13] Ağaçasapan B. 2014. Kent Bilgi Sistemleri ve Atık Yönetimi. 19. Türkiye’de İnternet Konferansı, 27-29 Kasım 2014, Bornova, İzmir, 33-40.
- [14] TÜİK, 2017. Türkiye İstatistik Kurumu: Belediye Atık İstatistikleri. Dönem 2016. Haber Bülteni, 2017. [http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1019](http://tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1019) (Erişim tarihi: 28.02.2019).
- [15] Eskişehir Tepebaşı Belediyesi, 2018. <http://www.tepebasi.bel.tr/hd.asp?hid=7356> (Erişim tarihi: 19.02.2019).
- [16] Biyogaz Enerji Potansiyeli Atlası, 2018. Türkiye Biyokütle Potansiyeli Atlası, 2018 <http://bepa.yegm.gov.tr/> (Erişim Tarihi: 30.01.2018).
- [17] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017. Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Atık Yönetimi Sempozyumu 2017 (Antalya) Sonuç Bildirgesi. [https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editoridosya/2017\\_Atik\\_Yonetimi\\_%20Sempozyumu\\_Sonuc\\_Bildirgesi\\_ve\\_Sonuc\\_Raporu\(1\).pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editoridosya/2017_Atik_Yonetimi_%20Sempozyumu_Sonuc_Bildirgesi_ve_Sonuc_Raporu(1).pdf) (Erişim tarihi: 27.02.2019).
- [18] Eskişehir Belediyesi Haber Bülteni 2018. [http://www.eskisehir.bel.tr/icerik\\_dvm.php?icerik\\_id=3932&cat\\_icerik=1&menu\\_id=24](http://www.eskisehir.bel.tr/icerik_dvm.php?icerik_id=3932&cat_icerik=1&menu_id=24) (Erişim tarihi: 01.03.2019).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Multi-analytical Investigation of Early Bronze Age Cooking Pots with Triangular Handles (Tilbaşar, Turkey)**

Osman EKİNCİ<sup>1\*</sup>, Murat BAYAZİT<sup>2</sup>, Elif GENÇ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ankara Hacı Bayram Veli University, Department of Conservation of Cultural Property (PhD/Student), Ankara, Turkey

<sup>2</sup>Batman University, Department of Ceramics, Batman, Turkey

<sup>3</sup>Çukurova University, Department of Archaeology, Adana, Turkey

(ORCID: 0000-0002-6337-8006) (ORCID:0000-0003-1453-249X) (ORCID: 0000-0003-0508-7267)

---

### **Abstract**

Archaeometric studies covering the investigation of archaeological findings by analytical techniques are in a great demand particularly in last decades. This type of works represents a convenient and directive data basis in terms of achieving substantial knowledge regarding the characteristic ceramics of different civilizations. Being parallel to this, it was aimed to investigate the cooking pots with triangular handles (Early Bronze Age) from Tilbaşar Höyük (Gaziantep, Turkey) in an archaeometric way using multi-analytical methods within the present study. For that purpose, 14 representative samples of cooking pot (with triangular handles) were characterized by means of scanning electron microscopy together with energy dispersive X-ray spectrometry (SEM-EDS), petrography (optical microscopy), Fourier transformed infrared (FTIR) spectroscopy, thermogravimetric-differential thermal analysis (TG-DTA) and X-ray diffraction techniques. It was intended to identify the raw material contents and production features (e.g. firing temperature range, micro structural/chemical characteristics) of the ceramics. Considering the whole results, it was seen that the evident presence of primary calcite, and also the absence (or very limited degree) of vitrification in the micro structure suggested a firing temperature range of 700-800°C for the potsherds. Additionally, determination of the carbonates through the multi analytical techniques implied that the ceramics should have been produced by calcareous clays. In this context, it was predicted that the potsherds likely belong to a local and/or regional production (considering the geological formations of the region).

**Keywords:** Archaeometry, materials characterization, cooking pot with triangular handles.

---

## **Tilbaşar Höyük Erken Tunç Çağı Üçgen Kulplu Mutfak Kaplarının Çoklu Analitik Yöntemlerle İncelenmesi**

---

### **Öz**

Arkeolojik buluntuların analitik tekniklerle incelendiği arkeometrik çalışmalar özellikle son yıllarda rağbet gören bir bilim alanıdır. Seramik buluntular için yapılan bu tip çalışmalar farklı medeniyetlere ait karakteristik seramikler hakkında önemli bilgilere ulaşma noktasında oldukça faydalı ve yol gösterici veriler sunmaktadır. Buna paralel olarak, bu çalışmada Gaziantep Tilbaşar Höyük'te ele geçen bazı üçgen kulplu mutfak kaplarının (Erken Tunç Çağı) çoklu analitik yöntemlerle arkeometrik olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 14 adet üçgen kulplu mutfak kabı arkeometride sıklıkla tercih edilen yöntemler arasında yer alan taramalı elektron mikroskobu/enerji saçınımlı X-ray spektroskopisi (SEM/EDS), optik mikroskop (OM), Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, termogravimetrik-diferansiyel termal analiz (TG-DTA) ve X-ışını difraksiyon (XRD) teknikleri ile karakterize edilmiştir. Kullanılan bu tekniklerle seramiklerin hammadde içerikleri ve üretim özelliklerinin (pişirim sıcaklık aralığı, mikro yapısal/kimyasal karakter vb.) belirlenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, seramiklerde belirgin biçimde tespit edilen birincil kalsit varlığı ve buna ek olarak mikro yapıda vitrifikasyonun görülmemesi veya ihmal edilebilir derecede olmasının örneklerin 700-800°C gibi bir sıcaklık aralığında pişirildiklerine işaret ettiği görülmüştür. Buna ek olarak, karbonatlı hammaddelerin belirlenmesi seramiklerin kalkerli kil ile üretildiklerini akla getirmektedir. Bu bağlamda, bölge jeolojisi dikkate alındığında örneklerin yerel veya bölgesel üretim olma olasılıklarının da yüksek olduğu öngörülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Arkeometri, malzeme karakterizasyonu, üçgen kulplu mutfak kabı.

---

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

Geliş Tarihi: 17.12.2019, Kabul Tarihi: 10.07.2020

## 1. Introduction

Archaeometry could be defined as a multi-disciplinary branch of the science using various analytical characterization methods including mostly the spectroscopic and microscopic techniques. One can enlighten the production properties of the historic materials using archaeometric methods and provide a numeric data to be evaluated within the archaeological knowledge. In this context, ceramic findings, which are one of the most abundant artifacts in archaeological areas, can be characterized by means of various analysis methods but mainly the ones revealing the chemical and/or mineralogical contents, for they are the earthen wares consisting of oxides and minerals. As traditional ceramics are also fired at relatively high temperatures (i.e. up to 900-1000°C or above which might change depending on the raw materials and production features), there can be neo-formations together with a change in terms of micro structure. So, this is why the mentioned spectroscopic and microscopic techniques are frequently preferred in ceramic archaeometry. Additionally, thermal analyses are performed for pottery, namely thermogravimetric analysis (TGA) simultaneously utilized with differential thermal analysis (DTA) which would bring a complementary information according to the mass loss and enthalpy changes, respectively [1, 2].

Proceeding from this point of view, and in addition to the previous archaeometric works regarding another pottery groups (tripod vessels [3], ring burnished pottery [4]), this paper focuses on archaeometric investigation of a different pottery group; cooking pots with triangular handles (Early Bronze Age) uncovered from Tilbaşar Höyük which is located at 1 km east of Gündoğan village, 12 km of Oğuzeli district, 32 km southeast of modern Gaziantep in the north of Turkish-Syrian border (Figure 1) [5]. The most striking features of the cooking pots are known as use of the additive minerals (avoiding the occurrence of cracks due to rapid heating), carbonates (acting as a heat trap so as to prevent the ware from the abrupt temperature changes during daily use) and organic temper materials (the gaps occurring after the decarbonation of organics tolerate the thermal shock stresses throughout the pottery) [6-8]. Likewise, the samples in the present study were examined in order to reveal the characteristics of the cooking pots (with triangular handles) of Tilbaşar through a comprehensive archaeometric investigation. As is known, unfortunately, the number and scope of archaeometric studies are insufficient, and should be improved. For that purpose, this study aims to provide a directive and convenient archaeometric data for the cooking pot with triangular handles samples of Tilbaşar which is believed to make a substantial contribution to the current literature, because the number of detailed archaeometric research on pottery groups of the mound is very limited. Consequently, the samples of cooking pot with triangular handles from the mound were characterized by means of scanning electron microscopy together with energy dispersive X-ray spectrometry (SEM-EDS), petrography, X-ray diffraction (XRD), thermogravimetric-differential thermal analysis (TG-DTA) and Fourier transformed infrared (FTIR) spectroscopy in order to enlighten the production features (e.g. raw materials, firing properties, textural characteristics etc.).



**Figure 1.** Location and panoramic view of Tilbaşar (shot by Nezhil Başgelen) (~36°52'31.6"N 37°33'34.0"E) [5].

## 2. Materials and Methods

The first step in the study was determination of the potsherds. The specimens were chosen by Assist. Prof. Dr. Elif Genç (Çukurova University, head of the excavation area) taking their representativeness into account. At this point the physical and textural features of the potsherds were the main decisive parameters. Consequently, 14 samples representing the cooking pot with triangular handles pottery

group of the mound were selected to be characterized. The second step was visual documentation by which the potsherds have been photographed (Figure 2) and defined (i.e. color, thickness) (Table 1). The potsherds were then soaked in distilled water so as to remove the contaminations. After these fundamental processes before the analyses, the samples were ground in a porcelain mortar and powder samples were prepared to be used in destructive methods (i.e. XRD, TG-DTA, FTIR spectrometry). Additionally, bulk samples were taken for each sample to be used in microscopic analyses (i.e. SEM-EDS, petrography).



**Figure 2.** Representative samples of the study

**Table 1.** Definition of the samples\*

Sample code	Type	Thickness (mm)			
		(min-max)	L	a	b
KW-1	Edge	0.65-1.87	38,3225	7,9337	15,2225
KW-2	Body	0.63-0.73	32,9445	6,5489	19,4508
KW-3	Edge	0.83-2.60	28,4919	4,7072	15,1966
KW-4	Edge	1.25-1.90	36,7927	11,4257	21,1605
KW-5	Edge	0.84-1.40	37,4943	13,7946	24,5800
KW-6	Edge	0.80-1.65	27,1332	6,4086	15,2989
KW-7	Edge	1.00-1.60	28,7149	7,1667	18,7377
KW-8	Edge	0.80-1.66	27,1247	9,6540	17,9482
KW-9	Edge	1.28-1.63	21,7045	8,2941	14,4447
KW-10	Edge	0.83-1.90	30,0417	10,4840	20,0077
KW-11	Edge	0.50-1.20	26,2590	6,4828	15,3884
KW-12	Edge	0.61-1.06	24,5453	5,0014	15,5852
KW-13	Edge	0.80-2.06	19,6755	6,2156	9,5366
KW-14	Edge	0.70-1.60	15,5462	6,8433	8,5807

\* L: 0/100; white/black. a: 0/-60; green and 0/+60; red. b: 0/-60; blue and 0/+60; yellow

A portable colorimeter was employed to determine the colors of the potsherds. ColorQA Pro System III was used to obtain the L, a, b values which were assessed through the Commission Internationale de L'Eclairage. The mineralogical contents of the samples were determined with a Rigaku Miniflex XRD device with Cu K $\alpha$  radiation. The goniometer speed was 2°/min and the scanning range was 5–70° 2 $\theta$ . The chemical composition of the samples was revealed by a Supra 40VP model Carl Zeiss SEM/EDS. Elemental composition was transformed to oxide concentration. The data were obtained on various scaled images of the bulk samples which were initially coated with platinum in the coating appliance of Qourum (Q150R ES model) in order to examine the micro structural properties of the potsherds. A Leica Research polarizing microscopy (DMLP model) was utilized for the petrographic investigation. A Leica DFC280 digital camera possessing single/double nicol was used to shoot the images of the samples (through the Leica Qwin imaging program) and the results were assessed by the

Point Counting method. FTIR analysis was performed with an Elmer (Spectrum Two model) FTIR spectrometry. The analysis was carried out in the range of 450-2000  $\text{cm}^{-1}$  (the finger-print region). The enthalpy changes together with the weight losses were determined using a TG-DTA device of Shimadzu (DTG-60H model). Thermal analysis was performed in the temperature range of 25-1100°C with a heating rate of 20 °C/min.

### 3. Results and Discussion

#### 3.1. XRD and petrography results

The mineral/phase contents and mineral/rock types of the samples were examined through XRD and petrography analyses, respectively (Table 2). XRD results showed that all the samples include calcite (as the major phase) and quartz. Clay minerals (illite/muscovite) were also detected for the samples except the sample KW-7 which was found to possess only calcite and quartz. It was thought that this sample likely had a very few amount of clay minerals resulting in slight intensity (cps), but not seen. Representative XRD patterns are given in Figure 3 in order to demonstrate the intensities of the minerals detected. The evident presence of calcite (primary), which decomposes around 750°C and the reaction could continue up to 900°C in case of high amounts and/or coarse grains of calcite [9, 10], indicated that the samples should have been exposed to a firing temperature lower than the decomposition temperature of calcite. This assumption was also supported by the existence of clay minerals in the samples except KW-7, since such minerals decompose about 900°C [9, 11]. Consequently, the firing temperature range of the potsherds was found as 700-800°C.

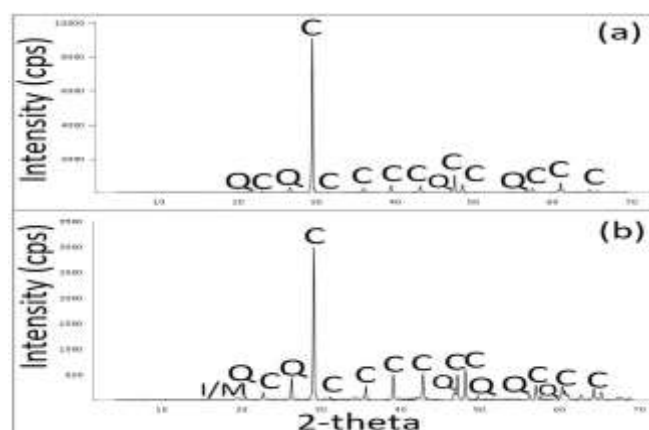
**Table 2.** XRD and petrography results of the samples

Group No*	TA (vol. %)	Mineral/rock types**	Descriptions	Mineral/phase***	Estimated Firing Temp (°C)
Gr-1	45	Q, C, L, M, G (%1)	The paste with coarse aggregates which mostly originated from marble.	C, Q, I/M	700-800
Gr-2	30	Q, C, L, Ch, Op	The paste with coarse aggregates which mostly originated from limestone.	C, Q, I/M	700-800

Fine / Medium / Coarse Aggregate (mm): <0,5 / 0,5-1,0 / >1,0; TA: Total Aggregate in ceramic matrix.

\* Gr-1: KW-1, KW-3, KW-4, KW-5, KW-6, KW-7 (excluding I/M, please see Figure 3), KW-8, KW-9, KW-10, KW-11, KW-12, KW-13, KW-14; Gr-2: KW-2, \*\* Detected by petrography; C: Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), Ch: Chert ( $\text{SiO}_2$ ), L: Limestone ( $\text{CaCO}_3$ ), M: Marble ( $\text{CaCO}_3$ ), Op: Opaque minerals (i.e.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Q: Quartz ( $\text{SiO}_2$ ), G: Grog, \*\*\* Detected by XRD; C: Calcite ( $\text{CaCO}_3$ ), I/M: Illite/muscovite (clay minerals), Q: Quartz ( $\text{SiO}_2$ ).

It was seen from the petrography results that the samples mainly consisted of calcite and quartz, likewise revealed by XRD analysis. Limestone was found in all samples, while marble was detected in most of the samples except KW-2 in which chert and opaque minerals were also found. The results exhibited that most of the potsherds' paste consists of coarse aggregates originated mainly from marble (for 13 samples), and only KW-2 comprises limestone origin aggregates (Table 2). Total aggregate ratio in ceramic matrices was found relatively high (30-45 vol. %). Additionally, grog residuals were also detected in most of the samples and its existence was assigned to probable use of temper materials (production ejects or clay lumps) employed in order to strengthen the structure of the pottery [12-14]. Petrographic results were seen to be compatible with the general characteristics of the cooking pottery groups described in the available literature.



**Figure 3.** XRD pattern of the sample (a) KW-7, (b) KW-10 (C: calcite, Q: quartz, I/M: illite/muscovite)

### 3.2. FTIR results

FTIR results were found to be compatible with the mineralogical contents of the potsherds (Table 3) Being detected as the major mineral in the whole sample set, calcite was identified with its characteristic band values at  $1794\text{-}1797\text{ cm}^{-1}$ ,  $1416\text{-}1419\text{ cm}^{-1}$ ,  $1426\text{-}1428\text{ cm}^{-1}$ ,  $872\text{ cm}^{-1}$ ,  $873\text{ cm}^{-1}$ ,  $847\text{-}849\text{ cm}^{-1}$  and  $712\text{ cm}^{-1}$  [15-18]. Determination of the diagnostic FTIR bands of calcite around  $1420\text{ cm}^{-1}$  was attributed to primary calcite [19, 20], and this result well-matched with the mineral/phase contents of the samples revealed through XRD. The clay minerals illite and muscovite were determined at the band values of  $1023\text{-}1025\text{ cm}^{-1}$ ,  $1028\text{ cm}^{-1}$  and also with the bands  $1015\text{-}1019\text{ cm}^{-1}$  at which kaolinite was the other possible mineral [18, 21, 22]. The bands around  $455\text{-}460\text{ cm}^{-1}$  indicated the probable existence of chlorite and illite, while the bands at  $465\text{ cm}^{-1}$  and  $474\text{ cm}^{-1}$  were assigned to illite/chlorite/kaolinite and hematite/illite/kaolinite, respectively [18, 22, 23]. Considering the XRD results, in which the clay minerals were found as illite/muscovite, it was predicted that the bands of the clay minerals in FTIR analysis were mainly related with these two, rather than chlorite or kaolinite. Quartz was detected with its characteristic band values around  $694\text{ cm}^{-1}$ ,  $777\text{ cm}^{-1}$  and  $797\text{ cm}^{-1}$  [18]. Hematite, which is thought to be the main mineral giving the colors of the samples, was detected for some of the potsherds with the bands around  $474\text{ cm}^{-1}$ ,  $520\text{ cm}^{-1}$ ,  $533\text{ cm}^{-1}$  and  $555\text{ cm}^{-1}$  [18, 24]. The band value of  $563\text{ cm}^{-1}$  was attributed to both hematite (giving the red-brown colors in oxidizing atmosphere) and magnetite (bringing the gray-black colors in reducing atmosphere), whereas  $555\text{ cm}^{-1}$  was assigned to hematite and clay mineral (muscovite) [2, 18, 24, 25]. Representative FTIR spectra are given in Figure 4.

**Table 3.** FTIR results of the samples

Sample code	Evident band values ( $\text{cm}^{-1}$ )	Related minerals*
KW-1	1795/1418/1023/873/848/797/777/712/563/520/474	Ca/Ca,I,Ms/Ca/Ca/Q/Q/Ca/H,M/H/H,I,K
KW-2	1796/1426/1024/873/848/799/780/712/695/555/533/455	Ca/Ca,I,Ms/ Ca/Ca/ Q/Q/Ca/Q/ H,Ms/H/Q,I,Cl
KW-3	1795/1418/1023/873/847/798/780/712/694/557/533/459	Ca/Ca,I,Ms/ Ca/Ca/ Q/Q/Ca/Q/ H,Ms/H/I,Cl
KW-4	1797/1417/1025/873/848/798/712/695/520/465	Ca/Ca,I,Ms/Ca/Ca/Q/Ca/Q/H/I,Cl,K
KW-5	1794/1427/1024/873/848/798/778/712/696/460	Ca/Ca,I,Ms/Ca/Ca/Q/Q/Ca/Q/I,Cl
KW-6	1796/1416/1019/872/848/798/778/712/695/465/455	Ca/Ca,I,Ms,K/ Ca/Ca/Q/Q/Ca/Q/I,Cl,K/ Q,I,Cl
KW-7	1796/1416/1015/873/849/797/778/712/694	Ca/Ca,I,Ms,K/ Ca/Ca/Q/Q/Ca/Q
KW-8	1796/1417/1022/873/848/797/779/712/695/455	Ca/Ca,I,Ms/ Ca/Ca/Q/Q/Ca/Q/Q,I,Cl
KW-9	1795/1416/1017/872/848/798/778/712/696/454	Ca/Ca,I,Ms,K/ Ca/Ca/Q/Q/Ca/Q/Q,I,Cl
KW-10	1795/1416/1017/872/848/798/778/712/695/454	Ca/Ca,I,Ms,K/ Ca/Ca/Q/Q/Ca/Q/Q,I,Cl
KW-11	1796/1428/1028/873/848/798/712	Ca/Ca,I,Ms/Ca/Ca/Q/Ca
KW-12	1794/1417/1018/873/848/798/778/712/695/455	Ca/Ca,I,Ms,K/ Ca/Ca/Q/Q/Ca/Q/Q,I,Cl
KW-13	1794/1419/1018/873/848/798/777/712/693/455	Ca/Ca,I,Ms,K/ Ca/Ca/Q/Q/Ca/Q/Q,I,Cl
KW-14	1795/1417/1016/872/848/798/779/712/695	Ca/Ca,I,Ms,K/ Ca/Ca/Q/Q/Ca/Q

\*Ca: calcite, Cl: chlorite, H: hematite, I: illite, K: kaolinite, M: magnetite, Ms: muscovite, Q: quartz



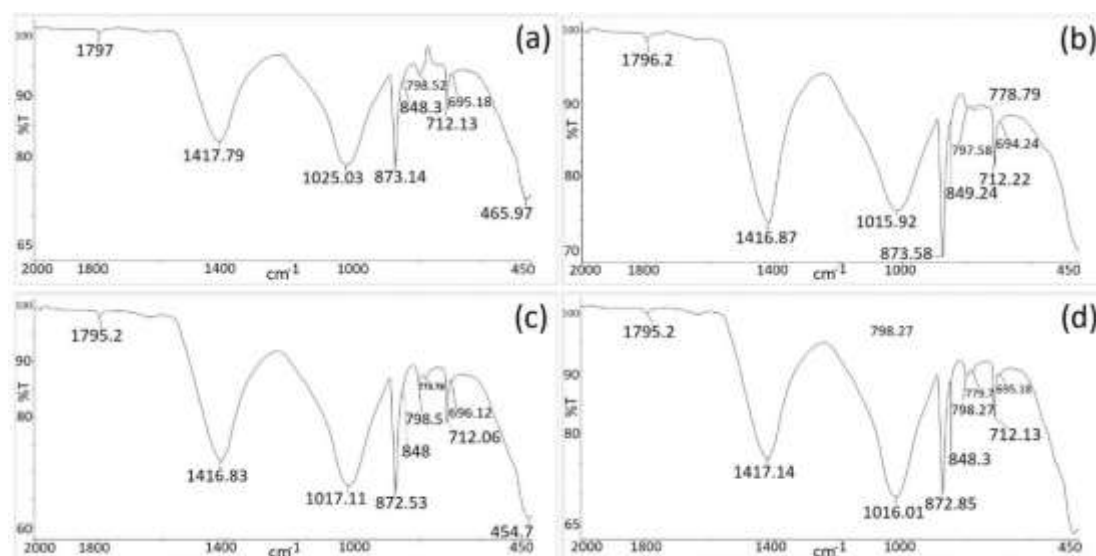


Figure 4. FTIR spectrum of the sample (a) KW-4, (b) KW-7, (c) KW-9, (d) KW-14

### 3.3. TG-DTA results

TG-DTA analysis is a convenient technique which allows examining the enthalpy changes together with the weight loss values during a gradual increase in temperature [26]. The TG curves show the mass loss, while DTA curves indicate the enthalpy changes occurred in the sample in the course of heating process [27]. The results (Table 4) showed that the weight loss values change between 27.84 and 31.37 wt. % for the sample set, and the majority of such losses have emerged owing to the presence of carbonates (i.e. calcite) which decompose at about 700-850°C resulting in an endothermic peak on DTA curves (representative TG-DTA diagrams are given in Figure 5) [26, 27]. The evident existence of such peaks around 800°C on DTA diagrams proved that calcite was present in the samples and its decomposition reaction did not happen. This results supported the firing temperature ranges (700-800°C) revealed by XRD. Additionally, the appearance of characteristic endothermic effects indicating the decomposition of carbonates around 800°C (and not lower than that temperature) showed that calcite was primary rather than secondary which is accepted as a burial residual and/or reformed calcite [20].

The endothermic peaks on DTA curves at 25-200°C together with the gradual weight loss were attributed to the hygroscopic water [27]. The absence of any evident endothermic or exothermic effects on DTA curves of the samples after 900-1000°C suggested that the polymorphic transformations were likely limited, and this result indicated that the firing temperature was lower than that range [28]. These data, likewise the FTIR results, verified the firing temperature range of the samples.

Table 4. Weight loss values detected in the range of 25-1100 °C

Code	Initial weight (mg)	Total weight loss (mg)	Total weight loss (wt. %)
KW-1	18,08	5,48	29,95
KW-2	18,65	5,32	28,52
KW-3	18,38	5,31	28,91
KW-4	18,25	5,65	30,98
KW-5	18,32	5,73	31,30
KW-6	17,77	5,38	30,27
KW-7	18,15	5,20	28,65
KW-8	18,23	5,13	28,17
KW-9	18,14	5,69	31,37
KW-10	18,32	5,70	31,13
KW-11	18,08	5,03	27,84
KW-12	18,22	5,09	27,95
KW-13	18,42	5,40	29,35
KW-14	18,22	5,41	29,69

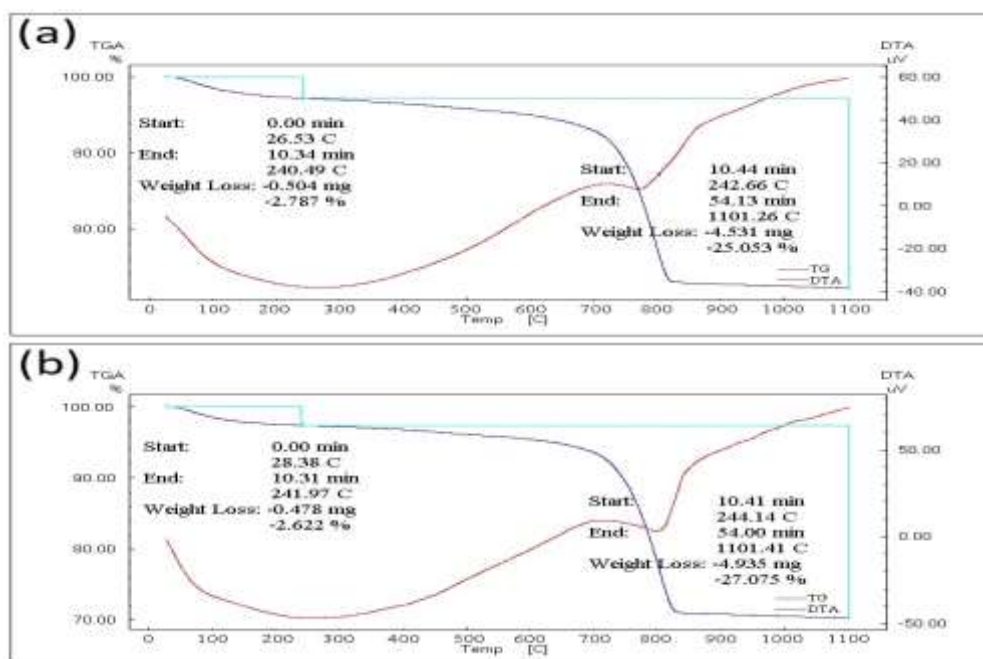


Figure 5. TG-DTA diagrams of the sample (a) KW-11, (b) KW-14

### 3.4. SEM/EDS results

SEM/EDS analysis was carried out to enlighten the micro structural and micro chemical properties of the samples. EDS results (Table 5) showed that the amount of CaO changes in the range of 18.34-40.22 wt. % indicating calcareous raw materials. The relatively higher amounts of CaO (up to 40.22 wt. %) detected for few of the samples (e.g. KW-3, KW-9) were attributed to the fact that the analysis was performed on  $\mu\text{m}$  scaled sectional areas of the samples (maximum 100  $\mu\text{m}$  sized SEM images), and the abundant presence of calcite together with its relatively coarser grains would have occasionally affected the chemical composition of the selected image. This situation was proved through the sectional EDS analysis of the representative samples (Figure 6 and Figure 7).

Table 5. EDS results of the samples.

Code	Oxide						
	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
KW-1	42.38	33.26	13.14	7.80	2.36	1.06	-
KW-2	54.08	18.34	16.38	5.77	2.96	2.47	-
KW-3	40.50	36.80	14.62	5.00	1.70	1.39	-
KW-4	44.39	29.71	12.91	9.40	2.82	0.76	-
KW-5	46.05	32.29	13.49	3.55	3.42	1.19	-
KW-6	43.36	31.11	13.47	7.70	2.39	1.63	0.63
KW-7	41.99	35.38	13.42	5.44	2.34	1.43	-
KW-8	45.10	32.91	13.16	5.86	2.23	0.75	-
KW-9	39.80	40.22	12.13	4.65	1.89	1.28	-
KW-10	44.20	33.29	13.72	5.18	1.62	1.98	-
KW-11	42.94	35.72	11.24	7.00	2.00	1.10	-
KW-12	42.37	33.62	12.47	6.91	2.50	1.57	-
KW-13	44.19	33.39	13.64	5.41	2.09	1.28	-
KW-14	49.19	24.18	16.34	5.56	3.48	1.25	-

(-): not detected or under the detection limit.

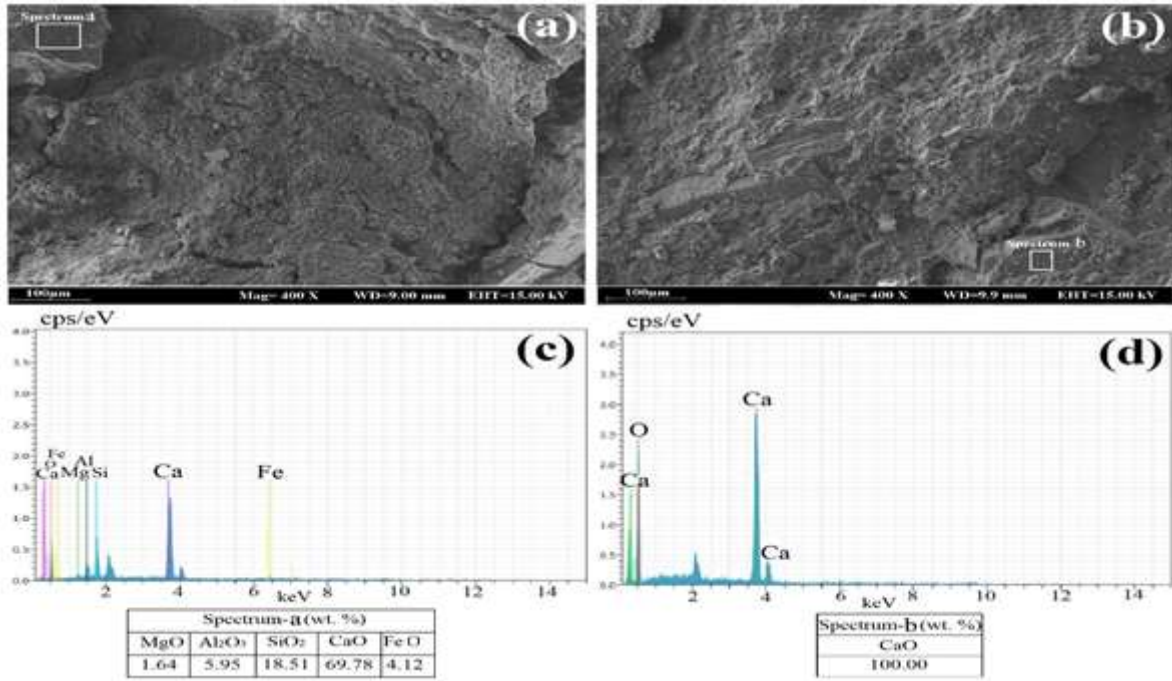


Figure 6. SEM images and EDS results of the selected areas of (a-c) KW-3 and (b-d) KW-6

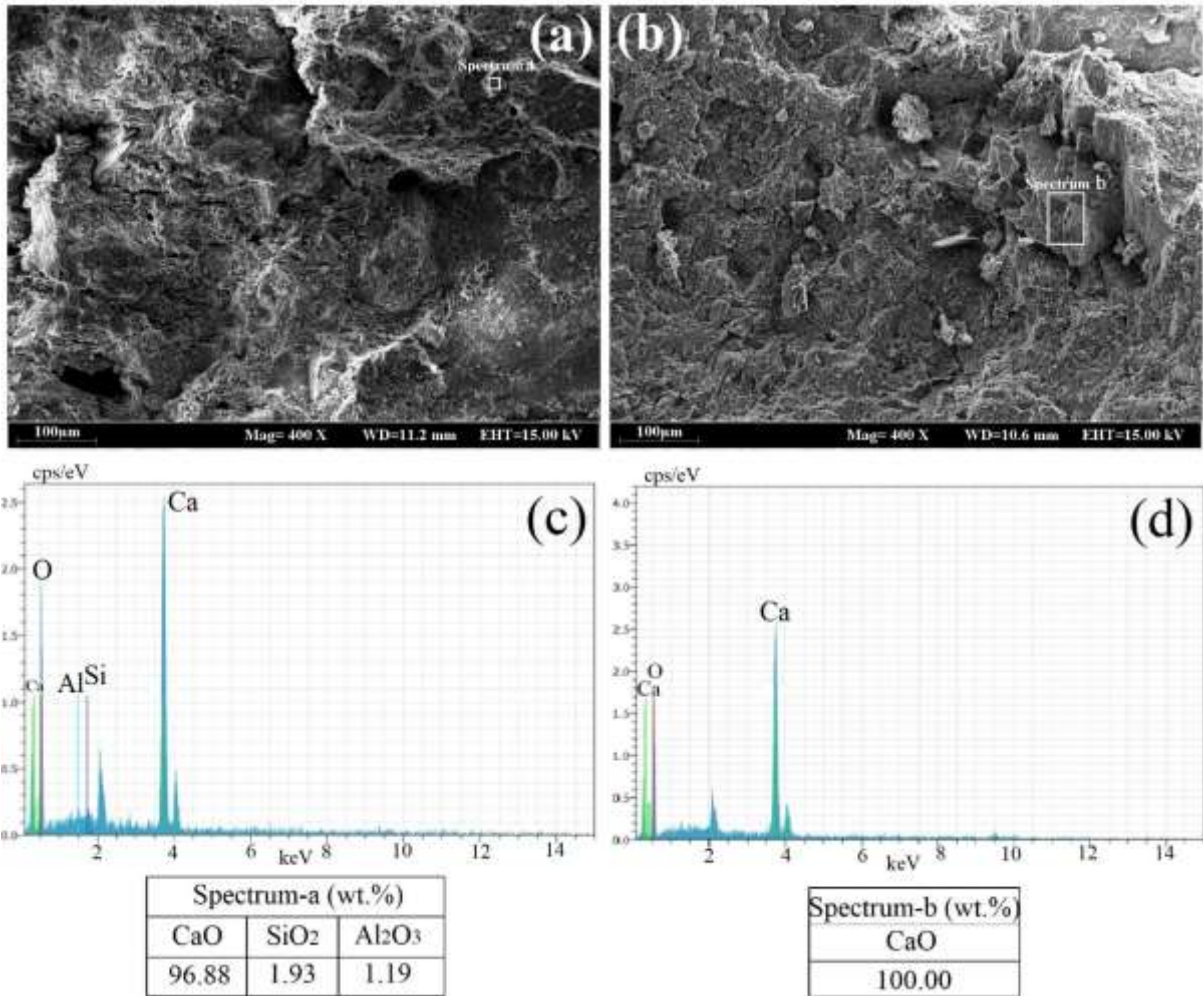
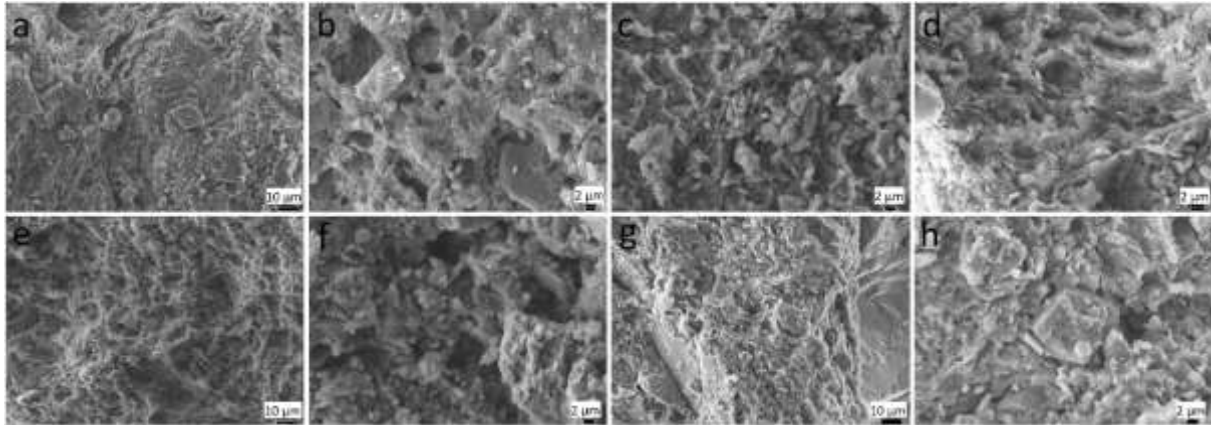


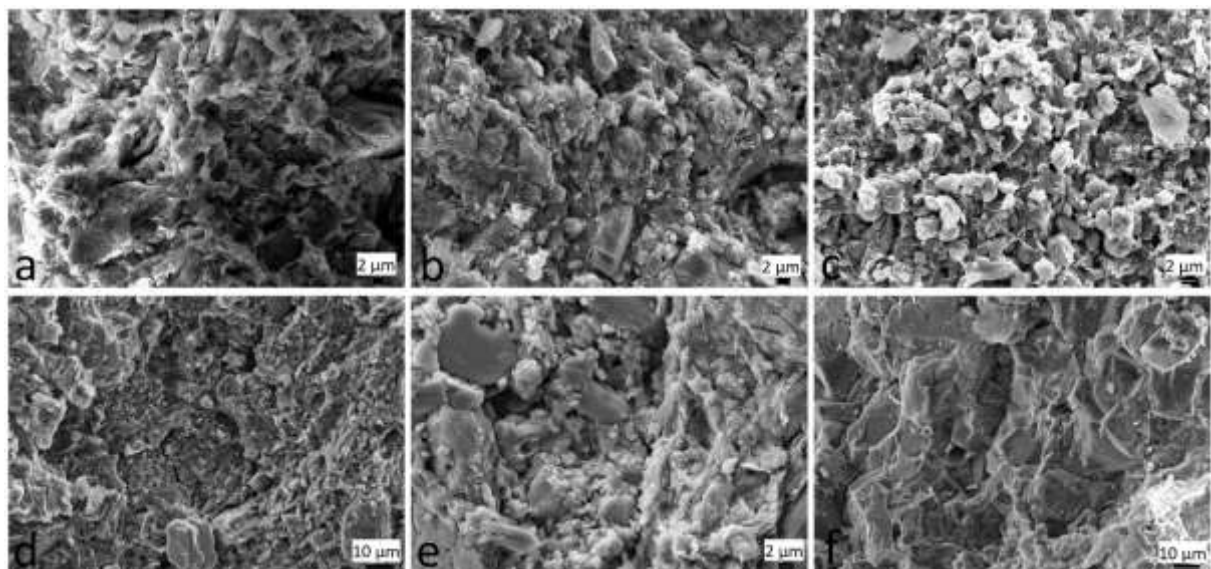
Figure 7. SEM images and EDS results of the selected areas of (a-c) KW-9 and (b-d) KW-12

The amount of SiO<sub>2</sub> was found in the range of 39.8-54.08 wt. % and its presence was mainly attributed to quartz and secondly clay minerals, two of which have been identified on XRD patterns of the potsherds. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was found as 11.24-16.38 wt. % (13.58 wt. % in average) which suggested relatively low amount of clay minerals. The amount of K<sub>2</sub>O was seen to change between 0.75 and 2.47 wt. %, Na<sub>2</sub>O was encountered for one sample (KW-6; 0.63 wt. %). The source of these two oxides was thought to be the plagioclase and/or feldspars, but such minerals were not seen on XRD patterns (or their intensity was under the detection limit). Thus, it was assumed that K<sub>2</sub>O and Na<sub>2</sub>O were mainly derived from the clay minerals. The amount of MgO changes in the range of 1.62-3.48 wt. % (2.41 wt. % in average). The origin of this oxide is presumed as the Mg-bearing minerals (e.g. chlorite) and/or dolomite. Found as the only possible colorant for the potsherds, iron oxide changes in the range of 3.55-9.40 wt. % (6.08 wt. % in average). The comparative evaluation of the EDS results together with the former data, it was seen that the chemical compositions of the samples were substantially compatible with the mineralogical assemblages.

SEM images were also shot in 2-10 µm scale so as to see the microstructure of the potsherds (Figure 8, Figure 9). It was observed that there was a limited vitrification which suggested that the firing temperature range of the samples were low, thus the maturation and sinterization behaviors of the potsherds were likely inhibited throughout the ceramic matrices. This assumption approved the firing temperature ranges revealed by means of XRD analysis in which there were no traces of neo-formations (new phases occurring at higher temperatures).



**Figure 8.** SEM images of the samples (KW-1/KW-8 respectively showed by a-h)



**Figure 9.** SEM images of the samples (KW-9/KW-14 respectively showed by a-f)

#### 4. Conclusions

The archaeometric data achieved within this study by using multiple analytical techniques showed that the representative samples of Early Bronze Age cooking pots with triangular handles belonging to Tilbaşar Höyük (Gaziantep, Turkey) were mainly produced with clays rich in carbonates (particularly calcite). The presence of the primary calcite was revealed by both spectroscopic (XRD, FTIR), microscopic (SEM-EDS, petrography) and thermal analysis (TG-DTA) methods. In the context of the geological formations of the mound and its vicinity [29-35], it could be seen that the region covering Antakya, Şanlıurfa, Adıyaman, Osmaniye, Kilis, Kahramanmaraş and Gaziantep is occasionally comprised of carbonates (i.e. dolomite, limestone, marble). Consequently, the origin of the raw materials used for such ceramic group would be local.

The dominant existence of calcite on XRD patterns together with no traces of high temperature minerals, and also the evidences of carbonates identified through FTIR (with characteristic band values) and TG-DTA (with the enthalpy changes and weight loss values at certain degrees) suggested that the firing temperature range of the studied potsherds was presumably 700-800°C. This estimation was also proved by SEM images in which a very limited vitrification degree was seen throughout the micro structure of the samples. It could be concluded from the results that the characteristic features of the studied samples were, in general, consistent with the diagnostics of the ancient cooking pots as in the available literature. Additionally, considering the whole data, it could be deduced that the samples of cooking pots with triangular handles in this work are probably of a single type product group. It is predicted that the outcome of this study would be a convenient scientific step for the further archaeometric studies regarding the same or other ceramic groups of the mound and/or the region.

#### Acknowledgements

The authors gratefully thank Prof. Dr. Metin Ak (Pamukkale University), Assoc. Prof. Dr. Ali Issi (Kütahya Dumlupınar University) and Assoc. Prof. Dr. Ali Akın Akyol (Ankara Hacı Bayram Veli University) for their support to the analyses carried out within this study. This paper is produced from the data achieved through the master thesis of Osman Ekinçi which has been submitted to department of Archaeometry (Institute of Science, Batman University, 2018).

#### Authors' Contributions

Murat BAYAZIT and Osman Ekinçi analyses, evaluation of the archaeometric data and interpretation of the results, Elif GENÇ achievement of the samples, archaeological literature, assessment of the results.

#### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

#### Statement of Research and Publication Ethics

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

#### References

- [1] Loehman R.E. 1993. Characterization of Ceramics. Butterworth-Heinemann, Reed-Elsevier Inc., 1-312.
- [2] Issi A., Raškovska A., Kara A., Grupce O., Minčeva-Šukarova B., Okyar F. 2011. Scanning electron microscopy and micro-Raman spectroscopy of slip layers of Hellenistic ceramic wares from Dorylaion/Turkey. *Ceram. Int.*, (37): 1879-1887.
- [3] Bayazıt M., Çağın D., Genç E. 2019. Early Bronze Age plain simple wares (tripod vessels) of Tilbeshar (Turkey): Archaeometric characterization. *Bitlis Eren University Journal of Science*, 8 (2): 484-495.

- [4] Bayazit M., Ekinci O. 2019. Investigation of ring burnished pottery samples from Tilbaşar Mound (Gaziantep, Turkey) using multiple analysis techniques. *Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering*, 19: 193-202.
- [5] Tilbaşar Höyük. <http://www.tilbasarhoyuk.com> (Access date: 19.04.2018).
- [6] Rye O.S. 1981. *Pottery Technology*. Taraxacum, Washington, 1-150p.
- [7] Arnold D.E. 1985. *Ceramic theory and cultural process*. Cambridge University Press, Cambridge, New York, Port Chester, Melbourne, Sydney.
- [8] Engin A. 2003. Orta Fırat Bölgesi'nin Eski Tunç Çağı seramiği içerisinde Gre Virike buluntularının yeri ve önemi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- [9] Maritan L., Mazzoli C., Nodari L., Russo U. 2005. Second Iron Age grey pottery from Este (northeastern Italy): study of provenance and technology. *Applied Clay Science*, 29: 31-44.
- [10] Shoal S. 2003. Using FT-IR spectroscopy for study of calcareous ancient ceramics. *Optical Materials*, 24: 117-122.
- [11] Broekmans T., Adriaens A., Pantos E. 2004. Analytical investigations of cooking pottery from Tell Beydar (ne-Syria). *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B*, 226: 92-97.
- [12] Rice P.M. 1987. *Pottery analysis: A sourcebook*. University of Chicago Press, Chicago, 584p.
- [13] Loftfield T.C. 1976. A Brief and True Report: An Archaeological Interpretation of the Southern North Carolina Coast. Ph.D. dissertation, University of North Carolina, Department of anthropology, Chapel Hill.
- [14] Saffer M. 1979. Aboriginal Clay Resource Utilization of the Georgia Coast. M.A. Thesis, University of Florida, Department of anthropology, Gainesville.
- [15] Maravelaki-Kalaitzaki P., Kallithrakas-Kontos N. 2003. Pigment and terracotta analyses of Hellenistic figurines in Crete. *Analytica Chimica Acta*, 497 (1-2): 209-225.
- [16] Mazzocchin G.A., Agnoli F., Colpo I. 2003. Investigation of roman age pigments found on pottery fragments. *Analytica Chimica Acta*, 478 (1): 147-161.
- [17] Edreira M.C., Feliu M.J., Fernández-Lorenzo C., Martin J. 2001. Roman wall paintings characterization from Cripta del Museo and Alcazaba in Mérida (Spain): chromatic, energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopic, X-ray diffraction and Fourier transform infrared spectroscopic analysis. *Analytica Chimica Acta*, 434 (2): 331-345.
- [18] Farmer V.C. 1974. *Infrared Spectra of Minerals*. Mineralogical Society, London, 1-539.
- [19] Shoal S., Beck P., Yadin E. 2006. The ceramic technology used in the manufacture of Iron Age pottery from Galilee, in *Geomaterials in cultural heritage*. Edited by Maggetti M, Messiga B, The British Geological Society Publishing House, London, 257: 101-117.
- [20] Fabbri B., Gualtieri S., Shoal S. 2014. The presence of calcite in archeological ceramics. *J. Eur. Ceram. Soc.*, 34: 1899-1911.
- [21] Afremow L.C., Vandenberg J.T. 1966. High resolution spectra of inorganic pigments and extenders in the mid infrared region from 1500 cm<sup>-1</sup> to 200 cm<sup>-1</sup>. *J. Paint Technol.*, 38: 169-202.
- [22] Kieffer S.W. 1979. Thermodynamics and lattice vibrations of minerals: 2. Vibrational characteristics of silicates. *Rev. Geophys. Space Phys.*, 17: 20-34.
- [23] Ellid M.S., Murayed Y.S., Zoto M.S., Music S., Popovi S. 2003. Chemical reduction of hematite with starch. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 258 (2): 299-305.
- [24] Jeans C., Wilson M.J. (ed.) 1994. *Clay Mineralogy: Spectroscopic and Chemical Determinative Methods*. Chapman & Hall, London, 1-367.
- [25] Van der Weerd J., Smith G.D., Firth S., Clark R.J.H. 2004. Identification of black pigments on prehistoric Southwest American potsherds by infrared and Raman microscopy. *J. Archaeol. Sci.*, (31): 1429-1437.
- [26] Drebuschak V.A., Mylnikova L.N., Drebuschak T.N., Boldyrev V.V. 2005. The investigations of ancient pottery. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 82: 617-626.
- [27] Palanivel R., Kumar U.R. 2011. Thermal and Spectroscopic Analysis of Ancient Potteries. *Rom. Journ. Phys.*, 56 (1-2): 195-208.
- [28] Krapukaitytė A., Tautkus S., Kareiva A., Zalieckienė E. 2008. Thermal analysis—a powerful tool for the characterization of pottery. *Chemija*, 19: 4-8.
- [29] MTA. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/Antakya.pdf> (Access date: 19.10.2018).

- [30] MTA. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/sanliurfa.pdf> (Access date: 19.10.2018).
- [31] MTA. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/adiyaman.pdf> (Access date: 19.10.2018).
- [32] MTA. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/osmaniye.pdf> (Access date: 19.10.2018).
- [33] MTA. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/kilis.pdf> (Access date: 19.10.2018).
- [34] MTA. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/kahramanmaras.pdf> (Access date: 19.10.2018).
- [35] MTA. <http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/maden-haritalari/gaziantep.pdf> (Access date: 19.10.2018).

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Toz Metalürjisi Yöntemi ile Üretilen Cu-Sn/Ni Kompozitinin Elektriksel İletkenliğine Isıl İşlemin Etkileri**

Tülay YILDIZ\*, Nida KATI, Nafiz BOZKURT

*Fırat Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Elazığ*  
(ORCID: 0000-0001-9665-7733) (ORCID: 0000-0001-7953-1258) (ORCID: 0000-0002-9071-5813)

---

### **Öz**

Bu çalışmada, Cu-Sn alaşımına %3 oranında Ni elementi ilave edilerek farklı sıcaklık ve basınçta, sabit sürede sıcak presleme yöntemi ile yeni matris malzemeler üretilmiştir. Cu ve alaşımları elektrik kontak malzemesi olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu amaçla, Cu alaşımlarına ergime derecesi yüksek metal partikülleri ilave edilmiştir. Daha sonra ısıl işlem uygulanarak, üretilen malzemenin mekanik özellikleri artırılmıştır. Böylece, malzemenin yüksek mukavemetli elektrik kontaklarında kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elektrik kontaklarında gerçekleşen "aç-kapa" işlemleri ve ortaya çıkan arklar, pekleşme etkisi ve yeniden kristalleşme özelliklerini meydana getirmektedir. Bu etkiler göz önüne alınarak, çalışmamızda üretilen numuneler, pekleşme ve yeniden kristalleşme ısıl işlemlerine tabi tutulmuştur. Bu ısıl işlemlerin üretilen malzemelere ait mikroyapı, sertlik ve elektriksel iletkenlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Yüzde iletkenlik, bütün numunelerde %50 değerinin üzerinde elde edilmiş ve üretilen kompozitin iletken malzeme olarak sorunsuz bir şekilde kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Cu/Sn, Ni, sıcak presleme, ısıl işlem, elektrik iletkenliği.

---

## **Effects of Heat Treatment on Electrical Conductivity of Cu-Sn / Ni Composite Produced by Powder Metallurgy Method**

---

### **Abstract**

In this study, by adding the 3% Ni element to the Cu-Sn alloy, new matrix materials have been produced by hot pressing method at different temperatures and pressures in a fixed time. Cu and its alloys have a wide usage area as electrical contact material. For this purpose, high melting metal particles are added to Cu alloys. Then, by applying heat treatment, the mechanical properties of the produced material were increased. Thus, the usability of the material in high-strength electrical contacts was investigated. The "on-off" processes in the electrical contacts and the arcs that arise create the strain hardening effect and recrystallization properties. Considering these effects, the samples produced in our study were subjected to strain hardening and recrystallization heat treatments. The effects of these heat treatments on microstructure, hardness and electrical conductivity properties of the produced materials were investigated. The percentage of the conductivity was obtained above 50% in all samples and it was determined that the produced composite can be used as conductive material without any problem.

**Keywords:** Cu/Sn, Ni, hot pressing, heat treatment, electrical conductivity.

---

### **1. Giriş**

Sıcak presleme, toz metalürjisinde de önemli bir yöntemdir. Katı durumdaki tozu tam yoğun parçalara dönüştürmekte kullanılır. Bu şekilde, geleneksel ergitme ya da presleme ve sinterleme üretim teknolojileriyle elde edilenden daha iyi fiziksel özellikler elde edilir. Metal tozlar, şekillendirilmiş sac metal içine hapsedilir ve net şekle yakın parçalar üretmek için sıcak presleme işlemine tabi tutulabilir. Gözenekler tamamen kapandığı zaman uygun bir yoğunluğa ulaşmak için parçalar sinterleme

---

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

Geliş Tarihi: 11.07.2020, Kabul Tarihi: 08.09.2020



fırınlarında ön sinterleme işlemine tabi tutulurlar [1, 2]. Yüksek mukavemet ve yüksek elektrik iletkenliğine sahip Cu alaşımları kurşun çerçeveler, konvektörler ve iletken yaylar gibi uygulamalar için önemli mühendislik malzemeleridir [3, 4]. Bununla birlikte, Cu alaşımlarında mukavemeti arttırmak için yaygın olarak kullanılan stratejiler, kaçınılmaz olarak, elektrik iletkenliğinin eşzamanlı olarak bozulması ile elektronların ek saçılımı ile sonuçlanan çözünmüş atomlar, çıkıklar, tane sınırları ve ikinci fazlar gibi kusurların ortaya çıkmasını içerir [3, 5]. TM uygulamalarının en çok kullanıldığı alanlardan biri de elektrik kontak malzemelerinin üretimidir. Kontak malzemeleri döküm, infiltrasyon ve toz metalürjisi gibi çeşitli yöntemlerle üretilebilmektedir. Fakat bu malzemelerde, yüksek elektriksel ve ısı iletkenlik, yüksek ergime sıcaklığı, yüksek korozyon ve yüksek ark aşınması direnci özelliklerinin hepsinin bir arada bulunmasının istenmesi üretim yöntemlerini kısıtlamaktadır. Örneğin; volframın çok iyi olan ısı ve mekanik dayanım özellikleri ile bakırın muazzam elektrik iletkenliği özellikleri bir araya getirilip iyi bir kontak malzemesi üretmek istenmektedir. Fakat bakır-volfram bileşimli kontak malzemelerinin üretiminde, bakır ile volframın birbiri içerisinde çözünürlüğünün olmaması nedeniyle, ancak infiltrasyon veya toz metalürjisi yöntemleri tercih edilebilmektedir. Katı hal uygulamalarının başında gelen toz metalürjisinin diğer geleneksel ve ileri teknoloji metotlarına göre sağlamış olduğu avantajların en önemlisi, denge diyagramlarındaki şartların dışında hemen her tür malzemeye uygulanabilir olmasıdır. Toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş malzemelerin birçoğunu diğer geleneksel metotlarla üretmek hemen hemen imkânsız ya da çok güçtür [6, 7]. Modern teknolojinin sınırlılıklarından birisi de bazı metal alaşımlarının elde edilmesindeki zorluktur. Mesela, düşük ergime sıcaklığına sahip bir malzeme ile yüksek ergime sıcaklığına sahip diğer bir malzemeyi geleneksel tekniklerle alaşımlamak zordur. Böyle iki metal sıvı durumda çözelti oluşturmasına rağmen daha düşük ergime noktasına sahip olduğunda metal soğuma ve katılaşma yönünde ayrılır. Bunun yanında klasik üretim teknikleri ile üretilebilen malzemelerden daha sert, dayanıklı ve hafif malzemelere talebin artmasıyla yeni malzemelerin tasarımı ve geliştirilmesi söz konusu olmuştur [6, 8]. Elektrik kontak malzemeleri, kayarak veya sabit temas sağlayarak elektrik devrelerini istenen zamanda açmak ve kapatmak için kullanılan metal esaslı parçalardır. Kontak malzemelerine evlerdeki aydınlatma tesisatının anahtarlarında ve her türlü elektrikli ev aletlerinde, endüstride özellikle otomasyonun vazgeçilmez bir parçası olan kondüktörlerde ve şalterlerde, otomobillerdeki elektrik aksamının kontrolü için kullanılan rölelerde ve yine endüstriyel amaçlı rölelerde vb. yerlerde rastlanmaktadır. Kontrollü bir elektrik devresinde kontakların birbiriyle teması sonucu devre enerjilenir ve akım akmaya baslar. Kontak malzemeleri açma-kapama ve kısa devre esnasında elektrik, termik, mekanik ve kimyasal yönden çok zorlanırlar. Kontaklar sürekli açılıp kapandığı için oluşan elektrik atlamaları (ark) zamanla kontakların oksitlenmesine ve iletkenlik özelliklerini kaybetmesine neden olur. Bu yüzden bir kontak malzemesinin çalışma süresince bütünlüğünü koruyabilmesi malzemenin yüksek elektriksel ve ısı iletkenliğine, yüksek ergime sıcaklığına, yüksek korozyon ve yüksek ark aşınması direncine de bağlıdır [6, 9].

Güler [10] yaptığı çalışmada çeşitli oksitleri, farklı oranlarda, içeren bakır tozları 5 saat süreyle planeter bilyeli değirmende öğütülmek suretiyle mekanik olarak alaşımlandırmıştır. Mekanik alaşımlanan toz karışımlarını %1, %2, %4 ve %6 oranlarında ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ihtiva edecek biçimde hazırlanmıştır. Alaşımlama işleminden sonra bu tozlar preslenmiş ve vakum altında 800 °C’de sentezlenmiştir. Yoğunluğu arttırmak için bu numuneler 650 °C’ de % 75 oranında dövülmüştür. En iyi iletkenliği belirlemek için bu numuneler üzerinde elektrik iletkenliği deneyleri yapılmıştır. Sonuçta, en iyi iletkenlik değerini % 4 oksit takviyeli numunelerin sergilediğini belirlemiş ve daha sonra bu numunelerin kontak performansını tespit etmek için 3000, 6000 ve 9000 çevrim sayısında açma – kapama deneyi uygulamıştır. Sonuç olarak hem en iyi iletkenliği hem de en iyi kontak performansını sırasıyla %4 ZnO, %4 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %4 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> takviyeli bakır kontaklardan elde etmiştir. Altınsoy [11] yaptığı çalışmada toz metalürjisi yöntemiyle üretilen Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kompozitlerinin mikroyapı, mekanik ve elektriksel özelliklerine matris tane boyutu, takviye miktarı ve sinterleme sıcaklığının etkisini incelemiştir. Bu doğrultuda iki farklı partikül boyutunda (10µm ve 40µm) Cu tozuna değişik oranlarda (ağ. %1, 3, 5 ve 7) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> partikülleri (0.3µm toz boyutunda) takviye edilmiş bakır tozları hazırlayarak, 200 MPa basınçla presleme yaparak, kompozit kompaktları sırasıyla 875, 925 ve 975°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta 2 saat grafit tozuna gömülü halde sinterlemiştir. Sinterleme sonrası numuneleri yoğunluklarını arttırmak için 700 MPa yük uygulayarak sıcak olarak dövmüştür. Takviye miktarının artışıyla tüm sinterleme sıcaklıklarında kompozitlerin elektriksel iletkenlikleri azalırken sertliklerinin arttığını tespit etmiştir. Bakır (Cu) yüksek iletkenliği sayesinde elektrik kontak malzemesi olarak

kullanılmaya uygundur. Fakat mekanik özelliklerinin; özellikle de sertliğinin düşük olması kullanım alanlarını sınırlamaktadır. Bu durum elektrik kontak endüstrisinde kullanılacak Cu için uygulama alanına göre katı eriyik veya oksit mukavemetlendirmesi işlemlerini zorunlu kılmaktadır [6, 10]. Bakan, toz metalürjisi tekniği ile üretilen Cu - %25 Cr kontak malzemesinin sinterleme davranışlarını incelemiştir. Ağırlıkça %74.5 Cu, %25 Cr ve %0.5 Ni içeren toz karışımı kullanarak sinterleme işlemi gerçekleştirmiştir. Sinterlenmiş numunelerde, teorik yoğunluğun %98'i değerinde sinter yoğunluğu ile birlikte %39 IACS elektrik iletkenliği değeri elde edilmiştir [12]. Gür vd. %3 Ni takviyeli CuSn (85/15) Bronz alaşımının elektrik iletkenliğine sinterleme sıcaklığı ve sinterleme basıncının etkisini incelemiştir. Üretilen Cu/Sn/Ni kompozit numuneleri mikroyapı incelemeleri için hazırlayıp SEM ve EDS analizleri yaparak, numunelerden makrosertlik alınmıştır. Son olarak ise numunelerin elektrik iletkenlik değerleri öziletkenlik ve %IACS değerleri ölçülmüştür [13]. Lopez vd., Cu esaslı kompozitler üreterek bu kompozitlerin iletkenlik değerlerini %31.4 IACS (Uluslararası Tavlı Bakır Standardı, %100 IACS = 58 MS / m) olarak belirlemiştir [14]. Wieser vd. Cu-Sn lehim sisteminde saf Cu, %1 Ni ve %3 Ni substrat malzemeleri kullanarak farklı tavlama sıcaklıklarında intermetalik fazların oluşumunu belirlemiştir [15].

Bu çalışmada Cu/Sn Bronz alaşımına Ni ilave edilerek farklı sıcaklık ve basınçta sıcak presleme yöntemiyle yeni matris malzemeler üretilmiştir. Cu esaslı metaller iyi elektrik özellikleri, ucuz olmaları ve üretim kolaylıklarından dolayı elektrik kontak malzemesi olarak tercih edilirler. Elektrik kontaklarında gerçekleşen "aç-kapa" işlemleri ve ortaya çıkan arklar, pekleşme etkisi ve yeniden kristalleşme özelliklerini meydana getirmektedir. Bu amaçla üretilen numunelere pekleşme ve yeniden kristalleşme ısıl işlemleri uygulanmıştır ve ısıl işlemlerin üretilen malzemelere ait mikroyapı, sertlik ve elektriksel iletkenlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, 85/15 Bronz (Cu/Sn) alaşımına %3 oranında Ni katılarak yeni bir matris malzeme üretilmiştir. Numune üretimi literatür çalışmaları doğrultusunda 20 ve 30 MPa sinterleme basıncı, 700 ve 800°C sinterleme sıcaklığı ve 15 dakika sinterleme süresi ile sıcak presleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Numunelerin üretim parametreleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Numune üretiminde kullanılan metal tozların tane boyutları ise Tablo 2'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Numune üretim Parametreleri

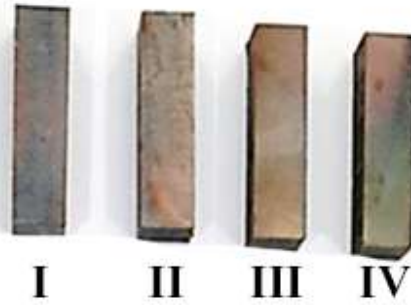
Grup No	Sinterleme Basıncı (MPa)	Sinterleme Sıcaklığı (°C)	Sinterleme Süresi (dk)	Bronz (%)	Nikel (%)
A-I	20	700	15	97	3
A-II		800			
A-III	30	700			
A-IV		800			

**Tablo 2.** Numune üretiminde kullanılan metal tozlarının tane büyüklükleri  
Numune üretiminde kullanılan metal tozlarının tane büyüklükleri (µm)

Bronz (85/15) (Cu/Sn)	Nikel (Ni)
70 µm	5 µm

Numune üretimi için Cu/Sn alaşımına %3 Ni ilave edilerek homojen bir karışım elde etmek amacıyla turbula mikser kullanılmıştır. Karıştırıcı kapaklı toz hazneli ve 3 boyutlu dönebilen karıştırma mikserinden oluşmaktadır. Cu/Sn alaşımına ilave edilecek tozların sıcak presleme öncesi belirli bir boyutta, mevcut profil yapısını koruyarak çalışılabilmesi için karışıma %1 oranında Polietilen Glikol bağlayıcısı ilave edilmiştir. Hazırlanan metal tozları karıştırıcıda 20 dakika süreyle karıştırılmıştır. Homojen bir yapı elde edebilmek için karıştırma kovanına değişik çaplarda karışımının %20'si oranında

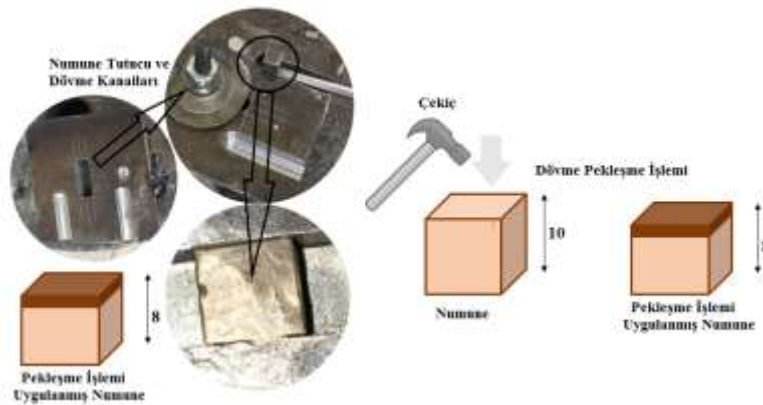
demir bilye ve zincir bırakılmıştır. Karıştırma işlemi gerçekleştirilen tozlar ön preslemesi yapıldıktan sonra, üretilecek numunelerin boyutlarına göre hazırlanmış grafit kalıplar içerisinde alınarak sinterlemeye hazır hale getirilmiştir. Sinterleme işleminin daha sağlıklı olabilmesi için grafit kalıp, yağlayıcı ile yağlanmıştır. Numune üretimi sıcak presleme makinesinin basınçlı hidrolik ünitesi vasıtasıyla sağlanmaktadır. Sıcak pres makinesi; bakır elektrod, grafit elektrod, sıcak pres kalıbı, hidrolik silindir ve tutucu tabladan oluşmaktadır ve koruyucu gaz atmosferinde sinterleme işlemi yapılabilmektedir. Sıcak pres makinesi su soğutmalı olup, bakır elektrotlar sayesinde sürekli çalışabilme özelliğine sahiptir. Sıcak presleme, ısı ve basıncın aynı anda uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Isı ve basıncın aynı anda uygulanması ile tüm boşlukların tamamı veya tamamına yakını giderilir. Tüm partiküller arasında oluşacak üniform bir akış ile bağ kuvvetlenmiş olur. İşlemin sonunda Şekil 1’de görülen 10x10x40 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir.



Şekil 1. Üretilen numuneler

Üretim aşaması tamamlanan numunelerin yüzeyleri metalografik incelemeler için hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin mikro yapılarını incelemek amacı ile SEM görüntüleri alınmış ve üretilen numunelerdeki element miktarının tespiti için EDS analizi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sertlik ölçümleri “Emcotest Dura Scan” marka makro sertlik cihazıyla 62,5 kg yük ve 2,5 mm çapında bilye ile Brinell (HB) cinsinden gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümleri için her bir numunenin bir yüzeyinden 5 tane brinell sertlik alınarak bu sertliklerin ortalama değerleri kullanılmıştır.

Pekleşme veya soğuk deformasyon sertleştirme bir metal güçlendirilmesi yöntemidir. Bu işlem dislokasyon hareketleri nedeniyle malzemenin kristal yapısı içinde oluşur. Bu şekilde sertleştirme, metaller ve alaşımlar gibi birçok malzemelere uygulanabilir. Pekleşme işlemi için numuneler 10x10x10 mm boyutlarında hazırlanıp dövülmüştür. Dövme işlemi 10 kg çekiç kullanılarak %20 oranında şekil değiştirme sağlanacak şekilde gerçekleştirilmiş ve numune boyutları 10 mm’den 8 mm’ye indirilmiştir. Şekil 2’de pekleşme deneyinin şematik yapılışı görülmektedir.



Şekil 2. Pekleşme işlemi şematik görüntüsü

Pekleşme ile sertleştirilmiş malzemelerin veya plastik deformasyon güçlendirilmesi yapılmış malzemelerin dislokasyon hareketinin zorlaşması, metallerin, özellikle demir dışı metallerin sertlik ve mukavemetinin artmasına neden olur. Dolayısıyla dislokasyon sıkışması elektron hareketinin zorlaşması da alaşımlarda elektriksel iletkenliğin azalmasına neden olur. Bu olumsuzluğun giderilmesi için bu tip malzemelerin içyapılarının yeniden düzenlenerek mevcut özelliklerinin iyileştirilmesi gerekir. Bunun için soğuk deforme edilen malzemelere yeniden kristalleşme sıcaklığının ( $T_c/3$ ) üzerinde bir sıcaklık aralığında tavlama işlemi uygulanır [16]. Şekil 3'te yeniden kristalleşme tavı işleminde kullanılan, atmosfer korumalı fırın görülmektedir. Yeniden kristalleşme deneyi Cu/Sn alaşımının ergime derecesi olan  $T_c/3$  değerinde 5 saat süre bekletilerek yapılmıştır. Cu/Sn alaşımının ergime derecesi faz diyagramı vasıtasıyla yaklaşık  $880\text{ }^\circ\text{C}$  civarında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla yeniden kristalleşme sıcaklığı olarak  $300\text{ }^\circ\text{C}$  belirlenmiştir.



Şekil 3. Pekleşme sonrası yeniden kristalleşme işlemi

Cu/Sn alaşımlarına %3 oranında Ni katılarak üretilen yeni matris malzemelerin, pekleştirme işlemi gerçekleştirilen numunelerin ve yeniden kristalleşme tavı uygulanan numunelerin elektriksel iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Doğru akım kullanılarak yapılan iletkenlik ölçümlerinde “Keithley 4200-SCS Semiconductor Characterization” markalı ölçüm cihazı kullanılmıştır. Numunelerin oda sıcaklığındaki direnç değerleri ölçülmüş ve birinci denklem yardımıyla öziletkenlik değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca numunelerin % IACS (International Annealed Copper Standard) değerleri de hesaplanmıştır. % IACS değeri, tam yoğun tavllanmış saf bakırın öziletkenliğinin %100 kabul edilmesi ile yapılan iletkenlik ölçüm standardı olup  $\%100\text{IACS}=58\text{ MegaSiemens/metre (MS/m)}$ 'dir. Dolayısı ile numunelerin %IACS değerleri; eşitlik (2) yardımı ile hesaplanmıştır [6].

Öziletkenlik değeri  $\sigma$  ( $\text{m}/\Omega \times \text{mm}^2$ ), (1) eşitliği kullanılarak şu şekilde hesaplanabilir:

$$\sigma = \frac{L}{RA} \Rightarrow L = d, R = \frac{V}{I}, A = \pi r^2 \quad (1)$$

$$\sigma = \left(\frac{I}{V}\right) \cdot \left(\frac{d}{\pi r^2}\right)$$

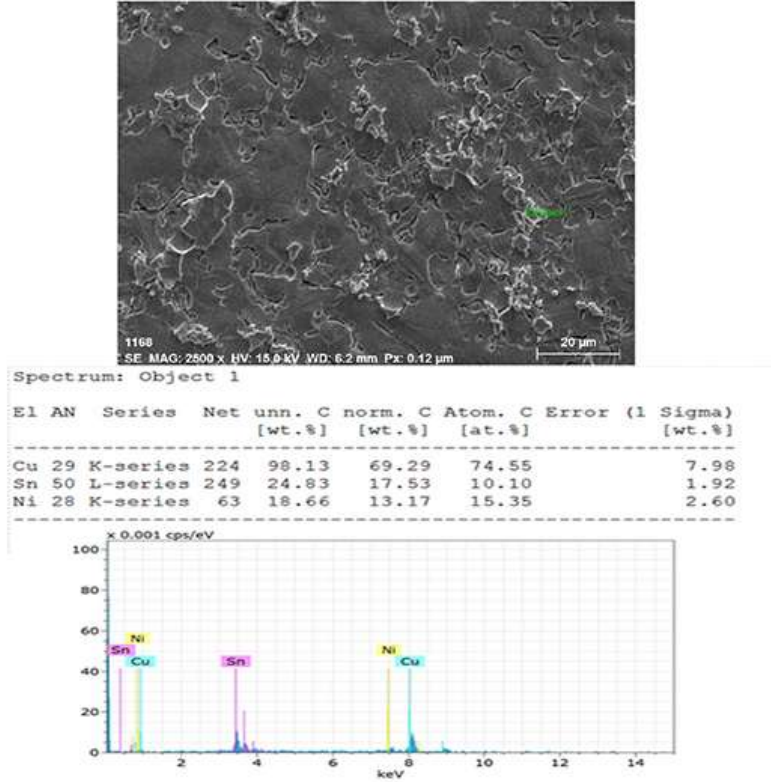
Burada  $d$  iki probe arası mesafeyi,  $A$  alanı ve  $r$  ise probun yarıçapını göstermektedir.  $R$  direnç değerini,  $V$  gerilim değerini ve  $I$  ise akım değerini göstermektedir. Yapılan deneylerde  $d$  ve  $r$  parametreleri sırasıyla  $0,4\text{cm}$  ve  $0,5\text{mm}$  olarak işleme alınmıştır.

%IACS değeri eşitlik (2) kullanılarak şu şekilde ifade edilir:

$$\% \text{IACS} = \frac{\text{Öziletkenlik} \left( \frac{\text{m}}{\Omega \times \text{mm}^2} \right) \times 100}{58} \quad (2)$$

### 3. Bulgular ve Tartışma

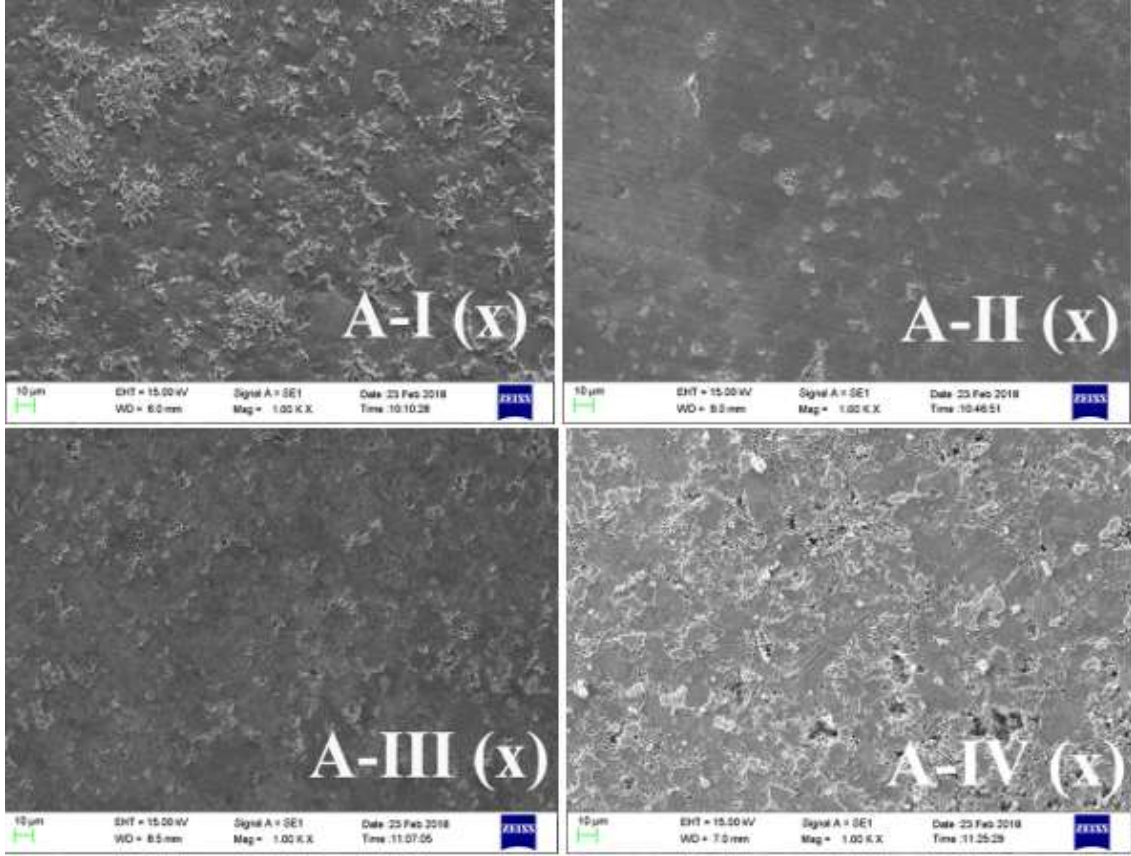
A-I numunesine yapılan EDS analizi Şekil 4'te verilmiştir, Cu/Sn alaşımına %3 Ni ilave edilerek üretilen numunelerin mikroyapıları ise Şekil 5'te verilmiştir. Bu numunelerin resimleri "x" indisiyle gösterilmiştir. Aynı zamanda I ve II nolu numuneler 20 MPa basınçta preslenmiş, III ve IV nolu numuneler ise 30 MPa basınçta preslenmiştir. Aynı şekilde I ve III nolu numuneler 700 °C'de, II ve IV nolu numuneler ise 800 °C'de sinterlenmiştir.



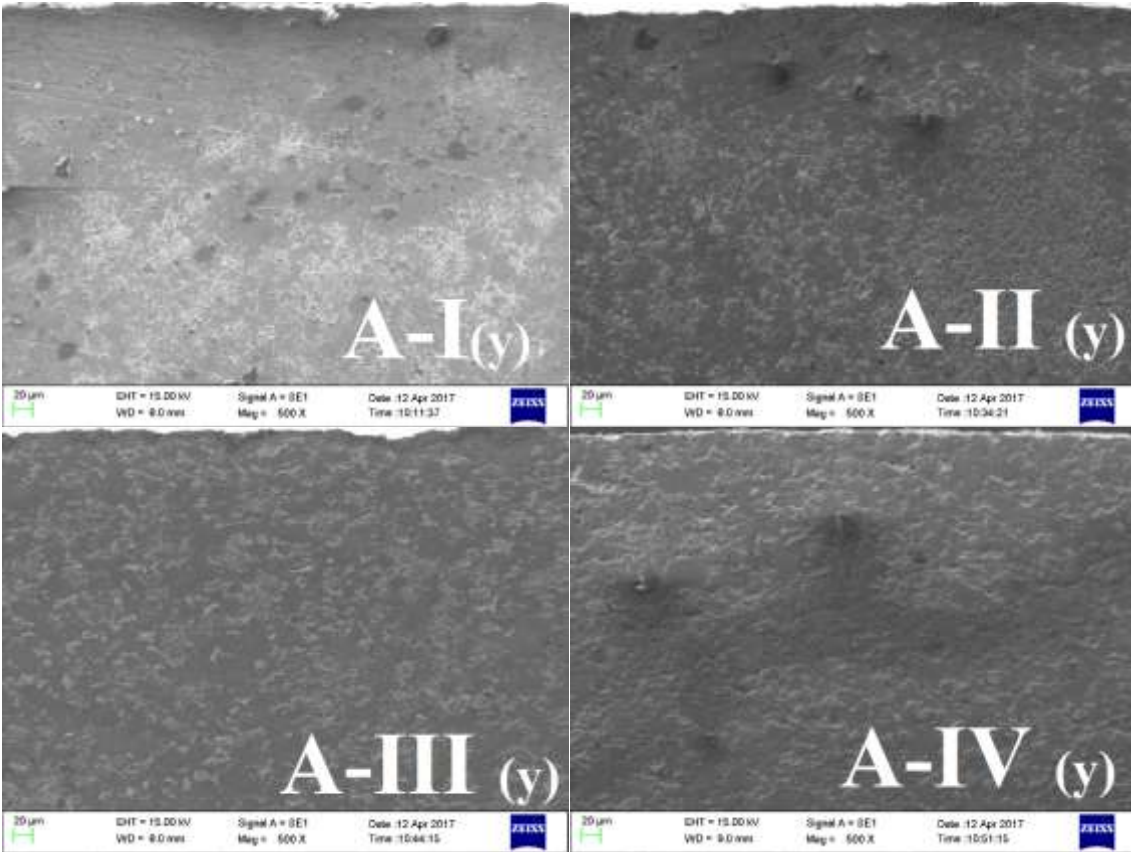
Şekil 4. A-I (x) numunesinin EDS analizi

Mikroyapılar incelendiğinde bütün numunelerde üretim parametrelerine uygun şekilde yapılar oluştuğu tespit edilmiştir. Basınç ve sıcaklığın artmasıyla daha homojen bir dağılım gözlemlenmiştir. Tane yapısı daha belirginleşmiştir. Üretim parametrelerimizin 20 MPa ve 30 MPa olduğu düşünülerek ve sinterleme yani sıcak preslemede uygulanan sıcaklık değerleri olan 700°C ve 800°C gibi sıcaklıkların da Cu/Sn alaşımının ergime derecesinin altında olmasından dolayı bu ikizlenme çizgilerinin oluştuğu görülmüştür. EDS analiz sonucu incelendiğinde alaşım elementleri Cu, Sn ve ilave element olan Ni dışında elemente rastlanmamıştır.

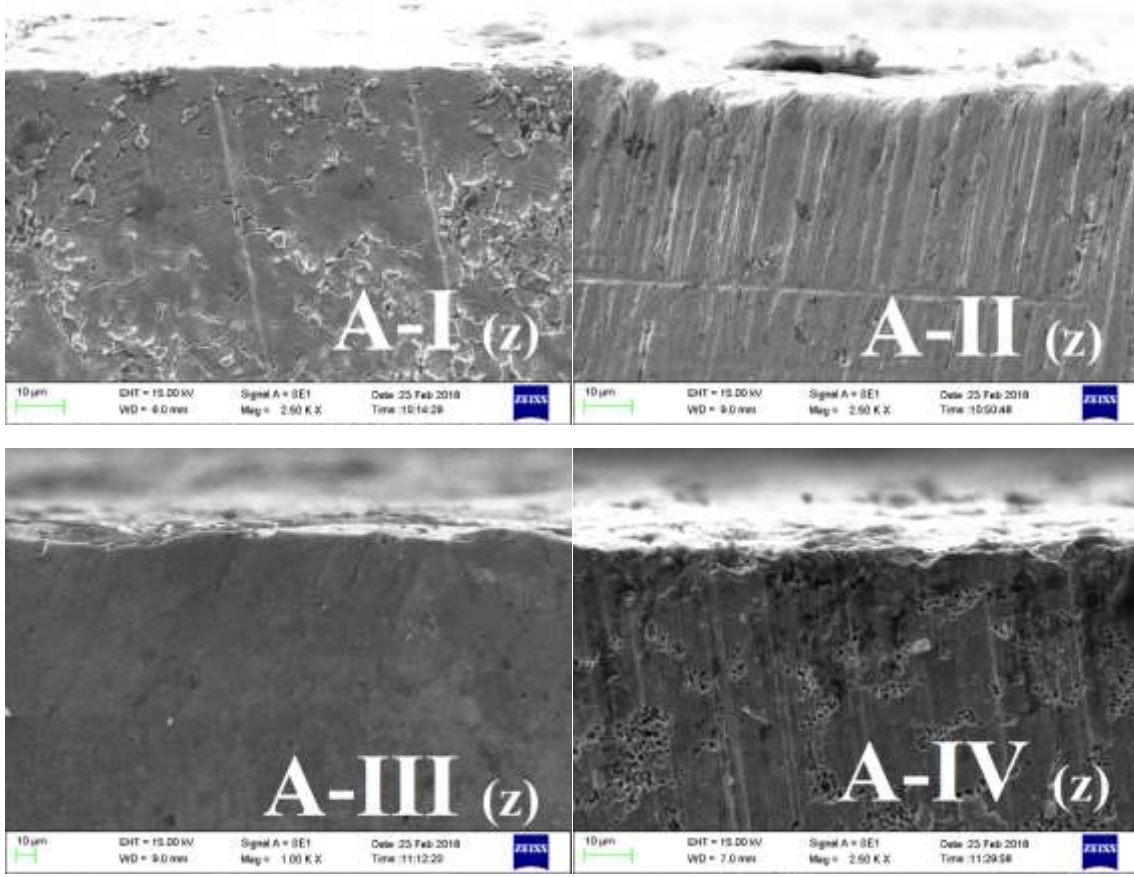
Cu/Sn alaşımına %3 Ni ilave edilerek üretilen numunelerin %20 küçülme şeklinde ki pekleşme sonrası mikroyapıları Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu numunelerin resimleri "y" indisiyle gösterilmiştir. Mikroyapılar incelendiğinde pekleşme uygulanan yüzeyde ve numune merkezinde herhangi bir çatlak görülmektedir. Kompozit malzemede sadece partiküller arasında çok ince bir çizgide difüzyonla bağlanmış yapılar mevcuttur. Yani alaşım gibi üretiminin herhangi bir aşamasında; alaşımı oluşturan metallere en az birisinin sıvı faza geçmiş olması ilkesi sıcak presleme veya toz metalürjisi imalat üretim teknolojilerinde mevcut değildir. Dolayısıyla; yani pekleşme sırasında uygulanan darbelerle Cu/Sn alaşımı ve Ni takviye elementlerinin kompozit içinde oluşturdukları bağ yapısında bir değişime sebep olması beklenmektedir. Resimler, numunelerin özellikle pekleşme uygulanan yüzeyinin olduğu yönden alınmaya özen gösterilmiştir. Bütün resimlerin üst yönü pekleşme yüzeyidir. Tüm numunelerin aynı metalografik incelemeye tabi tutulduğu düşünülürse, numunelerin pekleşen yönünde renk değişimi rahatlıkla görülmektedir. Pekleşme bir tabaka şeklinde oluşmuş numune boyunca devam etmemiştir. Pекleşme bölgesinde taneler daha sıkışmış ve dövme yönüne dik doğrultuda tanelerde yönelme olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Isıl işlem öncesi numunelerin mikro yapıları

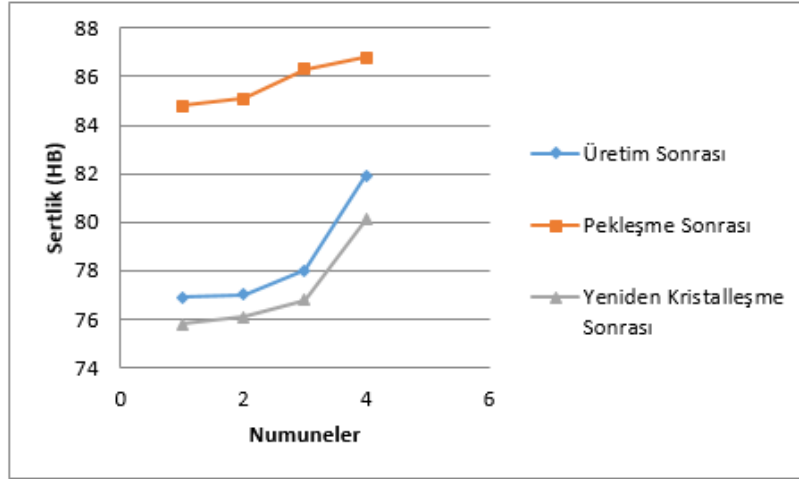


Şekil 6. Numunelerin pekleşme sonrası mikro yapıları



Şekil 7. Numunelerin yeniden kristalleşme sonrası mikro yapıları

Cu/Sn alaşımına %3 Ni ilave edilerek üretilen numunelerin yeniden kristalleşme sonrası mikroyapıları Şekil 7’de gösterilmiştir. Bu numunelerin resimleri “z” indisiyle gösterilmiştir. Resimler numunelerin özellikle pekleşme uygulanan yüzeyinin olduğu yönden alınmaya özen gösterilmiştir. Pekleşme sonrasında yeniden kristalleşmenin yeniden meydana gelebilmesi için en az %2-8’ den daha yüksek oranda plastik deformasyona maruz kalması gerekir. Dolayısıyla bizim çalışmamızda da, Cu/Sn bronz alaşımı için %20 oranındaki plastik deformasyon sonrası yeniden kristalleşmenin başlaması beklenen bir durumdur. Yeniden kristalleşme için gerekli enerji büyük ölçüde deformasyon oranına bağlıdır. Yeniden kristalleşme sıcaklığı değil, sıcaklık aralığını ifade eder. Yeniden kristalleşme sıcaklığı ergime sıcaklığının 1/3’ü kadar olacak şekilde hesaplanır. Yeniden kristalleşmeden sonra pekleşme sonrası yapıda oluşan artık gerilmeler büyük ölçüde giderilir. Dolayısıyla deformasyon sertleşmesi azalır. Bu durum dislokasyon sayısının azalmasından kaynaklanır. Dislokasyonların düzelmesinden dolayı elektron hareketi kolaylaşarak alaşım halindeki malzemenin elektrik iletkenliği normale döner. Artık gerilmeler kalkar ve dolayısıyla gerilmelerden kaynaklanan çarpılmalar en aza iner [16]. Yeniden kristalleşme sonucu oluşan taneler, alaşımların üretimi esnasındaki ilk tane yapısına döner. Ancak bu durum kompozit malzemede değerlendirilirken mikro büyüklükteki partiküller arasında oluşan difüzyon noktaları için değerlendirilebilir. Çünkü bizim çalışmamızdaki numuneler alaşım değil kompozittir. Her ne kadar yoğunluk dereceleri alaşım hali kadar iyi olmuş olsa da taneler arası bağ yapısı için aynı durum söz konusu değildir ve olamaz. Yeniden kristalleşme sonrasında, pekleşmeden kaynaklanan partikül-tane yönelmeleri üzerindeki artık gerilmeler kalkmış ve tanelerdeki bu eş yönelmiş yapılar toparlanarak eski hallerine dönmeye çalışmışlardır. Mikroyapı fotoğraflarına bakıldığında (Şekil 7) pekleşme etkisinin kalktığı ve tekrar tane yapılarının oluştuğu görülmektedir.

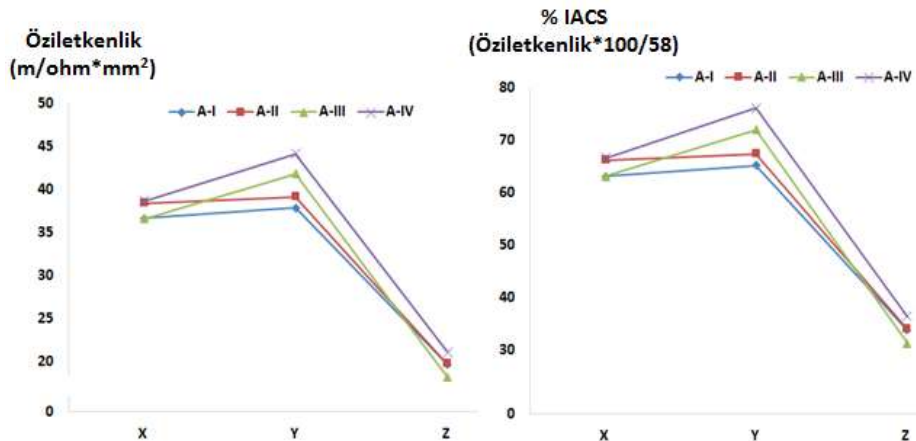


Şekil 8. Numunelerin sertlik değerleri

Tablo 3. Numunelerin Brinel Sertlik Sonuçları

Gruplar	Üretim Sonrası (HB)	Pekleşme Sonrası (HB)	Yeniden Kristalleşme Sonrası (HB)
A-I	76,9	84,8	75,8
A-II	77,0	85,1	76,1
A-III	78,0	86,3	76,8
A-IV	81,9	86,8	80,1

Numunelerin sertlik değerleri brinel sertlik ölçme metoduyla alınmıştır. Bu amaçla, öncelikle numuneleri ürettikten sonra sertlikler ölçülmüş, ardından pekleşme işleminden sonra numunelerin sertliği pekleşen yüzeyden ölçülmüş ve en son da yeniden kristalleşme tavı uygulanmış numunelerin sertliği pekleştirilen yüzeyinden olacak şekilde ölçülmüştür. Cu/Sn alaşımına %3 Ni ilave edilerek üretilen numunelerin sertlik ölçüm sonuçları birbiriyle kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Şekil 8 ve Tablo 3'te numunelerin sertlik grafiği ve sertlik değerleri görülmektedir. Tablo 3 ve Şekil 8'den görüldüğü üzere, sıcaklık ve presleme basıncı arttıkça malzemedeki sertlik değeri de artmaktadır. Aynı şekilde pekleşme de aynı doğrultuda sertliğin artmasına sebep olmaktadır. Pekleşme sonrasında malzemedeki yoğunluğun artmasından dolayı sertlik değerleri artış göstermektedir. Pekleşmeden sonra numunelerde artık gerilmeler oluşur. Dolayısıyla deformasyon sertleşmesi olur. Bu durumun kompoziti oluşturan toz partikülleri arasında kalan boşlukların sayısının azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu çalışmada ki numuneler değerlendirilirken mikro büyüklükteki partiküller arasında oluşan difüzyon noktaları için değerlendirilebilir. Grafik incelendiğinde sertliklerin pekleşme işlemi sonrasında arttığı görülmektedir. Yeniden kristalleşme sonucu ise artık gerilmeler kalkar ve dolayısıyla gerilmelerden kaynaklanan çarpılmalar en aza iner, sertlik değerleri de eski haline yakın değerlere döner. Bu durum Şekil 8'de açıkça görülmektedir.



Şekil 9. Numunelerin iletkenlik ve % IACS sonuçları



**Tablo 4.** Numunelerin iletkenlik ve % IACS değerleri

Numune	Üretim Sonrası		Pekleşme Sonrası		Yeniden Kristalleşme Sonrası	
	Öziletkenlik (m/ohm*mm <sup>2</sup> )	%IACS	Öziletkenlik (m/ohm*mm <sup>2</sup> )	%IACS	Öziletkenlik (m/ohm*mm <sup>2</sup> )	%IACS
A-I	36,5573	63,0299	37,7800	65,1378	19,6395	33,8611
A-II	38,3378	66,0996	39,0556	67,3372	19,7297	34,0166
A-III	36,5468	63,0117	41,7345	71,9559	18,1758	31,3375
A-IV	38,5664	66,4938	44,1013	76,0368	21,1096	36,3957

Üretim sonrası test edilen iletkenlik sonuçlarında; Cu/Sn alaşımına Ni ilave edilmesiyle referans malzeme Cu elementine göre iletkenliklerde bir düşüş meydana gelmiştir. Üretilen malzemenin Cu/Sn alaşımını ve kompozit özellikte olması ve Ni de iletkenlik özelliklerinin düşük olması kompozit malzeme bünyesindeki elektron hareketlerine ve dislokasyon hareketlerinin kısık olmasının neden olur [6]. Bu durum Altınsoy [11]'un çalışması ile de uyusmaktadır.

Pekleşme sonrası test edilen iletkenlik sonuçlarında ise iletkenlik değerlerinde artış görülmüştür. Normal şartlarda oda sıcaklığında Cu veya Cu alaşım iletkenlik değerleri ölçülmüş olsa bu durumun aksine düşüş beklenirdi. Çünkü iletkenlik pekleşme sonrası yapıdaki difüzyon hareketini kısıtlamakta ve dolayısıyla iletkenliğin de düşmesine sebep olmaktadır. Ancak üretilen numuneler toz metalürjisi ile üretilen kompozit malzeme olduğu için alaşım özellikleri göstermezler. Numunelere uygulanan pekleşme (soğuk deformasyon) işlemi sonrasında mikro boyutta toz partikülleri arasındaki boşlukların azaldığı ve yoğunluğun daha da arttığı düşünülmektedir. Bu sebepten iletkenlik değerlerinde artış görülmektedir.

Yeniden kristalleşme sonrası ölçülen iletkenlik ölçüm sonuçlarında ise iletkenliklerin ilk değerlerine yaklaşması beklenirken daha da düşüş görülmüştür. Bu durumun, soğuk deformasyon sonrasında numunelerin dövme bölgelerinde oluşan dislokasyon yoğunluğunun, yeniden kristalleşme sonrasında toparlanmasıyla, partiküller arasında difüzyon ve tane oluşumu sonrasında boşlukların artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü yapıdaki süreksizlikler (boşluk, çatlak ve artık gerilme gibi) mevcut konumlarını kaybetmeleri sonucunda partiküller arası boşlukların büyümesine sebep olur.

İletkenlik IACS grafikleri incelendiğinde (Şekil 9) bütün numunelerde aynı mekanizmayı gösteren eğrilerin çıkması düşüncelerimizi desteklemektedir. İletkenlik test referans numunesi Cu elementinin iletkenlik değeri 52 MS/m iken; ürettiğimiz numunelerin iletkenliklerinin hiçbiri bu değere ulaşamamıştır. En yüksek iletkenlik değeri A-IV numunesinde üretim sonrasında 38,5664 MS/m olarak ölçülmüştür. A-IV numunesinin IACS değeri ise %66,4938 hesaplanmıştır. Şekil 9 ve Tablo 4'te iletkenlik ve %IACS değerlerine ait grafik ve sonuçlar verilmiştir. %IACS değeri, tam yoğun tavllanmış saf bakırın öz iletkenliğinin %100 kabul edilmesi ile yapılan iletkenlik ölçüm standardı olup %100 IACS = 58 MegaSiemens/metre' dir [14].

Şekil 9'dan anlaşılacağı üzere en yüksek IACS değeri pekleşme sonrası elde edilen yapılara aittir. Yeniden kristalleşme sonrası bu değerler düşmektedir. Bakır esaslı alaşımların yüksek sıcaklıklardaki iletkenlik uygulamaları için istenilen en az iletkenlik değerinin %50 IACS olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla çalışmadaki numuneler iletkenlik açısından değerlendirildiğinde ürettiğimiz Ni takviyeli Cu/Sn alaşımının elektrik yükleri altında çalıştığında kontak malzemesi olarak kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Soğuk deformasyon sonrası numunelerin öziletkenlik değerleri ve %IACS değerlerinin arttığı grafiklerde görülmektedir. Numunelere ait ölçülen %IACS değerinin tamamı standart olarak kabul edilen %50 IACS değerinin üzerinde çıkmıştır. Yeniden kristalleşme sonrasında ise numunelerin öziletkenlik değerleri ve %IACS değerlerinin düştüğü grafiklerde görülmektedir. Numunelere ait ölçülen %IACS değerinin tamamı standart olarak kabul edilen %50 IACS değerinin altında çıkmıştır. Elektrik devresinde ki şalterlerin her aç kapa işlemi sonrasında, çenelerin vuruş ve sonrasında oluşacak ark ile ortaya çıkacak ısının yapıyı bozabileceği aşikârdır. Ancak iletkenlik olayının şalter kapalıyken yani çekiç vurması sonrası olduğu düşünülürse de bu defa iletkenlik açısından oldukça iyi sayılabilecek değerler ölçülmüştür [6].

#### 4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada sıcak presleme yöntemi ile Cu/Sn alaşımına %3 Ni ilave edilerek; 20 ve 30 MPa sinterleme basıncı, 700 ve 800°C sinterleme sıcaklığı ve 15 dakika sinterleme süresinde yeni numuneler üretilmiştir.

Üretilen numunelerin SEM fotoğrafları incelendiğinde, üretim parametrelerine uygun şekilde yapılar oluştuğu tespit edilmiştir. Basınç ve sıcaklığın artmasıyla daha homojen bir dağılım gözlemlenmiş ve tane yapıları daha belirginleşmiştir. Pekleşme deneyi sonrası mikroyapılarda, pekleşme bir tabaka şeklinde oluşmuş ve numune boyunca devam etmemiştir. Pekleşme bölgesinde taneler daha sıkışmış ve dövme yönüne dik doğrultuda tanelerde yönlenme olduğu görülmüştür. Yeniden kristalleşme sonrası mikroyapılarda, pekleşmeden kaynaklanan partikül - tane yönlenmeleri üzerindeki artık gerilmelerin kalktığı düşünülerek tanelerdeki eş yönlenmiş yapılar toparlanıp eski hallerine dönmeye çalışılmışlardır.

Sertlik sonuçları incelendiğinde; sıcaklık ve presleme basıncı arttıkça malzemedeki sertlik değerleri artmıştır. Pekleşme deneyi sonrasında da malzemedeki yoğunluğun artmasından dolayı sertlik değerleri artış göstermiştir. Yeniden kristalleşme sonucu ise artık gerilmelerin kalktığı düşünülerek gerilmelerden kaynaklanan çarpılmalar en aza inmiştir böylece sertlik değerleri de üretim sonrası sonuçlara yakın değerlere dönmüştür.

Üretim sonrası test edilen iletkenlik sonuçlarında; Cu/Sn alaşımına Ni ilave edilmesiyle referans malzeme Cu elementine göre iletkenliklerde bir düşüş meydana gelmiştir. Numunelere uygulanan pekleşme deneyi sonrasında iletkenlik değerlerinde artış görülmüştür, yeniden kristalleşme sonrası iletkenlik ölçüm sonuçları iletkenliklerin ilk değerlerine yaklaşması beklenirken düşüş göstermiştir.

Çalışmadaki numuneler iletkenlik açısından değerlendirildiğinde ürettiğimiz Ni takviyeli Cu/Sn alaşımının elektrik yükleri altında çalıştığında kontak malzemesi olarak kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir. Uygulanan ısı işlemler açısından bakıldığında da pekleşme sonrası numunelerin kontak malzemesi olarak kullanılması uygundur.

#### Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri TEF.17.01 nolu proje tarafından desteklenmiştir.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar bu makalenin yazılmasında eşit katkı sağlamışlardır.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- [1] “Wire manufacturing and free sintering with NEXTR®.” [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/292870049\\_Wire\\_manufacturing\\_and\\_free\\_sintering\\_with\\_NEXTR](https://www.researchgate.net/publication/292870049_Wire_manufacturing_and_free_sintering_with_NEXTR). (Access date: 08.07.2020).
- [2] “Hot Consolidation of Powders & Particulates.” [Online]. Available: [https://www.techstreet.com/standards/hot-consolidation-of-powders-particulates?product\\_id=1910910](https://www.techstreet.com/standards/hot-consolidation-of-powders-particulates?product_id=1910910). (Access date: 08.07.2020).
- [3] Zeng W., Xie J., Zhou D., Fu Z., Zhang D., Lavernia E.J. 2018. Bulk Cu-NbC nanocomposites with high strength and high electrical conductivity. J. Alloys Compd., 745: 55-62.

- [4] Ghosh G., Miyake J., Fine M.E. 1997. The systems-based design of high-strength, high-conductivity alloys. *JOM, Minerals, Metals and Materials Society*, 49 (3): 56-60.
- [5] "On the Influence of Temperature on the Electric Conducting-Power of Alloys," 1863. [Online]. Available: <https://www.amazon.com/Influence-Temperature-Conducting-Power-Philosophical-Transactions/dp/B01AGVP336>. (Access date: 08.07.2020).
- [6] Gök M.G. 2010. B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Katkılı Kontak Malzemesi Üretimi ve Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [7] Bostan B. 2003. Alüminyum-Karbon Tozlarından Mekanik Alaşımlama ve Sonrası İşlemlerle Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> Sentezlenmesi. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [8] Suryanarayana C. 2001. Mechanical alloying and milling. *Progress in Materials Science*, 46 (1-2): 1-184.
- [9] Güler Ö., Evin E. 2009. The investigation of contact performance of oxide reinforced copper composite via mechanical alloying. *J. Mater. Process. Technol.*, 209 (3): 1286-1290.
- [10] Güler Ö. 2006. Oksit Takviyeli Bakır Kompozitin Mekanik Alaşımlama Yöntemi ile Üretilmesi ve Elektriksel Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [11] Altınsoy İ. 2009. Alümina Takviyeli Bakır Kompozitlerin Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [12] Bakan H.İ. 1999. Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Cu-%25 Cr Elektrik Kontak Malzemesinin Sinterleme Davranışlarının İncelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [13] Gür A.K., Yıldız T., Bozkurt N. 2019. 85/15 Bronz Kompozitinde Ni İlavesinin Üretim Parametrelerinde Elektriksel İletkenliğe Etkisi. *DÜMF Mühendislik Derg.*, 10 (3): 981-988.
- [14] López M., Corredor D., Camurri C., Vergara V., Jiménez J. 2005. Performance and characterization of dispersion strengthened Cu-TiB<sub>2</sub> composite for electrical use. *Mater. Charact.*, 55 (4-5): 252-262.
- [15] Wieser C., Hügel W., Martin S., Freudenberger J., Leineweber A. 2020. Stabilization of the  $\zeta$ -Cu<sub>10</sub>Sn<sub>3</sub> Phase by Ni at Soldering-Relevant Temperatures. *J. Electron. Mater.*, 49 (6): 3609-3623.
- [16] Callister W.D. 2003. *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği (Materials Science and Engineering)*. John Wiley & Sons, Inc.

---

*Derleme Makalesi / Review Article*

---

## **Antropojenik Faaliyetler Nedeniyle Değişen Çevrenin Yarasalar Üzerine Etkileri**

Atilla ARSLAN<sup>1\*</sup> Mesut BAŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Selçuk Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Konya, Türkiye

<sup>2</sup>Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye

(ORCID: 0000-0002-4766-4969), (ORCID: 0000-0001-5380-3366)

---

### **Öz**

Ekosistemin en önemli dinamiklerinden olan yarasalar, birçok bulaşıcı hastalığın kaynağını oluşturan ve ayrıca tarım için zararlı etkileri olan böcek popülasyonunun kontrolünü sağlar. Günümüzde küresel ekosistemin insanlar tarafından değiştirilmesi nedeniyle birçok bilim adamının hemfikir olduğu yeni bir jeolojik çağın -Antroposen Çağı- başlangıcı tetiklenmektedir. Birçok canlı antropojenik faaliyetleri tolere edip insanların içinde buldukları habitatlarda hayatlarını sürdürmeye devam ederken, canlıların büyük çoğunluğu da dramatik bir şekilde popülasyonlarında düşüş yaşamaktadır. Tüm bu olanların sonucunda da gezegenimiz altıncı büyük yokoluşa doğru itilmektedir. Yarasalar, yaşam döngüleri, beslenme şekilleri, habitatları, düşük üreme hızı ve yüksek metabolik hızları nedeniyle antropojenik değişikliklere özellikle açıktırlar. Yarasaların %16'sının IUCN tarafından Kritik Olarak Tehlikeli, Nesli Tehlikede ve Hassas konumda oldukları belirtilmiştir. Bu çalışmada antropojenik faaliyetlerin yarasalar üzerinde nasıl bir etki oluşturduğu vurgulanmıştır. Amacımız, bizim de nokturnal olmaları nedeniyle pek de farkında olmadığımız yarasalar hakkında farkındalık oluşmasını sağlamaktır.

**Anahtar kelimeler:** Ekoloji, ekosistem, korunma statüsü, yarasa.

---

## **The Effects of the Changing Environment due to Anthropogenic Activities on Bats**

---

### **Abstract**

Bats, one of the most important dynamics of the ecosystem, provide control of the insect population, which is the source of many infectious diseases and also has harmful effects for agriculture. Today, due to the change of the global ecosystem by humans, the beginning of a new geological age - the Anthropocene Age - which many scientists agree on is triggering. While many individuals tolerate anthropogenic activities and continue to live in their habitats, the vast majority of individuals experience a dramatic decline in their populations. As a result of all this, our planet is being pushed towards the sixth big extinction. Bats are particularly susceptible to anthropogenic changes due to their life cycle, feeding patterns, habitats, low reproduction rate and high metabolic rate. 16% of the bats are reported to be Critically Endangered, Endangered and Vulnerable by IUCN. In this study, it is emphasized how anthropogenic activities have an effect on bats. Our aim is to raise awareness about bats that we are not aware of because they are nocturnal.

**Keywords:** Ecology, ecosystem, protection status, bat.

---

### **1. Giriş**

Yaşadığımız dünya kırılabilir olup, insanlar, giderek artan şekilde yaptıkları faaliyetlerin sonucu oluşan antropojenik etkilerin ekosistem tarafından absorbe edilecekmiş gibi davranır. Dünyanın her yerinden gelen birbirine benzer ve çok kuvvetli kanıtlar, insanoğlunun gezegenimizi değiştirmeye devam ettiğini göstermektedir [1]. İnsanoğlu dünya üzerinde birçok değişime neden olmuştur. Bunlar arasında küresel iklim değişikliğinin ve okyanus asitleşmesinin ana itici gücü olan karbonun atmosfere sanayi devrimiyle

---

\*Sorumlu yazar: [aarslan@selcuk.edu.tr](mailto:aarslan@selcuk.edu.tr)

Geliş Tarihi: 14.02.2020, Kabul Tarihi: 28.04.2020

birlikte 550 milyon tondan fazla salınması [2, 3], yapay gübrelerin kullanımı ile küresel azot döngüsünün değişmesi [4], küresel birincil üretimin üçte birinden fazlasının insan tüketimine yönlendirilmesi [5], türlerin devam eden kitlesel yok oluşları [6] ve istilacı türlerin ve patojenlerin yayılmasına neden olan ticari taşımanın küreselleşmesi [7] en önemlileri olarak görülmektedir. İnsanlığın Dünya'nın jeolojik koşulları ve süreçleri üzerindeki kalıcı etkileri karşısında, 2000 yılında Paul Crutzen ve Eugene Stoermer'den başlayarak birçok bilim adamı, şimdiki eylemlerimizin bizi yeni bir jeolojik çağın başlangıcına (Antroposen Çağı) getirdiğini varsaymaktadır [1]. İnsanlar neredeyse tüm küresel ekosistemleri etkilemekte ve yarasalar bu değişikliklere uyum sağlamaya çalışmaktadır. Bu değişimlerden etkilenen önemli sayıda yarasaya göç etmekte, popülasyonları azalmakta veya nesli tükenmektedir.

## 2. Yarasaların Ekosistemdeki Rollerini

Böcek ile beslenen yarasalar bazı böcek popülasyonlarını kontrol altında tutarak ekosistemde temel bir rol oynamaktadır. Bazı yarasalar türleri, özellikle hayvanlarda ve insanlarda şiddetli hastalıkların etkenlerini bulaştırdıkları bilinen sivrisineklerle beslenmektedir [8]. Yarasalar, tarım ve orman için çok pahalıya mal olan zararlılar arasında yer alan birçok böcek de dahil olmak üzere, uçan çok sayıda böceğin birincil avcılarıdır. Bu yarasaların tükettiği böceklerin kısmen bir listesi, salatalık, patates ve tütün böcekleri; mısır kurdu, koçan kurdu, fidekesen ve buğday güvesi; yaprak zararlıları ve sivrisinekleri içerir. Michigan Millie Hill madeninde kış uykusuna yatan küçük kahverengi yarasalar (*Myotis lucifugus*) sadece bir saat içinde 1.200 sivrisinek boyutunda böcek yakalar. Yarasalar, sivrisinekleri doğal olarak avlayan birkaç hayvan grubundan sadece bir tanesidir [9]. 30.000 *Myotis austroriparius*'dan oluşan bir Florida kolonisi 15 tonun üzerinde sivrisinek de dahil olmak üzere yılda 50 ton böcek tüketir [10]. Laktasyon dönemindeki bir dişi Brezilya Serbest Kuyruklu Yarasası (*Tadarida brasiliensis*) her gece vücut kütlelerinin %70 'ine kadar böcek tüketmekte [11], 12 g ağırlığındaki bu yarasadan oluşan doğum kolonisinin tek bir gecede 8.4 tona kadar böcek yiyebileceğini göstermektedir [12]. Böcekçil yarasalarının böcek popülasyonlarını azaltarak ABD tarım endüstrisine olan katkısı 23 milyar \$ / yıl olarak tahmin edilmektedir [13].

Dünya genelinde en az 289 bitki türü (ör. Afrika Baobab ağacı ve Avustralya Demir ağacı) uçan tilkiler (*Pteropus* sp.) diye bilinen yarasalar tarafından yayılmaya bağımlıdır [14]. Yarasalar bitkilerin döllenmesinin yanında bitki tohumlarının yeni alanlara yayılması ve taşınmasında önemli rol oynarlar. Microchiroptera alt ordosundaki yarasaların birçoğu, uçan tilkiler gibi, guava, avokado, mango, agav, muz vb. gibi birçok bitki türü için nakilci ve tozlayıcı olarak hareket ederler [14, 15].

Besin maddesi dağılımı ve toprak verimliliği için, yarasalar guanosu, mükemmel bir ekolojik potansiyele sahiptir. Böylece, yarasalar besin açısından zengin bölgelerden (örn. Göl ve nehirler) daha fakir bölgelere (örneğin, kurak veya dağlık alan) besin öğelerinin yeniden dağıtılmasına katkıda bulunurlar [16].

## 3. Antropojenik Faaliyetler Ve Yarasalar Üzerine Etkileri

### 3.1. Çevre kirliliği

Yarasa popülasyonunun azalması, çevre ve iklim değişikliği, kaynaklardaki değişiklikler, av durumu ve kalitesi, tünek kaybı, rahatsızlık, şehirleşme ve sanayileşme, tarımsal yoğunlaşma, rüzgâr türbinlerinde artış, hastalık baskısı ve çevredeki kimyasallara maruz kalma [17-20] gibi bir dizi faktörün sonucu olabilir. Son yıllarda, Avrupa'da ve Kuzey Amerika'daki yarasalar popülasyonlarında düşüşler (örn. *Pipistrellus* sp., *Rhinolophus hipposideros*, *Rhinolophus ferrumequinum* ve *Myotis myotis* gibi türler dahil olmak üzere) gözlenmiştir [21-23]. Nispeten uzun ömürleri (örneğin 40 yaşına kadar) ve günlük yüksek gıda alımı nedeniyle [24, 25] yarasalar, özellikle gıda zincirinde biriken metaller gibi kimyasal kirlenmelere maruz kalma eğilimi gösterebilir [26]. Temel maruz kalma yolları, kirlenmiş gıda ve suyun kullanılması, dermal maruz kalma ve inhalasyon şeklindedir [27, 28].

Su kaynaklarının az olduğu kurak alanlarda, su kaynağına yönelik herhangi bir kayıp veya bozulma, ona bağlı olan yaban hayatı için zararlı olabilecek etkiler yaratabilir. Yarasalar kirlenmiş bir kaynaktan su içtiğinde, toksinleri direkt olarak alırken avlanma sırasında böceklerin bünyesinde biyolojik birikim yapmış toksinleri dolaylı yoldan alırlar. Örneğin, böcek larvaları kimyasal olarak kirlenmiş

suda beslendiyse, kirleticileri vücutlarına biriktirirler ve metamorfoz sonucu yetişkin olan böcekler yarasalar tarafından tüketilirler [29]. Sucul habitatlarda beslenen yarasalar, beslendikleri böceklerde biyolojik olarak büyük oranda birikmiş toksik ağır metallere maruz kaldıkları bilinmektedir [30]. Kanalizasyon arıtma tesislerinde kanalizasyon çamurunda ve atık suda oluşan uçucu böceklerin, endokrin sistemini bozabilecek kirleticiler biriktirebileceğine dair kanıtlar bulunmuştur [31].

### 3.2. Madencilik

Madencilik, çevresel yıkım ve kirliliğin global olarak büyük bir antropojenik kaynağıdır. 1980 ve 1989 yılları arasında Kaliforniya, Nevada ve Arizona'da altın madenciliği için kullanılan siyanürlü havuzlarda öldüğü bilinen memelilerin %34'ünü yarasalar oluşturmaktadır [32]. Ölü yarasalarda arsenik, kadmiyum, krom, bakır, kurşun, civa, metil civa, nikel ve çinko gibi madencilik işlemlerinde kullanılan diğer ağır metaller bulunmuştur [29]. ABD'de, Arizona'da büyük bir bakır eritme madeninden 8 km uzakta yaşayan *Tadarida brasiliensis* dokularında önemli miktarda atmosferik civa birikimi tespit edilmiştir [33].

### 3.3. Karayolları

Yollar habitatı küçültür, tahrip eder ve doğal manzarayı bozarlar [34]. Ayrıca yarasaları, araçlarla çarpışma sonucu ölüm, avlanma alanlarını küçültmek veya zarar vermek ve gidiş-geliş ile göç için kullanılan kritik uçuş rotalarını değiştirmek gibi farklı yollardan da etkiler [35].

Yol yapımı, çoğunlukla mevcut veya olması muhtemel yarasa tüneklerini barındıran ağaçların ve binaların ortadan kaldırılmasına yol açar. Ağaçların, çalıların, sulak alanlar ve işlenmemiş (doğal) çayırların ortadan kaldırılması aynı zamanda mevcut habitat alanını da azaltır. Yol yüzeyi tek başına, 7 m genişliğindeki her 10 km'lik iki şeritli yol için 7 hektara kadar önemli habitat alanının kaybına neden olur. Yol kenarlarında banketler, köşeler, kavşaklar, servis alanları ve diğer yapılar daha fazla potansiyel bir habitatı ortadan kaldırır. Sonuç olarak, yol yapımı yarasa için habitatların kalıcı olarak yok olmasına ve dolayısıyla doğrudan popülasyon boyutlarının azalmasına neden olmaktadır [36]. Kerth and Melber [37] Almanya'daki önemli bir karayolunun, dişi *Myotis bechsteinii*'nin yaşam alanlarına erişimini kısıtladığını, daha küçük avlanma alanlarına ve düşük üreme başarısına neden olduğunu tespit etmiştir.

Karayolları tünekler ile avlanma bölgeleri arasındaki uçuşlarda potansiyel bariyerlerdir. Bu nedenle kullanışlı tünek ile avlanma mesafe aralığı artabilir ve avlanma bölgesinin kalitesi düşebilir. Bu durum göçü kısıtlayarak ölüm oranını artırabilir ve üreme potansiyelini azaltabilir. Yollar, ulaşılabilir alanı ve kalitesini düşürerek habitat parçalanmasına neden olabilir. Habitat alanı ve kalitesi popülasyon büyüklüğünün belirleyici unsurları olduğundan, habitat parçalanması sürdürülebilir popülasyon boyutunu düşürebilmektedir. Yollar gibi bariyerler, bireylerin popülasyonlar arasındaki dolaşımını iki önemli sonuçla sınırlayabilir. Birincisi, bariyerler komşu popülasyondan bireylerin takviyesini [kurtarma etkisini] azaltacağından dolayı yerel popülasyondaki düşüşün iyileşmesini yavaşlatabilir ve bu da yerel anlamda soyun tükenmesi olasılığını daha da artıracaktır. İkincisi, bariyerler ayrıca popülasyonlar arasındaki gen akışını azaltabilir ve akrabalık derecesini artırarak bireysel uygunluğu azaltabilir. Bunun neticesinde yerel yok olma riski artabilmektedir [36].

Yarasaların yollardan karşıdan karşıya geçmeye teşebbüs etmesi araçlarla çarpışma riskini taşır ve mortalite için sıcak bölgeler oluşturur [38-40]. Uçmada çevik ve manevra kabiliyeti olmasına rağmen, çoğu yarasa türü düşük hızda (<20 km/s) uçar ve özellikle açık alanları geçerken yere yakın uçarlar (0-4 m) [40, 41]. Bu nitelikler, hareket halindeki araçlara karşı yol boyunca beslenen ya da yolları geçmeye çalışan yarasaları çok savunmasız duruma getirir. Küçük olmaları nedeniyle yarasalar, geçmekte olan araçların oluşturduğu hava akımı içine kolayca çekilebilir [36]. Yapılan bir çalışmada, dört yaz dönemi boyunca iki şeritli bir karayolunun 8 km'lik kesiminde karkas araması yapılarak ölü yarasalar kaydedilmiştir. Bu çalışma sonucunda, bulunan karkas sayısı yerleşim alanlarında 0,3 yarasa/km/yıl, ağaçlarla çevrilmiş yollarda 6,8 yarasa/km/yıl olduğu tespit edilmiştir [38].

### 3.4. Habitat bozulması

Birçok çalışma yol aydınlatmasının yavaş uçan ve ormanlık alanlara adapte olmuş *Rhinolophus*, *Myotis* ve *Plecotus* cinslerine ait birçok türün yola yaklaşmasını önlediğini göstermektedir [23, 42, 43].

Aydınlatma, muhtemelen yolların bariyer etkisini artırır, çünkü açık alanlardan geçme konusunda isteksiz olan bu türlerin ışıktan kaçınma ihtimalini artırır. Hem yüksek basınçlı sodyum hem de beyaz LED ışığı, düşük yoğunlukta bile ormana adapte olmuş türleri caydırmaktadır [23]. Günlük aktivitelerde ışığın neden olduğu değişiklikler, hem tür içinde (ör. çiftleşme için) hem de türler arasındaki rekabeti değiştirebilir [44]. Suni ışık, diurnal türlerin aktivitesini uzatarak niş ayrışmasını etkileyebilir ve onları nokturnal türler ile türlerarası rekabete sokabilir [45]. Örneğin, makas kuyruklu sinekkapan olarak adlandırılan *Tyrannus forficatus*, gün batımından sonra en az 3 saat boyunca sokak ışıklarında böcekleri yakalar [46]. Bu durum böcek ile beslenen yarasalarla rekabeti artırabilir. Işık kirliliği, aydınlatma kaynaklarından faydalanan ışığa toleranslı türler hariç olmak üzere ışığa hassas yarasalar türleri arasında rekabete de neden olabilir [47]. Yapay ışık, yarasalar için uygun olmayan ulaşım yollarını ve yiyecek arama alanlarını kullanmaya neden olur. Yapay ışık düzeyleri, ‘yapay ay fobisi’ veya sirkadiyen bir uyumsuzluk nedeniyle yarasaların avlanma verimliliğini düşürür. Bunun sonucunda ortaya çıkan enerji harcamasındaki artış ve azalan enerji kazancı; azalmış direnç, form düşüşüne ve nihayetinde popülasyon düşüşlerine neden olabilir [1].

Böcekçil yarasaların çoğu, avını tespit etmek, yönlerini bulmak ve hatta iletişim kurmak için ultrasonik ekolokasyon çağrılarını kullanırlar. Bazı türler, kanat hareketleri veya çiftleşme çağrısı gibi avları tarafından üretilen sesleri dinleyerek avlarını bulur ve yakalarlar. Trafik gürültüsü avın ürettiği sesleri ve ekolokasyon çağrılarının daha düşük frekans bileşenlerini maskeleyebilir. Kapalı uçuş odası deneyleri sırasında simüle edilmiş trafik gürültüsü, tipik olarak zeminde bulunan avı tarafından çıkarılan sesleri dinleyerek avlanan *Myotis myotis*'in besleme etkinliğini azalttığı tespit edilmiştir [48]. Muhtemelen gürültülü yollara yakın habitatlar, toprakta veya bitki örtüsünde bulunan avların seslerini dinleyerek avlanan bu ve diğer türler için beslenme alanları olarak seçilmemesi muhtemeldir. Araç gürültüsü de bariyer etkisini artırabilir [49]. Karayolu inşaat gürültüsü (ör. Ağır teçhizat, patlatma ve kazık çakma gibi), özellikle köprüler, menfezler veya diğer karayolu altyapısında ya da yakınlardaki binalarda, ağaçlarda ya da kaya çıkıntılarında tüneyen yarasaları etkileyebilir. Yüksek sesler yarasaları rahatsız edebilir ve tüneklerin terk edilmesine neden olabilir [50-53]. Eğer gürültü yeterince yüksek ve ani olursa, yarasalarda geçici veya sürekli işitme kaybına neden olabilir. Kronik rahatsızlık, özellikle üreme mevsiminde, önemli koloni aktivite şekillerini değiştirebilir [54, 55], kış uykusuna yatan ve kışlayan yarasaların kritik torpor döngülerini bozarak kritik enerji kaynaklarını aşırı kullanmaya zorlayabilir [50, 56, 57].

### 3.5. Rüzgâr enerji santralleri

Rüzgâr enerjisi, konvansiyonel enerji kaynakları içinde dünya genelinde en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir [58]. Rüzgâr enerjisinin yaban hayatı ve habitatları üzerindeki etkileri belgelenmiş olup artan bir endişe kaynağı haline gelmiştir [59].

Rüzgâr enerjisinin gelişimi, yaban hayatını doğrudan mortalite ve dolaylı olarak da habitat yapısı ve fonksiyonu üzerine etki eder [60-62]. 1972 yılından beri rüzgâr enerji sistemlerinde kuş ve yarasalar ölümleri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır [63]. Yarasalarla ilgili Avrupa ve Kuzey Amerika’da yapılan çalışmalarda rüzgâr türbinlerinin kanatlarına doğrudan çarparak veya dolaylı olarak ölümlerin olduğu tespit edilmiştir [64, 65]. 2005 yılında yapılan bir çalışmada, Pennsylvania ve Batı Virginia’da 64 rüzgâr türbininde 6 haftalık araştırma ve gözlem sonucunda 13 türe ait toplam 660 yarasanın öldüğüne dair tespit edilmiştir [64]. 2008 yılında İtalya’da yapılan bir çalışmada iki farklı bölgede toplam 46 türbinde iki farklı türe ait 7 yarasalar ölümleri tespit edilmiştir [66]. Kanada ve Amerika’da yapılan başka bir çalışmada rüzgâr türbinlerinin kanat hızının yarasalar üzerine olan etkisi araştırılmış ve 6 m/s’nin üzerindeki hızlarda yarasalar ölümlerinin %85 oranında azaldığı görülmüştür [67]. Yarasaların rüzgâr türbinlerinden daha çok ağustos-eylül ayları arasında etkilendiği ve yarasalar ölümlerinin bu aylarda daha fazla olduğu araştırmalar sonucunda ortaya konmuştur. Bahar aylarında ise bu etkinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir [64, 66, 68, 69]. Rüzgâr türbin bıçaklarının etrafındaki ani hava basıncı düşüşü, yarasaların akciğerlerini patlattığı kanıtlanmış ve bu durum “baro-travma” sendromu olarak literatüre geçmiştir [70].

### 3.6. Mağara turizmi

19. yüzyılın sonlarında başlayan mağara turizmi, mağaralardaki tüm canlılar için önemli ölçüde tehdit oluşturmaktadır. 1990'ların ortalarında dünya genelinde yaklaşık 20 milyon kişinin her yıl eğlenmek amacıyla mağaraları ziyaret ettiği tahmin edilmektedir [71-74]. Turizme yönelik mağaraların geliştirilmesi tipik olarak suni aydınlatma, merdivenler, yürüyüş yolları, otoparklar şeklinde mağara ortamlarında fiziksel değişiklikler oluşturan giriş yapıları içerir (Şekil 1). Mağara ziyaretçilerinin varlığından kaynaklanan rahatsızlığın yanı sıra sıcaklık, nispi nem ve karbondioksit konsantrasyonları üzerinde belirgin bir dalgalanma yaratmakta ve bunların hepsi yarasalar için tünekten vazgeçmeye neden olabilmektedir. Örneğin Kanada'nın Quebec'teki Bonnechere Mağarası'nın ticarileştirilmesi, *Myotis leibii*'nin Kuzey Amerika'daki en büyük kış uykusu barınağından vazgeçmesine neden olmuştur [75].



Şekil 1. Turizme açılmış Kırklareli Dupnisa Mağarası

Mann ve ark. [54], 1000 *Myotis velifer*'den oluşan bir doğum kolonisinin deneysel olarak mağara turlarına maruz bırakılarak davranışsal tepkilerini araştırmıştır. Yüksek ışık yoğunluğu, tur rotalarının yakınlığı ve tur gruplarının konuşmaları, yarasa aktivite seviyeleri ve uçuş artışı ile olumsuz bir etkiye sahip olduğu ve doğum sezonu ilerledikçe, tüm bu davranış tepkilerinin arttığını tespit etmişlerdir. Luo ve ark. [73]'ün Çin'deki 225 yeraltı bölgesinde yaptığı bir çalışmada, rekreasyon faaliyetlerinin yarasa sayıları ve risk altındaki türlerin varlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olduğunu göstermiştir. Turizmin yarasa sayılarına etkilerini inceleyen az sayıdaki ayrıntılı araştırmalardan biri de, Güneydoğu Avrupa'daki yarasaların en büyük kolonilerinden biri olan Trakya Bölgesi'ndeki Dupnisa Mağara Sistemi'nde yapılmıştır. Bu mağara sisteminde, 15 tür içeren ortalama kışın 25.000 ve yaz aylarında 4000 yarasa bulunmaktadır. Üç mağaradan oluşan Dupnisa Mağarası'nda tek bir ölçümde kaydedilen azami yarasa sayısı 56.000'dir [76]. Furman ve ark. [77]'nin bu mağarada Mart 2001'de yaptıkları araştırma ile karşılaştırıldığında Şubat ve Mart 2003-08 döneminde iki hibernasyon mağarasında sırasıyla %20 ve %60'lık bir azalma olduğunu, Nisan 2001'deki araştırmaya kıyasla Nisan ve Mayıs 2002- 07'de doğum mağarasında %90'lık bir azalma olduğu sonucuna varmışlardır [78].

### 3.7. Yarasa guanosu ticareti

Yarasalar avladıkları sinek ve diğer böceklerin yaklaşık %15-20'sini sindirebilmekte, kalan kısmı dışkıyla atılmaktadır. Bundan dolayı yarasa gübresi azot, magnezyum, fosfor, demir, potasyum, mangan ve çinko yönünden oldukça zengindir [79]. Yarasa guanosunun öneminin artmasıyla birlikte, mağaralardan guano çıkarılması çeşitli sorunların ortaya çıkmasına da neden olmuştur.



Mağara ekosistemlerinde birincil enerji kaynağı olarak yarası guanosu kullanılmaktadır. Mağaralardaki karasal omurgasız faunanın hayatta kalması guanoya bağlıdır [80]. Yarasaların düşük üreme hızına sahip olması nedeniyle popülasyonlarının antropojenik faaliyetlerle ilişkili kayıplarından kurtulması uzun zaman almaktadır [81]. Bu durum, mağara yarasaları için önemli bir sorun oluşturmaktadır, çünkü nispeten küçük ve sınırlı alanlara sahip olan mağaraların ekosistemlerinin herhangi bir şekilde bozulması tüm kolonileri etkileyebilmektedir. Mağaralardan guanonun çıkartılması, üreme mevsiminin başlarında özellikle dişi yarasaların tüneklerini terk etmelerine neden olabilir. Bu durum, dişilerin üremek için yeterli şartları sağlamayan tüneklere göç etmelerine neden olarak onların üreme başarılarını azaltabilir. Ayrıca bu durum yarasalarda rahatsızlık oluşturarak, tüneklerdeki yarasaların genel aktivite seviyesini yükseltebilir, daha fazla enerji harcanmasına ve emziren dişilerin yavrularını daha az verimli beslemesine neden olabilir. Bunun sonucunda dişi yarasaların yavrularını besleyebilmek için avlanma talepleri artabilir. Ayrıca doğum kolonilerinin rahatsız edilmesi, mağara tabanına düşen gençlerin doğrudan ölümüne de neden olabilir [82, 83].

### 3.8. Kentsel ortamlar

Yarasalar kentsel alanlarda kalan en çeşitli memeliler grubunu oluşturur [84, 85]. Günümüze kadar kentsel peyzajda yapılan araştırmalardan birçoğu, genel yarası aktivitesinin ve tür zenginliğinin doğal alanlarda en fazla olduğunu ve artan kentsel etkiler ile azaldığını göstermektedir [86-90]. Tüm şehirlerde kentsel ağaç örtüsü büyük ölçüde sabit (<%30) olduğu için [91], ağaç yönünden zengin bölgelerdeki kentleşme, ormansızlaşma anlamına gelir ve ağaç örtüsünün azaltılması kentleşmenin olumsuz etkisine neden olabilir. Buna karşılık, mera alanları içerisindeki kentsel alanlar yapısal heterojenliği artırabilir ve böylece tür zenginliğini artırabilir [92].

Kentsel ortamlarda yarası ile ilgili yapılan çalışmaların çoğu, Avrupa ve Kuzey Amerika'nın ılıman bölgelerinden gelmektedir. Bu çalışmaların çoğu eski yerleşim alanları, nehir yaşam alanları veya park alanları gibi bitki örtüsüne sahip bölgelerde nispeten yüksek yarası aktivitesi ve tür zenginliği bildirmektedir. Türe özgü niteliklerle bağlantılı olarak bazı yarası türleri bu kentsel ortamlarda başarılı gibi gözükmemektedir [93].

Jung ve Threlfall [94]'in yapmış olduğu meta-analizde genel olarak, kentsel alanlardaki yarasaların habitat kullanımının azaldığını ortaya koymuştur. Yüksek derecede şehirleşmenin orta dereceli kentsel gelişime kıyasla yarasaların genel yaşam alanı kullanımı üzerinde daha güçlü bir olumsuz etkisi vardır. Bununla birlikte, orta seviyede kentsel gelişimde habitat kullanımı, doğal alanlara kıyasla çok daha düşüktür.

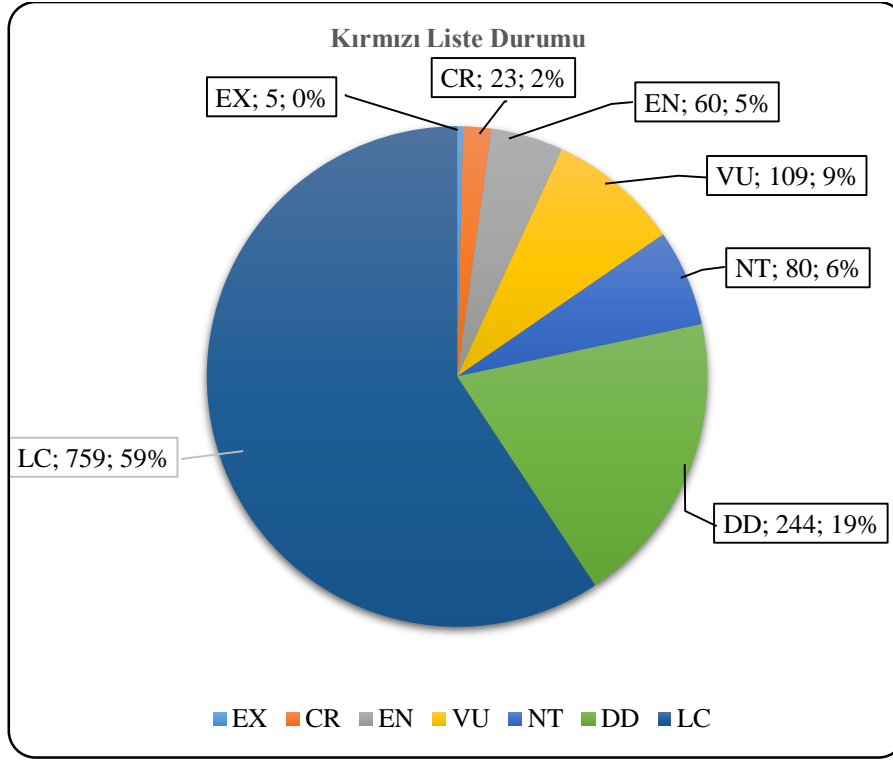
### 4. Sonuç ve Öneriler

Avustralya'ya bağlı bir ada olan Christmas Adası'nda yaşayan *Pipistrellus murrayi*'ye 2009 yılından sonra rastlanılmamıştır [95-97]. Bu tür büyük olasılıkla gezegenimizden kaybolacak son tür değildir. IUCN tarafından *Desmodus draculae*, *Pteropus brunneus*, *P. pilosus*, *P. subniger* ve *P. tokudae* soyu tükenmiş beş tür olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2). *Desmodus draculae* sadece fosil ve alt fosil kayıtlarından tespit edilmiş ve yok oluş nedeni bilinmemektedir. Bununla birlikte, yok olmuş dört *Pteropus* türü tümüyle yok olmanın ana itici faktörü olan av ve habitat kaybı ile antropojenik faaliyetlerin kurbanıdır [1].

Azalan popülasyon ve belirlenen tehditler, umutsuz bir gelecek izlenimi uyandırmaktadır. Küresel olarak, IUCN değerlendirmeleriyle tespit edilen yarası türlerine yönelik en büyük tehditler, arazi kullanımı değişikliği (kerestecilik, kerestesi olmayan ürün yetiştiriciliği, çiftlik hayvancılığı ve ağaçlandırma, odun ve kâğıt yapımı ve yangın), kentleşme, taş ocakçılığı ve yarası habitatlarına genel insani müdahalelerdir [1].

Ülkemizde birçok yarası türünün yaşam alanlarını da oluşturan mağaraların korunması ile ilgili 03.02.2016 tarihinde T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından "Tabiat varlığı olarak belirlenecek olan doğal mağaralara ilişkin ilke kararı" alınmıştır (25 Mart 2016 tarih ve 29664 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanmıştır). T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığına bağlı Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, mağaralardan guano çıkarmak isteyenlerin uyması gereken kuralları belirlemiş ve taahhütname hazırlamıştır. T.C. Gıda, Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından "İnsani tüketim amacıyla kullanılmayan hayvansal yan ürünler yönetmeliği" yayımlanmış (24 Aralık 2011 ve 28152

sayılı Resmi Gazete) ve bu yönetmeliğe istinaden, yarasalardan elde edilen guanonun piyasaya hangi şartlarda arz edileceği ile ilgili 2017/44 sayılı uygulama tebliği yayımlanmıştır.



**şekil 2.** IUCN tarafından değerlendirilen 1280 yarasa türünün Kırmızı Liste durumu (Kategori; tür sayısı; yüzdesi) [97]. IUCN kategorileri, Nesli Tükenmiş (EX), Kritik Olarak Tehlikeli (CR), Nesli Tehlikede (EN), Hassas (VU), Tehdit Altında (NT), Yetersiz Veri (DD), Minimum Endişe (LC).

Sonuç olarak, nokturnal hayvanlar olarak yarasalar, insanların neden olduğu ekolojik bozulmalara maruz kalmaktadır. Çünkü koruma planları yapılırken çoğunlukla görünen olaylara odaklanılmakta ve bu nedenle korumanın karanlık tarafı, yani nokturnal hayvanların korunması ihmal edilmektedir.

#### Yazarların Katkısı

Atilla ARSLAN konunun belirlenmesi, ilgili kaynakların toplanması ve makalenin yazımına; Mesut BAş ise ilgili kaynakların toplanması ve makalenin yazımına 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] Voigt C.C., Kingston T. 2016. Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World. Springer Science+ Business Media, USA.
- [2] Ciaş P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., et al. 2013. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Climate Change, 465-570.

- [3] Gray V. 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis Summary for Policymakers. *Energy & Environment*, 18 (3-4): 433-40.
- [4] Canfield D.E., Glazer A.N., Falkowski P.G. 2010. The Evolution and Future of Earth's Nitrogen Cycle. *Science*, 330 (6001): 192-6.
- [5] Krausmann F., Erb K.H., Gingrich S., Haberl H., Bondeau A., Gaube V., Lauk C., Plutzer C., Searchinger T.D. 2013. Global Human Appropriation of Net Primary Production Doubled in the 20th Century. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 110 (25): 10324-10329.
- [6] Barnosky A.D., Matzke N., Tomiya S., Wogan G.O.U., Swartz B., Quental T.B., Marshall C., McGuire J.L., Lindsey E.L., Maguire K.C., Mersey B., Ferrer E.A. 2011. Has the Earth's Sixth Mass Extinction Already Arrived. *Nature*, 471 (7336): 51.
- [7] Lewis S.L., Maslin M.A. 2015. Defining the Anthropocene. *Nature*, 519 (7542): 171-80.
- [8] Mehlhorn H. 2014. Introduction: The World of Bats. *Bats (Chiroptera) as Vectors of Diseases and Parasites*. Springer, 1-5.
- [9] Ducummon S.L. 2000. Ecological and Economic Importance of Bats. *Bat Conservation International*, Austin, TX.
- [10] Zinn T.L., Humphrey S.R. 1981. Seasonal Food Resources and Prey Selection of the Southeastern Brown Bat (*Myotis austroriparius*) in Florida. *Florida Scientist*, 81-90.
- [11] Kunz T.H., Whitaker J., Wadanoli M. 1995. Dietary Energetics of the Insectivorous Mexican Free-Tailed Bat (*Tadarida brasiliensis*) During Pregnancy and Lactation. *Oecologia*, 101 (4): 407-15.
- [12] Kasso M., Balakrishnan M. 2013. Ecological and Economic Importance of Bats (Order Chiroptera). *ISRN Biodiversity*.
- [13] Boyles J.G., Cryan P.M., McCracken G.F., Kunz T.H. 2011. Economic Importance of Bats in Agriculture. *Science*, 332 (6025): 41-2.
- [14] Fujita M.S., Tuttle M.D. 1991. Flying Foxes (Chiroptera: Pteropodidae): Threatened Animals of Key Ecological and Economic Importance. *Conservation Biology*, 5 (4): 455-63.
- [15] Hill J., Smith J. 1984. Bats: A Natural History. *Journal of Mammalogy*, 121-2.
- [16] Buchler E. 1975. Food Transit Time in *Myotis lucifugus* Chiroptera: Vespertilionidae. *Journal of Mammalogy*, 56 (1): 252-5.
- [17] Frick W.F., Reynolds D.S., Kunz T.H. 2010. Influence of Climate and Reproductive Timing on Demography of Little Brown Myotis *Myotis Lucifugus*. *Journal of Animal Ecology*, 79 (1): 128-36.
- [18] Jones G., Jacobs D.S., Kunz T.H., Willig M.R., Racey P.A. 2009. Carpe Noctem: The Importance of Bats as Bioindicators. *Endangered Species Research*, 8 (1-2): 93-115.
- [19] Walker L., Simpson V., Rockett L., Wienburg C., Shore R. 2007. Heavy Metal Contamination in Bats in Britain. *Environmental Pollution*, 148 (2): 483-90.
- [20] Wickramasinghe L.P., Harris S., Jones G., Vaughan N. 2003. Bat Activity and Species Richness on Organic and Conventional Farms: Impact of Agricultural Intensification. *Journal of Applied Ecology*, 40 (6): 984-93.
- [21] Dietz C., Nill D., von Helversen O. 2009. *Bats of Britain, Europe and Northwest Africa*. A & C Black.
- [22] Stebbings R.E. 1988. *The conservation of European bats*. Christopher Helm Pub Limited.
- [23] Stone E.L., Jones G., Harris S. 2009. Street Lighting Disturbs Commuting Bats. *Current Biology*, 19 (13): 1123-7.
- [24] Anthony E.L., Kunz T.H. 1977. Feeding Strategies of the Little Brown Bat, *Myotis lucifugus*, in Southern New Hampshire. *Ecology*, 58 (4): 775-86.
- [25] Podlutzky A.J., Khritankov A.M., Ovodov N.D., Austad S.N. 2005. A New Field Record for Bat Longevity. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 60 (11): 1366-8.
- [26] Hickey M., Fenton M., MacDonald K., Soulliere C. 2001. Trace Elements in The Fur of Bats (Chiroptera: Vespertilionidae) From Ontario and Quebec, Canada. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 66 (6): 699-706.
- [27] Allinson G., Mispagel C., Kajiwara N., Anan Y., Hashimoto J., Laurenson L., Allinson M., Tanabe S. 2006. Organochlorine and Trace Metal Residues in Adult Southern Bent-Wing Bat (*Miniopterus schreibersii bassanii*) in Southeastern Australia. *Chemosphere*, 64 (9): 1464-71.

- [28] Lilley T.M., Meierjohann A., Ruokolainen L., Peltonen J., Vesterinen E., Kronberg L., Nikinmaa M. 2012. Reed Beds May Facilitate Transfer of Tributyltin From Aquatic to Terrestrial Ecosystems Through Insect Vectors in The Archipelago Sea, SW Finland. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31 (8): 1781-1787.
- [29] Korine C., Adams R., Russo D., Fisher-Phelps M., Jacobs D. 2016. Bats and Water: Anthropogenic Alterations Threaten Global Bat Populations. *Bats in The Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*. Springer, Cham, 215-241.
- [30] Pikula J., Zukal J., Adam V., Bandouchova H., Beklova M., Hajkova P., Horakova J., Kizek R., Valentikova L. 2010. Heavy Metals and Metallothionein in Vespertilionid Bats Foraging Over Aquatic Habitats in the Czech Republic. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal*, 29 (3): 501-5066.
- [31] Park K.J., Müller C.T., Markman S., Swinscow-Hall O., Pascoe D., Buchanan K.L. 2009. Detection of Endocrine Disrupting Chemicals in Aerial Invertebrates at Sewage Treatment Works. *Chemosphere*, 77 (11): 1459-1464.
- [32] Clark Jr.D., Hothem R.L. 1991. Mammal Mortality at Arizona, California, and Nevada Gold Mines Using Cyanide Extraction. *California Fish and Game*, 77 (2): 61-9.
- [33] Petit M.G., Altenbach J.S. 1973. A Chronological Record of Environmental Chemicals From Analysis of Stratified Vertebrate Excretion Deposited in a Sheltered Environment. *Environmental Research*, 6 (3): 339-43.
- [34] Forman R.T.T., Sperling D., Bissonette J.A., Clevenger A.P., Cutshall C.D., Dale V.H., Fahrig L., France R., Goldman C.R., Heanue K., Jones J.A., Swanson F.J., Turrentine T., Winter T.C. 2003. *Road ecology: science and solutions*. Island Press.
- [35] Berthinussen A., Altringham J. 2012. The Effect of a Major Road on Bat Activity and Diversity. *Journal of Applied Ecology*, 49 (1): 82-89.
- [36] Altringham J, Kerth G. 2016. Bats and roads. In: Voigt CCV & Kingston T (eds.) *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*: Springer Science+ Business Media.
- [37] Kerth G., Melber M. 2009. Species-Specific Barrier Effects of a Motorway on the Habitat Use of Two Threatened Forest-Living Bat Species. *Biological Conservation*, 142 (82): 270-279.
- [38] Lesiński G. 2007. Bat Road Casualties and Factors Determining Their Number. *Mammalia*, 71 (3): 138-142.
- [39] Medinas D., Marques J.T., Mira A. 2013. Assessing Road Effects on Bats: The Role of Landscape, Road Features, and Bat Activity on Road-Kills. *Ecological Research*, 28 (2): 227-237.
- [40] Russell A.L., Butchkoski C.M., Saidak L., McCracken G.F. 2009. Road-Killed Bats, Highway Design, and the Commuting Ecology of Bats. *Endangered Species Research*, 8 (1-2): 49-60.
- [41] Berthinussen A., Altringham J. 2012. Do Bat Gantries and Underpasses Help Bats Cross Roads Safely. *PloS One*, 7 (6): e38775.
- [42] Blake D., Hutson A., Racey P., Rydell J., Speakman J. 1994. Use of Lamplit Roads by Foraging Bats in Southern England. *Journal of Zoology*, 234 (3): 453-462.
- [43] Rydell J. 1992. Exploitation of Insects Around Streetlamps by Bats in Sweden. *Functional Ecology*, 744-750.
- [44] Rowse E., Lewanzik D., Stone E., Harris S., Jones G. 2016. Dark Matters: The Effects of Artificial Lighting on Bats. *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*. Springer, Cham, 187-213.
- [45] Longcore T., Rich C. 2004. Ecological Light Pollution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2 (4): 191-198.
- [46] Frey J. 1993. Nocturnal Foraging by Scissor-Tailed Flycatchers under Artificial Light. *Western Birds*, 24 (3): 200.
- [47] Arlettaz R., Godat S., Meyer H. 2000. Competition for Food by Expanding Pipistrelle Bat Populations (*Pipistrellus pipistrellus*) Might Contribute to the Decline of Lesser Horseshoe Bats (*Rhinolophus hipposideros*). *Biological Conservation*, 93 (1): 55-60.
- [48] Siemers B.M., Schaub A. 2010. Hunting at the Highway: Traffic Noise Reduces Foraging Efficiency in Acoustic Predators. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278 (1712): 1646-1652.
- [49] Bennett V.J., Zurcher A.A. 2013. When Corridors Collide: Road-Related Disturbance in Commuting Bats. *The Journal of Wildlife Management*, 77 (1): 93-101.

- [50] Fenton M.B. 1997. Science and the Conservation of Bats. *Journal of Mammalogy*, 78 (1): 1-14.
- [51] Ferrara F.J., Leberg P.L. 2005. Influence of Investigator Disturbance and Temporal Variation on Surveys of Bats Roosting under Bridges. *Wildlife Society Bulletin*, 33 (3): 1113-1122.
- [52] Humphrey S.R., Kunz T.H. 1976. Ecology of a Pleistocene Relict, the Western Big-Eared Rat (*Plecotus townsendii*), in the Southern Great Plains. *Journal of Mammalogy*, 57 (3): 470-494.
- [53] Pearson O.P., Koford M.R., Pearson A.K. 1952. Reproduction of the Lump-Nosed Bat (*Corynorhinus rafinesquei*) in California. *Journal of Mammalogy*, 33 (3): 273-320.
- [54] Mann S.L., Steidl R.J., Dalton V.M. 2002. Effects of Cave Tours on Breeding *Myotis velifer*. *The Journal of Wildlife Management*, 618-624.
- [55] Shirley M., Armitage V., Barden T., Gough M., Lurz P., et al. 2001. Assessing the Impact of a Music Festival on the Emergence Behaviour of a Breeding Colony of Daubenton's Bats (*Myotis daubentonii*). *Journal of Zoology*, 254 (3): 367-373.
- [56] Johnson S.A., Brack V., Rolley R.E. 1998. Overwinter Weight Loss of Indiana Bats (*Myotis sodalis*) From Hibernacula Subject to Human Visitation. *The American Midland Naturalist*, 139 (2): 255-262.
- [57] Speakman J., Webb P., Racey P. 1991. Effects of Disturbance on the Energy Expenditure of Hibernating Bats. *Journal of Applied Ecology*, 1087-1104.
- [58] Bernstein M., Griffin J., Lempert R. 2006. Impacts on energy expenditures of use. Technical Report Prepared for the Energy Future Coalition, RAND Corporation.
- [59] Arnett E.B., Baerwald E.F., Mathews F., Rodrigues L., Rodríguez-Durán A., Rydell J., Villegas-Patracá R., Voigt C.C. 2016. Impacts of Wind Energy Development on Bats: A Global Perspective. *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*. Springer, Cham, 295-323.
- [60] Arnett E.B. 2012. Impacts of Wind Energy Development on Wildlife: Challenges and Opportunities for Integrating Science, Management, and Policy. *Wildlife Science*, CRC Press, 232-257.
- [61] Arnett E.B., Inkley D.B., Johnson D.H., Larkin R.P., Manes S., Manville A.M., Mason J., Morrison M.L., Strickland M.D., Thresher R. 2007. Impacts of Wind Energy Facilities on Wildlife and Wildlife Habitat. *Wildlife Society Technical Review*, 7 (2): 49.
- [62] Strickland M.D., Arnett E.B., Erickson W.P., Johnson D.H., Johnson G.D., Morrison M.L., Shaffer J.A., Warren-Hicks W. 2011. Comprehensive Guide to Studying Wind Energy/Wildlife Interactions. Prepared for the National Wind Coordinating Collaborative, Washington, DC, USA, 5: 315-324.
- [63] Yorulmaz T. 2017. Rüzgar Enerji Santrali ve Yarasalar, <http://www.tarkan-yorulmaz.com.tr/dosyalar/2>, (Erişim Tarihi: 23.12.2019).
- [64] Arnett E.B., Erickson P.W., Kerns J., Horn J. 2005. Relationships between Bats and Wind Turbines in Pennsylvania and West Virginia: An Assessment of Fatality Search Protocols, Patterns of Fatality, and Behavioral Interactions with Wind Turbines.
- [65] Erickson W., Kronner K., Gritski B. 2003. Nine Canyon Wind Power Project Avian and Bat Monitoring Report.
- [66] Ferri V., Locasciulli O., Soccini C., Forlizzi E. 2010. Post Construction Monitoring of Wind Farms: First Records of Direct Impact on Bats in Italy. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, 22 (1).
- [67] Arnett E.B., Schirmacher M., Huso M.M., Hayes J.P. 2009. Effectiveness of Changing Wind Turbine Cut-in Speed to Reduce Bat Fatalities at Wind Facilities. An Annual Report Submitted to the Bats and Wind Energy Cooperative Bat Conservation International Austin, Texas.
- [68] Cole S.G. 2011. Wind Power Compensation is not for the Birds: An Opinion From an Environmental Economist. *Restoration Ecology*, 19 (2): 147-153.
- [69] Kerns J., Kerlinger P. 2004. A Study of Bird and Bat Collision Fatalities at the Mountaineer Wind Energy Center, Tucker County, West Virginia, Annual report for 2003. Prepared for FPL Energy and Mountaineer Wind Energy Center Technical Review Committee.
- [70] Baerwald E.F., D'Amours G.H., Klug B.J., Barclay R.M. 2008. Barotrauma is a Significant Cause of Bat Fatalities at Wind Turbines. *Current biology*, 18 (16): R695-R6.
- [71] Furey N.M., Mackie I.J., Racey P.A. 2011. Reproductive Phenology of Bat Assemblages in Vietnamese Karst and its Conservation Implications. *Acta Chiropterologica*, 13 (2): 341-354.

- [72] Gillieson D. 2009. Caves: processes, development and management. John Wiley & Sons.
- [73] Luo J., Jiang T., Lu G., Wang L., Wang J., Feng I. 2013. Bat Conservation in China: Should Protection of Subterranean Habitats be a Priority. *Oryx*, 47 (4): 526-531.
- [74] Zhang L., Zhu G., Jones G., Zhang S. 2009. Conservation of Bats in China: Problems and Recommendations. *Oryx*, 43(2): 179-182.
- [75] Mohr C.E. 1972. The Status of Threatened Species of Cave-Dwelling Bats. *Bulletin of the National Speleological Society*, 34 (2): 33-47.
- [76] Paksuz S., Özkan B. 2012. The Protection of the Bat Community in the Dupnisa Cave System, Turkey, Following Opening for Tourism. *Oryx*, 46 (1): 130-136.
- [77] Furman A., Özgül A. 2004. The Distribution of Cave-Dwelling Bats and Conservation Status of Underground Habitats in Northwestern Turkey. *Biological Conservation*, 120 (2): 243-248.
- [78] Furman A., Çoraman E., Bilgin R. 2012. Bats and Tourism: A Response to Paksuz & Özkan. *Oryx*, 46 (3): 330.
- [79] Yorulmaz T. 2010. Güneydoğu Türkiye Yarasa ları. Doktora Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [80] Deharveng L., Bedos A. 2012. Diversity Patterns in the Tropics. *Encyclopedia of Caves: Elsevier*, 238-250.
- [81] Racey P.A., Entwistle A.C. 2000. Life-history and Reproductive Strategies of Bats. *Reproductive biology of bats: Elsevier*, 363-414.
- [82] McCracken G.F. 2011. Cave Conservation: Special Problems of Bats. *Course Booklet*, 68.
- [83] Arslan A., Baş M. 2020. Yarasa Gübresi (Guano). *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9 (1): 478-486.
- [84] Jung K., Kalko E.K. 2011. Adaptability and Vulnerability of High Flying Neotropical Aerial Insectivorous Bats to Urbanization. *Diversity and Distributions*, 17 (2): 262-274.
- [85] Van der Ree R., McCarthy M.A., 2005. Inferring Persistence of Indigenous Mammals in Response to Urbanisation. *Animal Conservation Forum*, Cambridge University Press.
- [86] Gaisler J., Zúkal J., Rehak Z., Homolka M. 1998. Habitat Preference and Flight Activity of Bats in a City. *Journal of Zoology*, 244 (3): 439-445.
- [87] Kurta A., Teramino J.A. 1992. Bat Community Structure in an Urban Park. *Ecography*, 15 (3): 257-261.
- [88] Legakis A., Papadimitriou C., Gaethlich M., Lazaris D. 2000. Survey of the Bats of the Athens Metropolitan Area. *Myotis*, 38: 41-46.
- [89] Lesinski G., Fuszara E., Kowalski M. 2000. Foraging Areas and Relative Density of Bats (Chiroptera) in Differently Human Transformed Landscapes. *Zeitschrift für Säugetierkunde*, 65 (3): 129-137.
- [90] Walsh A.L., Harris S. 1996. Factors Determining the Abundance of Vespertilionid Bats in Britain: Geographical, Land Class and Local Habitat Relationships. *Journal of Applied Ecology*, 519-529.
- [91] McKinney M.L. 2002. Urbanization, Biodiversity, and Conservation: The Impacts Of Urbanization on Native Species are Poorly Studied, But Educating a Highly Urbanized Human Population About These Impacts can Greatly Improve Species Conservation in all Ecosystems. *Bioscience*, 52 (10): 883-890.
- [92] Coleman J.L., Barclay R.M. 2011. Influence of Urbanization on Demography of Little Brown Bats (*Myotis lucifugus*) in the Prairies of North America. *PLoS One*. 6 (5): e20483.
- [93] Duchamp J.E., Swihart R.K. 2008. Shifts in Bat Community Structure Related to Evolved Traits and Features of Human-Altered Landscapes. *Landscape Ecology*, 23 (87): 849-860.
- [94] Jung K., Threlfall C.G. 2016. Urbanisation and its Effects on Bats -A Global Meta-Analysis. *Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World*. Springer, Cham, 13-33.
- [95] Lumsden L. 2009. The Extinction of the Christmas Island Pipistrelle. *Australian Bat Society Newsletter*, 33: 21-25.
- [96] Martin T.G., Nally S., Burbidge A.A., Arnall S., Garnett S.T., Hayward M.W., Lumsden L.F., Menkhorst P., McDonald-Madden E., Possingham H.P. 2012. Acting Fast Helps Avoid Extinction. *Conservation Letters*, 5 (4): 274-280.
- [97] IUCN. 2019. IUCN Red List of Threatened Species. 2019-3, <https://www.iucnredlist.org/> (Erişim Tarihi: 24.12.2019).

---

*Derleme Makalesi / Review Article*

---

## Sonlu Noktası Çıkarılmış Disk Üzerindeki Örgüler

Alev MERAL\*, Meryem DEMİRTAŞ

*Dicle Üniversitesi, Matematik Bölümü, Diyarbakır*  
(ORCID: 0000-0002-9838-7906) (ORCID: 0000-0002-0790-8471)

---

### Öz

Örgüler, düğüm teorisi, düşük boyutlu topoloji, sayı teorisi, cebirsel geometri, geometrik grup teorisi, cebirsel topoloji ve matematiksel fizik gibi birçok alanda önemli bir rol oynamaktadır. Örgü grupları ayrıca, kriptoloji, robotik, akışkan dinamikleri ve moleküler biyoloji gibi çoğu uygulamalı alanda çok geniş bir role sahiptir. Bu çalışmada geometrik örgü grup yapısı ele alınmıştır. Sonlu noktası çıkarılmış bir disk üzerindeki yön koruyan homeomorfizmaların izotopi sınıfları örgülerle temsil edilmektedir. Çalışmada amaç geometrik örgülerle ilgili genel özellikleri vermek, okuyucuya geometrik örgülerin grup yapısı, izotopi sınıfları ve disk üzerindeki bir geometrik örgünün bir Gönderim Sınıf Grubu (MCG)'na nasıl doğal olarak izomorfik olduğunu açıklamaktır.

**Anahtar kelimeler:** Geometrik Örgüler,  $n$ -Noktası Çıkarılmış Disk, Gönderim Sınıf Grubu (MCG).

---

## Braids on a Finite Punctured Disk

### Abstract

Braids play a remarkable role in the areas of knot theory, low dimensional topology, number theory, algebraic geometry, geometric group theory, algebraic topology and mathematical physics. Moreover, braid groups also have a comprehensive role mostly in applied fields such as cryptology, robotics, fluid dynamics and molecular biology. In this study, geometric braid structure is dealt with. Isotopy classes of orientation preserving homeomorphisms on the finitely punctured disk are represented by braids. The aim of this study is to give the general properties of geometric braids, to explain to the reader about the group structure of geometric braids, isotopy classes and how a geometric braid on the disk is naturally isomorphic to the Mapping Class Group (MCG).

**Keywords:** Geometric Braids,  $n$ -Punctured Disk, Mapping Class Group (MCG).

---

### 1. Giriş

Örgü gruplarının matematikteki önemi önce Gauss ve bundan bir asır sonra 19. yüzyılda Hurwitz tarafından fark edilmiştir. Ancak, bu gruplar 1920'lerde Emil Artin tarafından tanıtılmıştır [1]. Örgü grupları, geometri ve cebiri çok iyi bir şekilde birleştirir; matematiğin, fiziğin, son zamanlarda polimer kimyanın ve moleküler biyolojinin çok çeşitli alanlarında uygulamalara sahiptir. Örgü teorisinin uygulamalarından bazıları Garside tarafından çözülen eşlenik problemi, kriptoloji uygulamaları, kürenin homotopi grupları ile bağlantıları ve örgülerin dinamikleridir.  $n$  adet noktası çıkarılmış standart bir disk olan  $D_n$  ( $n$  adet işaretlenmiş noktalı disk ve bu işaretli noktalar diskin yatay eksenindedir) üzerinde, yön koruyan homeomorfizmaların izotopi sınıfları örgüler tarafından temsil edilmektedir [2]. Hall ve Yurttaş, Dynnikov koordinatlarını kullanarak her bir örgünün topolojik entropisini hesaplayan alternatif bir yöntem geliştirmişlerdir [3]. Bu yöntem  $n$  noktası çıkarılmış disk üzerindeki yön koruyan homeomorfizmaların izotopi sınıflarının aileleri üzerinde tanımlanmıştır. Bu izotopi sınıfları Artin örgü grup elemanları tarafından tanımlanabilmektedir. Yurttaş [4]'ün çalışmasında örgülerin de yardımıyla  $D_n$ 'deki bir integral laminasyonun (sonlu sayıdaki esas basit kapalı eğrilerin izotopi sınıflarının ayrık bir birleşimi) belirli bir türdeki başka bir integral laminasyon ile geometrik kesişim sayısını hesaplayan

---

\*Sorumlu yazar: [alev.meral@dicle.edu.tr](mailto:alev.meral@dicle.edu.tr)

Geliş Tarihi: 01.11.2019, Kabul Tarihi: 28.04.2020

bir yöntem sunulmaktadır. Böylece, iki keyfi integral laminasyonun geometrik kesişim sayısını bulan bir yol geliştirilmiştir ve bu yol Yurttaş ve Hall [5]'de anlatılmaktadır. Bunun yanı sıra Yurttaş ve Hall,  $D_n$ 'deki bir integral laminasyonun bileşenlerinin sayısını hesaplamak için etkili bir algoritma geliştirmiştir [6]. Dynnikov ve Wiest, cebirsel ve geometrik bakış açılarıyla bir örgünün karmaşıklığını tanımlayan bir ölçü tanımlamışlardır [7]. Cebirsel olarak, bazı üreteçler tanımlayarak bir örgünün uzunluğunun standart kavramını değiştirmişlerdir. Böylece, örgü karmaşıklığı kavramlarının kıyaslanabilir olduğunu görmüşlerdir. Finn ve Thiffeault, geniş örgüleri analiz etmek ihtiyacından dolayı torus üzerindeki örgülerin topolojik entropisini hesaplamak için hızlı bir metot geliştirmişlerdir [8]. Dehornoy, Artin örgü grubunun kelime problemine en etkili çözümleri tanımlamıştır [9]. Diğer bir deyişle, örgü izotopi problemine en etkili çözümleri geliştirmiştir. Bu ise, özellikle kriptoloji uygulamaları açısından kullanışlı olmaktadır. Budisic ve Thiffeault 2015 yılında iki boyutlu akımlara uygulanabilir alternatif bir hesaplama sunmuştur [10]. Bu metot girdi olarak sadece akış yörüngelerinin seyrek bir kümesini kullanmaktadır. Burada, yörüngelerin seyrek kümesini temsil etmek için örgüler kullanılmıştır. Bu cebirsel nesnelere, yörüngelerin bir projeksiyon eksenine göre pozisyonları nasıl değiştirdiklerini kaydetmektedir. Bu çalışmada, geometrik örgü kavramı detaylı bir şekilde incelenip tanımlanacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde geometrik örgüler için gerekli olan temel tanım ve teoremler verilecektir.  $S$  bir yüzey olsun. Bu çalışmada yüzeyi kompakt, yönlü 2-manifold olarak düşüneceğiz. Bu yüzey sınıra sahip olabilir.  $(S, N)$ ,  $S$ 'nin sonlu  $N$  altkümesi ile birlikte bir yüzey belirtsin. Burada  $N$ ,  $S$  üzerindeki çıkarılmış/işaretlenmiş noktaların bir kümesi olarak alınmaktadır. Bu çalışmada  $(S, N)$  yüzeyini,  $n$  noktası çıkarılmış/işaretlenmiş  $D_n$  diski olarak düşüneceğiz.

**Tanım 2.1.** 2-boyutlu bir nesne, bir yüzey üzerinde bulunduğu yere tekrar geldiğinde kendi ayna görüntüsü olacak şekilde sürekli olarak hareket ettirilemiyorsa bu yüzeye *yönlendirilebilir yüzey* denir. Aksi takdirde bu yüzey *yönlendirilemez* olurdu. Yani, eğer bir yüzeyde sürekli bir şekilde ilerleyen tutarlı bir rotasyon tanımlanabiliyorsa bu yüzey yönlendirilebilirdir.

**Tanım 2.2.** Topolojik bir nesnenin, bağlantılılığını veya cebirsel özelliklerini koruyacak şekilde belirli bir alandaki temsiline *gömme* denir.

**Tanım 2.3.**  $\alpha((0, 1)) \subseteq S \setminus N$  özelliğine sahip  $\alpha: [0, 1] \rightarrow S$  sürekli dönüşümüne  $S$ 'de bir *yol* denir.  $\alpha$ , başlangıç noktası  $\alpha(0)$  ve bitiş noktası  $\alpha(1)$  olan iki adet uç noktaya sahiptir. Uç noktaları eşit olan yola ise *kapalı eğri* denir ve  $c$  ile gösterilir.

**Tanım 2.4.**  $\alpha$ ,  $S$ 'de bir yol olsun.  $\alpha$  yolu  $S$ 'ye gömülü ise,  $\alpha$ 'nın görüntüsü  $S$ 'de bir *yay* olarak adlandırılır.  $c$  kapalı eğrisi kesişmiyor ve  $S$ 'ye gömülü ise  $c$ 'nin görüntüsüne  $S$ 'de bir *basit kapalı eğri* denir. Böylece, yay ve basit kapalı eğri, görüntüleri  $S$ 'nin alt kümesi olan birer dönüşüm olarak değil, doğrudan  $S$ 'nin birer alt kümesi olarak tanımlanır.

**Tanım 2.5.**  $S$ 'de  $\alpha$  ve  $\beta$  iki yol olsun.  $\alpha$  ve  $\beta$  yolları arasındaki *homotopi*, bir  $H: [0, 1] \times [0, 1] \rightarrow S$  sürekli dönüşümdür ve bu dönüşüm aşağıdaki bütün koşulları sağlar:

- (i) Her  $x \in [0, 1]$  için  $H(x, 0) = \alpha(x)$  ve  $H(x, 1) = \beta(x)$ ,
- (ii) Her  $t \in [0, 1]$  için  $H(0, t) = \alpha(0) = \beta(0)$  ve  $H(1, t) = \alpha(1) = \beta(1)$ ,
- (iii)

ve  $\alpha$  ve  $\beta$  yollarının iki uç noktası dışındaki noktalarının hiçbirisi  $N$  kümesinde bulunamayacağı için

- (iv) Her  $x \in (0, 1)$  ve her  $t \in [0, 1]$  için  $H(x, t) \notin N$

dir.  $\alpha$  ve  $\beta$  yolları arasında böyle bir  $H$  homotopisi varsa  $\alpha$  ve  $\beta$  yolları *homotopiktir* denir ve  $\alpha \simeq \beta$  ile gösterilir. Her  $t \in [0, 1]$  için  $H(x, t)$  bir gömme ise, yani  $\alpha$  ve  $\beta$  yollarının görüntüleri  $S$ 'de birer yay ise, o zaman bu yaylar *izotopiktir* ve bu durumda  $H$ ,  $\alpha$ 'dan  $\beta$ 'ya bir *izotopi* olarak adlandırılır.



$S$  yüzeyinin sınırında ve  $N$ 'de ortak uç noktaları olan yaylar ve  $S$ 'deki basit kapalı eğriler için homotopi ve izotopi kavramları aynı olur [17]. İzotopi,  $(S, N)$ 'nin bütün homeomorfizmalarının kümesi üzerinde bir denklik bağıntısı tanımlar ve  $f$ 'yi içeren izotopi sınıfı  $[f]$  ile gösterilir.  $(S, N)$ 'nin yön koruyan homeomorfizmalarının izotopi sınıflarının kümesi bir grup oluşturur. Burada grup işlemi homeomorfizmaların birleşimi olarak alınmaktadır.

**Tanım 2.6.**  $(S, N)$ 'nin *Gönderim Sınıf Grubu (Mapping Class Group)*,  $(S, N)$ 'nin yön koruyan homeomorfizmalarının izotopi sınıflarının grubudur ve  $MCG(S, N)$  ile gösterilir.

Bu çalışmada,  $n$  adet noktası çıkarılmış disk olan  $(D^2, N_n)$ 'nin standart bir modeli üzerinde çalışacağız.  $D_n, (D^2, N_n)$ 'yi ifade etmek üzere,

$$D^2 = \{x \in \mathbb{R}^2: \|x\| \leq 1\} \text{ ve } N_n = \{a_r = \left(-1 + \frac{2r}{n+1}, 0\right): 1 \leq r \leq n\}$$

olarak tanımlanmaktadır.

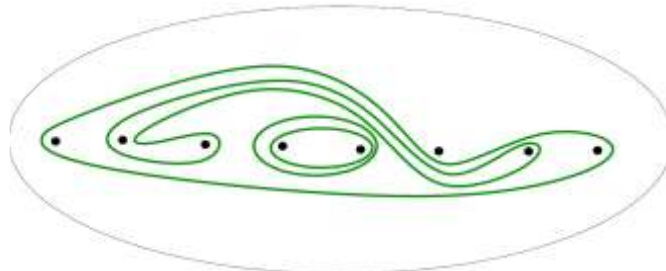
**Teorem 2.1. (Alexander lemma).**  $D_n$ 'nin Gönderim Sınıf Grubu  $MCG(D_n)$ ,  $n = 0$  ya da  $n = 1$  ise birim gruptur.

$MCG(D_n)$ ,  $n > 1$  olduğunda  $n$ -örgü grubunun kendi merkezine bölümüne izomorftur. Bu durum daha sonraki bölümlerde açıklanacaktır.

**Tanım 2.7.** İşaretlenmiş nokta içermeyen bir diski, sadece 1 adet işaretlenmiş nokta içeren bir diski veya işaretlenmiş nokta içermeyen bir halkayı sınırlandıran  $S$ 'deki bir basit kapalı eğriye *esas olmayan eğri* denir. Aksi takdirde, bu eğriye *esas eğri* denir.

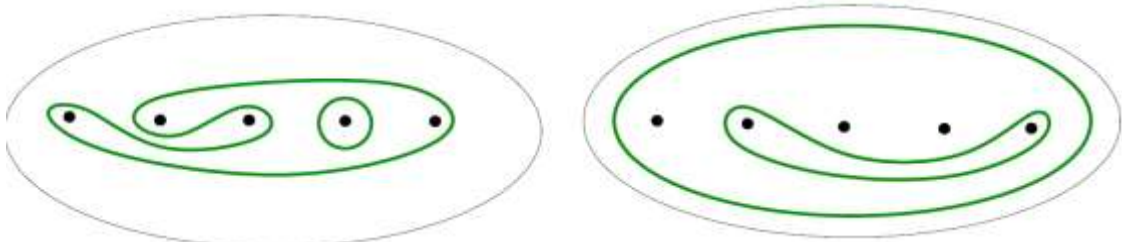
**Tanım 2.8.**  $S$ 'deki sonlu sayıda esas basit kapalı eğrinin izotopi sınıflarının ayırık bir birleşimine *integral laminasyon* denir ve  $S$ 'deki integral laminasyonların kümesi  $\mathcal{L}_n$  ile gösterilir.

**Uyarı 2.1.** Bir integral laminasyonun eğrileri karşılıklı olarak homotopik / izotopik olabilirler. Şekil 1  $D_8$ 'de bir integral laminasyon örneğini göstermektedir.



Şekil 1.  $D_8$ 'de bir integral laminasyon

Şekil 2'deki  $D_5$ 'te bulunan basit kapalı eğrilerin ayırık birleşimleri bir integral laminasyon oluşturmamaktadırlar. Şekil 2'nin sol tarafındaki eğri sisteminde 1 adet işaretlenmiş noktayı sınırlandıran eğri vardır; sağ tarafındaki eğri sisteminde ise halkayı sınırlandıran eğri bulunmaktadır.

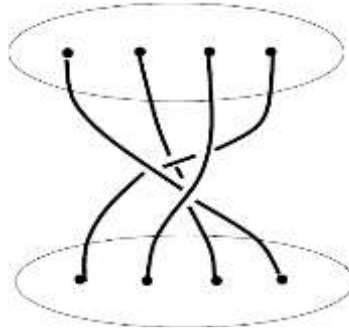


Şekil 2. Bu eğri sistemleri integral laminasyon değillerdir

### 3. Geometrik Örgüler

$D_n$  üzerindeki yön koruyan homeomorfizmaların izotopi sınıfları örgülerle temsil edilmektedir [2]. Bu bölümde geometrik örgülerle ilgili bazı temel tanım ve teoremler sunulmuş, geometrik örgülerin grup yapısı incelenmiş ve son olarak  $D_n$ 'nin gönderim sınıf grubunun neden örgü grubunun kendi merkezine bölümüne izomorf olduğu açıklanmıştır.

**Tanım 3.1.** Bir geometrik örgü,  $D_n = (D^2, N_n)$  olmak üzere,  $D^2 \times [0, 1]$ 'de  $n$  adet ayırık  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  yaylarının bir koleksiyonudur ve  $B_n$ , geometrik örgülerin kümesi olmak üzere bir geometrik örgü  $\beta \in B_n$  ile gösterilir. Bu koleksiyon,  $N_n \times \{0\}$ 'in noktalarını  $s \in [0, 1]$  olmak üzere her bir  $D^2 \times \{s\}$  düzleminin her bir yay ile sadece tek bir noktada kesişeceği şekilde  $N_n \times \{1\}$ 'in noktalarına bağlar.  $\beta$  geometrik örgüsü tarafından üretilen permutasyon  $p_\beta$  olmak üzere, başlangıç noktası  $(a_r, 0)$  ve bitiş noktası  $(a_{p_\beta(r)}, 1)$  olan yaya  $\beta$ 'nin  $r$ 'nci ipi denir.  $D_4$ 'te bir geometrik örgü örneği için Şekil 3'e bakınız. Her şeyin uygun izotopi altında alındığına dikkat ediniz.



Şekil 3.  $D_4$ 'te bir geometrik örgü

Geometrik örgülerin kümesi  $B_n$ , aşağıdaki bileşke işlemi altında bir grup oluşturur:

$\beta_1$  ve  $\beta_2$ , sırasıyla  $\alpha_j^1: [0, 1] \rightarrow D^2 \times [0, 1]$  ve  $\alpha_j^2: [0, 1] \rightarrow D^2 \times [0, 1]$  yaylarıyla  $D^2 \times [0, 1]$ 'e gömülü olan iki geometrik  $n$ -örgü olsun.  $\theta: D^2 \times [0, 1] \rightarrow D^2$  izdüşüm fonksiyonu ve  $p_1, \beta_1$  tarafından üretilen permutasyon olmak üzere,  $\beta_1\beta_2$  bileşkesinin  $\alpha_j$  yayları

$$\alpha_j(t) = \begin{cases} (\theta(\alpha_j^1(2t)), t) & 0 \leq t \leq 1/2 \\ (\theta(\alpha_{p_1(j)}^2(2t-1)), t) & 1/2 \leq t \leq 1 \end{cases}$$

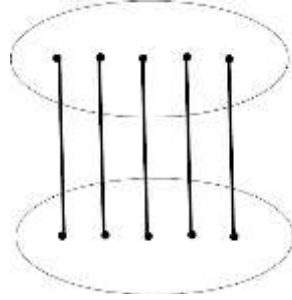
olarak tanımlanır. Görsel bir ifadeyle, bu işlem  $\beta_1$ 'in iplerinin alt tarafını  $\beta_2$ 'nin iplerinin üst tarafıyla birleştirir, ardından oluşturulan örgüyü  $I$  birim küme olmak üzere  $D^2 \times I$ 'ya gömülecek şekilde ezer. Verilen bu işlem ile birlikte geometrik örgülerin kümesi bir grup oluşturur. Bu grupta  $0 \leq i \leq 1$  olmak üzere, birim örgünün yayları (Şekil 4)

$$\alpha_j(t) = (a_i, t)$$

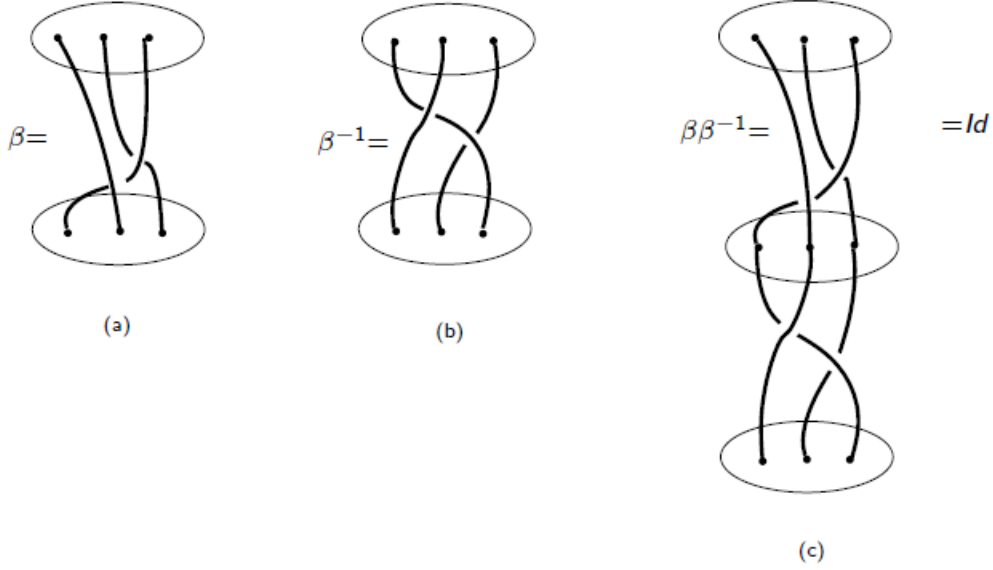
ve  $\alpha_j$  yayları ile verilen örgünün tersi olan örgünün yayları (Şekil 5)

$$\alpha_j'(t) = (\theta(\alpha_i(1-t)), t)$$

olarak tanımlanır.



Şekil 4.  $D_5$ 'te birim örgü

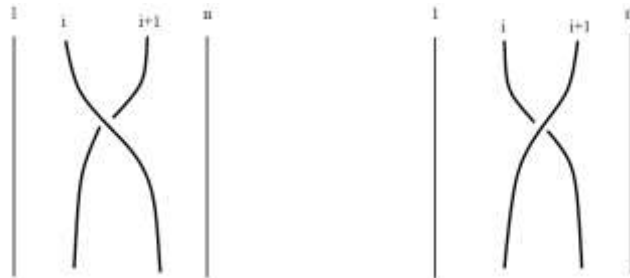


Şekil 5. a)  $D_3$ 'te bir  $\beta$  örgüsü, b) Bu  $\beta$  örgüsünün tersi:  $\beta^{-1}$  ve c)  $\beta$  ve  $\beta^{-1}$ 'in oluşturdukları birim örgü

**Uyarı 3.1.** Herhangi bir  $\beta \in B_n$  geometrik örgüsü Şekil 6'da gösterilen  $\sigma_i$  ve  $\sigma_i^{-1}$  geometrik örgülerinin bir bileşimi olarak oluşturulabilir. Ayrıca, bu örgü

$$\sigma_i \sigma_{i+1} \sigma_i = \sigma_{i+1} \sigma_i \sigma_{i+1} \text{ ve } \sigma_i \sigma_j = \sigma_j \sigma_i, |i - j| \geq 2$$

ilişkilerini sağlar.



Şekil 6.  $\sigma_i$  ve  $\sigma_i^{-1}$  örgüleri

Yukarıda bahsedilen grup doğal bir şekilde, aşağıda tanımlanan *Artin Örgü Grubu*'na izomorftur.

**Tanım 3.2.** *Artin Örgü Grubu*,  $n - 1$  adet  $\sigma_1, \dots, \sigma_{n-1}$  üreteçlerine ve aşağıdaki ilişkilere sahip olan, sonlu bir şekilde üretilen gruptur:

$$\begin{aligned} \sigma_i \sigma_j &= \sigma_j \sigma_i && \text{eğer } 1 \leq i, j \leq n - 1, |i - j| \geq 2, \\ \sigma_i \sigma_{i+1} \sigma_i &= \sigma_{i+1} \sigma_i \sigma_{i+1} && \text{eğer } 1 \leq i \leq n - 2. \end{aligned}$$

İpleri diskin merkezi etrafında  $\pi$  ve  $2\pi$  kadar çevirdiğimizde  $B_n$ 'de iki önemli örgü olan yarım burgu ve tam burgu örgüleri tanımlanır.

**Tanım 3.3.**  $B_n$ 'de yarım burgu

$$t_n = (\sigma_1 \dots \sigma_{n-1})(\sigma_1 \dots \sigma_{n-2}) \dots (\sigma_1 \sigma_2)(\sigma_1),$$

ve tam burgu

$$T_n = t_n^2 = (\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_{n-1})^n$$

ile verilir.

**Teorem 3.1.** ([11]).  $B_n$ 'nin merkezi  $\mathcal{M}(B_n)$ ,  $n \geq 3$  için tam burgu tarafından üretilen sonsuz devirli altgrupdur. Yani,  $\mathcal{M}(B_n) = \langle T_n \rangle$ 'dir.

**Teorem 3.2.** ([18]).  $MCG(D_n)$ , Artin Örgü Grubu  $B_n$ 'nin kendi merkezine bölümüne izomorftur. Yani,  $MCG(D_n) \cong B_n / \mathcal{M}(B_n)$ 'dir.

Bu iki grup arasındaki benzerliğin nasıl çalıştığını kısaca açıklayalım. İlk olarak, verilen bir  $g \in MCG(D_n)$  gönderim sınıfından bir örgünün nasıl oluşturulduğu aşağıdaki gibi açıklanabilir:

$f \in g$  olsun.  $f : D^2 \rightarrow D^2$  olduğuna dikkat edelim. Teorem 2.1'den  $id$  birim fonksiyon olmak üzere,  $\gamma_0 = id : D^2 \rightarrow D^2$  ve  $\gamma_1 = f : D^2 \rightarrow D^2$  olacak şekilde bir  $\{\gamma_t\} : D^2 \rightarrow D^2$  izotopisi vardır.  $\bigcup_{t \in [0,1]} \gamma_t(N_n) \times \{t\}$  birleşimi alınarak bir geometrik örgü oluşturulabilir. Bu yapının belirli bir  $\{\gamma_t\}$  alınarak oluşturulduğuna dikkat edilmelidir. Eğer farklı bir  $\{\gamma_t\}$  izotopisi seçilseydi, başka bir örgü elde edilecekti. Ancak, farklı izotopiler seçmek  $T_n$ 'nin kuvvetlerine göre farklılaşan örgüler oluşturmaktadır. Bu nedenle,  $MCG(D_n)$ 'den  $B_n / \langle T_n \rangle = B_n / \mathcal{M}(B_n)$ 'ye bir homeomorfizma elde edebilmek için  $B_n / \langle T_n \rangle$  bölümünü alırız. Şimdi, bir örgüden homeomorfizma elde edilmesini sağlayan ters yapıyı açıklayalım.  $\kappa(0, r)$ , merkezi  $\mathbb{R}^2$ 'nin orijini olan,  $r$  yarıçaplı bir küre olsun.  $f : \kappa(0, 2) \rightarrow \kappa(0, 2)$  fonksiyonu kutupsal koordinat sisteminde

$$f(r, T) = \begin{cases} (r, T + \pi) & r \leq 1, \\ (r, T + \pi(2 - r)) & 1 \leq r \leq 2 \end{cases}$$

olarak tanımlanır.  $1 \leq i \leq n - 1$  için yalnızca  $i$  ve  $i + 1$  adet çıkarılmış nokta içeren, diğerlerini içermeyen  $B_1^i \subseteq B_2^i \subseteq D_n$  diskleri seçilsin. Bir  $h_i : B_2^i \rightarrow \kappa(0, 2)$  homeomorfizması seçilsin ve bu homeomorfizma  $h_i(B_1^i) = \kappa(0, 1)$ ,  $h_i(a_i) = (-1/2, 0)$  ve  $h_i(a_{i+1}) = (1/2, 0)$  koşullarını sağlasın.  $f_i : D_n \rightarrow D_n$ ,

$$f_i = \begin{cases} h_i^{-1} \circ f \circ h_i & x \in B_2^i, \\ id & x \notin B_2^i \end{cases}$$

olarak tanımlansın. Verilen bir  $\beta = \prod \sigma_{i_k}^{\epsilon_k}$  için, karşılık gelen gönderim sınıfı  $[f] \in MCG(D_n)$ ,  $f = \bigcirc f_{i_k}^{\epsilon_k}$  birleşimini içerir.

**Uyarı 3.2.** Teorem 3.2,  $MCG(D_n)$ 'nin  $\mathcal{L}_n$  üzerindeki etkisinin  $B_n$ 'nin  $\mathcal{L}_n$  üzerinde bir etki tanımladığını ima etmektedir. Ancak, örgü etkilerinin birleşimi için düzene dikkat edilmelidir. Birleşme soldan sağa doğru olmalıdır. Yani,  $c$  bir eğri ve  $\beta_1, \beta_2 \in B_n$  ise,  $(\beta_1 \beta_2)(c) = \beta_2(\beta_1(c))$ 'dir.

#### 4. Uygulama

Örgüler,  $\mathcal{L}_n$  üzerinde  $MCG(D_n)$ 'nin etkisini görselleştirmek için uygun bir yol sağlamaktadır.

**Tanım 4.1.** Bir yüzey üzerindeki ölçülen yapraklanmaların (measured foliations) [12] çapraz bir çiftini, bu çiftten birini bir  $\tau > 1$  gerçekte sayı ile düzgün bir şekilde gererek, diğeri  $1/\tau$  ile düzgün bir şekilde büzerek koruyan otomorfizmaya *pseudo-Anosov* denir. Burada  $\tau$ , pseudo-Anosov otomorfizmasının büyüme oranıdır.

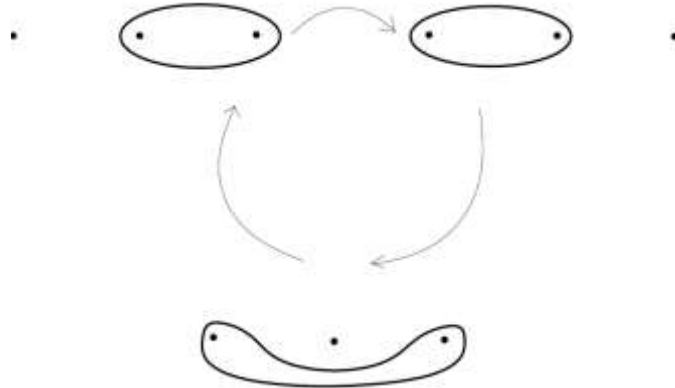
Uygulama için verilen aşağıdaki örnek, [19]'dan detaylı bir şekilde incelenebilir.

**Örnek 4.1.** Şekil 7'de gösterilen, basit kapalı bir eğri olan  $c$  olsun.



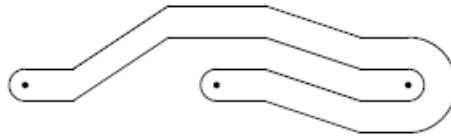
Şekil 7.  $D_3$  üzerinde bir  $c$  basit kapalı eğrisi

Sonlu sıralı  $\beta = \sigma_1\sigma_2$  örgüsünün etkisi Şekil 8 ile gösterilmektedir.

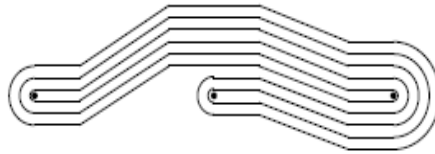


Şekil 8.  $\beta^3(c) = c$

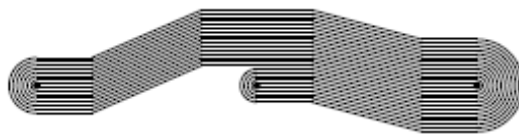
Pseudo-Anosov örgüsü olan  $\gamma = \sigma_1\sigma_2^{-1}$ 'in etkisi ise Şekil 9'dan başlayarak Şekil 12'ye kadar gözlemlenebilir.



Şekil 9.  $\gamma(c)$



Şekil 10.  $\gamma^2(c)$



Şekil 11.  $\gamma^3(c)$



Şekil 12.  $\gamma^4(c)$

Şekillerden de gözlemleneceği gibi, pseudo-Anosov örgülerin etkisi altında basit eğriler izotopi sınıfı içindeki kompleks eğrilere dönüşmektedir.

## 6. Sonuç ve Öneriler

Pseudo-Anosov örgülerinin etkisi altında eğrilerin yinelenmelerini takip etmek oldukça zor olabilir (Şekil 12'ye bakınız). Bu problem, [13,14,19]'da  $\mathcal{L}_n$  kümesi koordinatlandırılarak ve  $\sigma_i$  ve  $\sigma_i^{-1}$  üreteçlerinin  $\mathcal{L}_n$  üzerindeki etkisini bu koordinatlar cinsinden veren *Güncelleme Kurallarıyla* çözülmüştür.

## Yazarların Katkısı

Çalışmada her iki yazar da 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] Artin E. 1926. Theorie der Zöpfe, Abh. Math. Sem. Hamburg. Univ, 4: 47-72.
- [2] Birman J.S. 1974. Braids, links, and mapping class groups. Princeton University Press, N. J. Annals of Mathematics Studies, Princeton, 1-82.
- [3] Hall T., Yurttaş O. 2009. On the topological entropy of families of braids. Topology and its Applications, 156: 1554-1564.
- [4] Yurttaş O. 2013. Geometric intersection of curves on punctured disks. The Mathematical Society of Japan. J. Math. Soc. Japan, 65 (4): 1153-1168.
- [5] Yurttaş O., Hall T. 2018. Intersection of Multicurves from Dynnikov Coordinates. Bull. Aust. Math. Soc, 98: 149-158.
- [6] Yurttaş O., Hall T. 2017. Counting components of an integral lamination. Manuscripta mathematica, 153 (1-2): 263-278.
- [7] Dynnikov I., Wiest B. 2007. On the complexity of braids. J. Eur. Math. Soc, 9: 801-840.
- [8] Finn M.D., Thiffeault J.L. 2007. Topological Entropy of Braids on the Torus. SIAM J. Appl. Dyn. Syst., 6 (1): 79-98.
- [9] Dehornoy P. 2008. Efficient Solutions to the Braid Isotopy Problem, Discrete Applied Mathematics, 156 (16): 3091-3112.
- [10] Budisic M., Thiffeault J.L. 2015. Finite-time braiding exponents. Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, 25 (8): 087407. Doi: 10.1063/1.4927438.
- [11] Chow W-L. 1948. On the algebraic braid group. Ann. of Math, 49 (2): 654-658.
- [12] Thurston W. 1988. On the geometry and Dynamics of diffeomorphisms of surfaces. Bull. Amer. Math. Soc. (N.S.), 19 (2): 417-431.

- [13] Dynnikov I.A. 2002. On a Yang-Baxter mapping and the Dehornoy ordering. *Uspekhi Mat. Nauk*, 57 (3 (345)): 151-152.
- [14] Moussafir J.O. 2006. On computing the entropy of braids. *Funct. Anal. Other Math.*, 1 (1): 37-46.
- [15] Fathi A., Laudenbach F., Poenaru V. 1979. Travaux de Thurston sur les surfaces, *Astérisque. Séminaire Orsay, Société Mathématique de France, Paris*, 1-66.
- [16] Meral A. 2019. Sonlu İşaretlenmiş Noktalı Tor Yüzeylerinde Genelleştirilmiş Dynnikov Koordinatları. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [17] Epstein D.B.A. 1966. Curves on 2-manifolds and isotopies. *Acta Math*, 115: 83-107.
- [18] Farb B., Margalit D. 2012. *A Primer on Mapping Class Groups*. Princeton University Press, 1-463.
- [19] Yurttaş O. 2011. Dynnikov Coordinates and pseudo-Anosov braids. Doktora Tezi, Liverpool Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Liverpool.

# 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 yardımları 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 Compsition 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)